

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SEKTÖRÜNDE KULLANILAN İTHAL ŞAMOT
MALZEMESİNİN YERLİ HAMMADDELER İLE ÜRETİLMESİ VE
GELİŞTİRİLMESİ**



METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED TALHA KÖSEOĞLU

HAZİRAN 2021

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Talha KÖSEOĞLU

DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI

İKİNCİ DANIŞMAN : Prof. Dr. Hüseyin Özkan TOPLAN

ZONGULDAK

Haziran 2021

KABUL:

Muhammed Talha KÖSEOĞLU tarafından hazırlanan “Seramik Sağlık Gereçleri Sektöründe Kullanılan İthal Şamot Malzemesinin Yerli Hammaddeler İle Üretilmesi ve Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 21.06.2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

İkinci Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Özkan TOPLAN

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Barış AVAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Tuna AYDIN

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gülfem BİNAL

Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../20....

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muhammed Talha KÖSEOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SEKTÖRÜNDE KULLANILAN İTHAL ŞAMOT MALZEMESİNİN YERLİ HAMMADDELER İLE ÜRETİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Muhammed Talha KÖSEOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI

İkinci Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Özkan TOPLAN

Haziran 2021, 77 sayfa

Seramik sağlık gereçleri sektöründe üretilen ürünler için iki farklı çamur kullanılmaktadır. Bu çamurlar; vitrifiye çamurları ve fine fire clay (FFC) çamurlarıdır. Uzun ebatlı ve düşük pişme deformasyonun gerekliliği bulunan lavabo türü ürünler FFC çamurları ile üretilmektedir. FFC ürünlerine yüksek mukavemet ve düşük deformasyon davranışını reçete içerisindeki şamot hammaddesinin sağladığı literatürde yer almaktadır. Şamot malzemesinin sağladığı bu önemli özelliklerin yanı sıra, üretici firmaların azlığı ve yurt dışından ithal ediliyor olması yüksek maliyet ve ekonomik istikrarsızlıkları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada, seramik sağlık gereçleri sektöründe Türkiye'deki firmaların rekabet gücünün artırılması ve dünyada büyük bir pazar açığı olan şamot sektörüne yerli kil ve kaolenler kullanılarak alternatiflerin sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şamot, Yerli Üretim, Maliyet Avantajı ve Rekabet Gücü

Bilim Kodu: 604.01.03

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PRODUCTION AND DEVELOPMENT OF IMPORTED CHAMOTTE MATERIAL USED IN CERAMIC SANITARY WARE SECTOR WITH DOMESTIC RAW MATERIALS

Muhammed Talha KÖSEOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Nazım KUNDURACI

Co-Advisor: Prof. Dr. Hüseyin Özkan TOPLAN

June 2021, 77 pages

Two different slips are used for the products produced in ceramic sanitary ware sector. These slips; vitrified slips and fine fire clay (FFC) slips. Sink type products with long dimension sand low baking deformation are produced with FFC slurries. High strength and low deformation behavior of FFC products are found in the literature provided by the chamotte raw material in the recipe. In addition to these important features provided by chamotte material, the low number of manufacturer sand their importation from abroad brings high costand economic instability.

In this study, it is aimed to increase the competitiveness of companies in the ceramic sanitary ware industry and to present alternatives to the chamotte sector, which has a large market deficit in the world, by using local clay and kaoline.

Keywords: Chamotte, Domestic Production, Cost Advantage and Competitiveness

Science Code: 604.01.03

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin hazırlanmasında benden yardımını, desteğini, zamanını esirgemeyen bu çalışmanın başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmayı yönlendiren, tezimi yöneten değerli fikir ve önerileriyle çalışmalarına ışık tutan ve bana her konuda destek olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Nazım KUNDURACI' ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı ilgili engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yön veren, değerli katkılarını sunan ikinci tez danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Özkan TOPLAN' a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek Lisans tez savunma jürimde bulunarak değerli bilimsel uyarı ve önerilerini esirgemeyen sayın hocalarım Doç. Dr. Barış AVAR, Doç. Dr. Tuna AYDIN ve Dr. Öğr. Üyesi Gülfem BİNAL' e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında desteğini esirgemeyen Arş. Gör. İlker Emin DAĞ, Arş. Gör. Semih ENGÜN, Arş. Gör. Engin KOCAMAN, Öğr. Gör. Oğuz ÖZBEK, Öğr. Gör. Batuhan YARDIMCI' ya ve Tez çalışmalarımın ilerlemesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Alvit Seramik çalışanlarına ve Kale Seramik Arge merkezi çalışanlarına,

Ayrıca her zaman yanımda olan; tüm güçleriyle, ilgi ve sevgileriyle bana destek olan canım aileme ve her koşulda sevgi ve desteğiyle bana yardımcı olan değerli eşim Bedia Nur KÖSEOĞLU' na en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2 SERAMİĞİN TARİHÇESİ VE GÜNÜMÜZDEKİ DURUMU	3
BÖLÜM 3 SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ.....	7
3.1 SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE KULLANILAN HAMMADDELER	7
3.1.1 Kil	8
3.1.2 Kaolen.....	8
3.1.3 Feldspat.....	9
3.1.4 Kuvars	11
3.1.4.1 Kuvarsın Sıcaklıkla Polimorfik Dönüşümleri	11
3.2.2 Kalıp Hazırlama.....	14
3.2.3 Çamur Hazırlama	14
3.2.4 Şekillendirme	15
3.2.5 Kurutma	16
3.2.6 Sırlama	17
3.2.7 Sinterleme (Pişirim).....	19
3.2.7.1 Ön Isıtma Bölgesi.....	19
3.2.7.2 Pişirim Bölgesi	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.7.3 Soğutma Bölgesi	22
3.2.8 Kalite.....	23
3.3 SERAMİK ÜRETİMİNDE GÖRÜLEN HATALAR	23
3.3.1 Pinhol Hataları (İğne Başı Şeklindeki Hatalar)	23
3.3.2 Leke Hataları.....	23
3.3.3 Toplanma (Sır-Bünye Uyumsuzlukları)	24
3.3.4 Çatlak	24
3.3.5 Köşe Atmaları	24
3.3.6 Hava Boşluğu.....	24
3.3.7 Deformasyon Hataları.....	24
3.4 TAMİR PROSESİ	24
3.5 SERAMİK SAĞLIK GEREÇİ KIRIKLARI.....	25
3.6 PİROPLASTİK DEFORMASYONU ETKİLEYEN PARAMETRELER	25
3.6.1 Kristal Fazların Etkisi	26
3.6.2 Kompozisyonun Etkisi.....	28
3.6.3 Tane Boyutunun Etkisi	29
3.7 MALZEME ANALİZ TEKNİKLERİ.....	30
3.7.1 XRF (X ışını floresans).....	30
3.7.2 XRD (X ışını difraksiyon)	31
3.7.3 ICP	32
3.7.4 Termogravimetrik Analiz	32
3.7.5 Diferansiyel Termal Analiz (DTA).....	33
3.7.6 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	33
3.7.7 Dilatometre	33
3.7.8 Optik Mikroskop.....	34
3.7.9 Sem	34
3.7.10 Tem	35
3.7.11 Viskozite Tayini.....	35
3.7.12 Tikotropi Tayini	35
3.7.13 Litre Ağırlığı Tayini.....	35
3.7.14 Su Emme Testi.....	36

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.7.15 Elek Analizi	36
3.7.16 Lazer Difraktometresi	37
3.7.17 Sedimentasyon ile Ölçüm	37
3.7.18 Elektriksel Alan Algılanması ile Ölçüm	37
3.7.19 Işık Engelleme ile Ölçüm	37
3.7.20 Bet Yöntemi ile Ölçüm	37
3.7.21 Renk Ölçümü Spektrometresi	38
3.7.22 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	38
3.7.23 Malzeme Analiz Teknikleri Görüntü Kalitesini Etkileyen Parametreler.....	40
3.8 ŞAMOT	40
 BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	 43
4.1 KULLANILAN HAMMADDELERİN KİMYASAL ANALİZLERİ.....	43
4.2 SİNERLEME ÖNCESİ KULLANILAN HAMMADDELER	44
4.3 REÇETELERİN HAZIRLANMASI	44
4.4 FİZİKSEL ÖZELLİK TESTLERİ.....	46
4.5 DENEYSEL SONUÇLAR	48
 BÖLÜM 5 GENEL SONUÇLAR.....	 67
 KAYNAKLAR.....	 71
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1 Pişmiş topraktan yapılmış özdeş iki kalıp parçası	5
Şekil 3.1 Kaolenin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü	9
Şekil 3.2 Albit ve Ortoklaz' ın viskozite eğrileri	10
Şekil 3.3 İri taneli (C) ve ince taneli (F) feldspatın tane boyut eğrisi	10
Şekil 3.4 İri taneli feldspat (C) ile ince taneli feldspat (F)'in gözenek eğrileri.....	11
Şekil 3.5 Model ve nihai ürün karşılaştırması	13
Şekil 3.6 Model kalıp CAD çizimi.....	13
Şekil 3.7 Model kalıbın CNC' de işlenmesi	14
Şekil 3.8 a) Boş döküm b) Masif döküm	15
Şekil 3.9 Yarı mamul ürünlerin kurutma işlemi.....	16
Şekil 3.10 Kurutma işlemi tamamlanan yarı mamul ürün	17
Şekil 3.11 Seramik sağlık gereçleri sır hazırlama süreci	17
Şekil 3.12 Püskürtme yöntemi ile sırlama işlemi	18
Şekil 3.13 Sır ayağındaki sır tabakasının silinme işlemi.....	18
Şekil 3.14 $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 - SiO_2 - 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ Faz diyagramı	19
Şekil 3.15 700 °C'de porselen bünyenin taramalı elektron mikroskobunda ikincil elektron görüntüsü. K: Kuvars, F: Feldspat tanesi	19
Şekil 3.16 1000 °C'de pişirilmiş porselen bünyenin taramalı elektron mikroskobunda ikincil elektron görüntüsü	21
Şekil 3.17 1000 °C'de pişirilmiş porselen bünyenin taramalı elektron mikroskobunda geri yansıyan elektron görüntüsü. Koyu alanlar kil kalıntıları etrafında oluşan amorf faz (S) göstermektedir	21
Şekil 3.18 Seramik kırığı atıkları	25
Şekil 3.19 Porselen numunesine ait deformasyon pişirim grafiği.....	27
Şekil 3.20 Porselen faz sıcaklık ilişkisi	27
Şekil 3.21 Piroplastik indeks için cevap yüzeyi	29
Şekil 3.22 XRF cihazı	31
Şekil 3.23 XRD cihazı.....	32
Şekil 3.24 Örnek XRD analizi.....	32
Şekil 3.25 Örnek SEM görüntüsü	34
Şekil 3.26 100 cc Piknometre.....	36
Şekil 3.27 Örnek FTIR spektrumu	39
Şekil 4.1 Dragon Lab OS40-Pro marka karıştırıcı	45
Şekil 4.2 NS-3200g marka terazi	45
Şekil 4.3 Öğütme cihazı ve elek takımı.....	45
Şekil 4.4 Nükleon marka etüv	46
Şekil 4.5 Protherm marka fırın	46
Şekil 4.6 Deformasyon testi numuneleri	47
Şekil 4.7 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 4.8 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	49
Şekil 4.9 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 3 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	50
Şekil 4.10 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 4 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	50
Şekil 4.11 İthal şamot malzemesinin Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	51
Şekil 4.12 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	51
Şekil 4.13 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	52
Şekil 4.14 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 3 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	52
Şekil 4.15 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 4 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	53
Şekil 4.16 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 1 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	53
Şekil 4.17 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 2 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	54
Şekil 4.18 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 3 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	54
Şekil 4.19 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 4 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.....	55
Şekil 4.20 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 1 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.....	55
Şekil 4.21 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 2 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.....	56
Şekil 4.22 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 3 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.....	56
Şekil 4.23 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 4 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.....	57
Şekil 4.24 İthal şamot malzemesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.....	58
Şekil 4.25 Alternatif şamot 1 kompozisyonunun SEM ile alınan mikroyapı.....	58
Şekil 4.26 Alternatif şamot 2 kompozisyonunun SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.....	59
Şekil 4.27 Referans R1 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.....	59
Şekil 4.28 R2 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.....	60
Şekil 4.29 R3 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.....	60
Şekil 4.30 Reçetelerin pişme küçülme değerleri arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.31 Reçetelerin su emme değerleri arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.32 Reçetelerin deformasyon değerleri arasındaki ilişki.....	63
Şekil 4.33 Referans reçete R1 termal genleşme katsayısı grafiği.....	64
Şekil 4.34 R2 numunesinin termal genleşme katsayısı grafiği.....	64
Şekil 4.35 R3 numunesinin termal genleşme katsayısı grafiği.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Çamur hammaddeleri, bileşimi ve içerdiği safsızlıklar	15
Çizelge 3.2 Üretimde kullanılan şamot hammaddesinin kimyasal bileşimi	41
Çizelge 4.1 Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri.....	44
Çizelge 4.2 Sinterleme öncesinde kullanılan alternatif şamot hammaddelerin kompozisyonları (g)	44
Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan ağırlıkça % reçete kombinasyonları	61
Çizelge 4.4 Pişme küçülme değerleri	61
Çizelge 4.5 Su emme değerleri	62
Çizelge 4.6 Deformasyon değerleri.....	62
Çizelge 4.7 R1, R2 ve R3 numunelerinin mukavemet değerleri.....	63
Çizelge 4.8 Reçetelerin termal genleşme katsayıları	65
Çizelge 4.9 Hammaddelerin maliyet fiyatları	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

X	: Kuru Ağırlık
P	: Ortalama Kırma Kuvveti
h	: Numunenin Kalınlığı
L	: Destekler Arası Mesafe
b	: Numunenin Genişliği

KISALTMALAR

D	: Deneme Örnekleri
FFC	: Fine Fire Clay
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi
ICP	: İndüktif Eşleşmiş Plazma
LA	: Litre Ağırlığı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SSG	: Seramik Sağlık Gereçleri
VC	: Vitrifiye
XRD	: X Ray Diffraction
XRF	: X Ray Fluorescence

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Yapının estetikliğini ve kullanıcıların sağlığını etkileyen, binaların temel gereksinimi olan seramik sağlık gereçlerinin döküm yöntemi ile şekillendirilmesinde çoğunlukla kalıp alçısı kullanılır. Seramik sektöründe kalıp alçısının dayanıklılık, porozite, absorpsiyon, mukavemet gibi özelliklerinin kullanıcı isteğine ve üretim şartlarına göre değiştirilebilmesi istenir. Kalıp hazırlanmasında kullanılan alçının dayanıklılığının artırılması kalıbın daha fazla tekrarda kullanılmasını, porozitesinin ve absorpsiyonunun artırılması da kalınlık alma süresini kısaltır. Kalıplara bu özelliklerin kazandırılması ile maliyet, kalite ve üretim hızı açısından önemli derecede katkı sağlanmış olur. Alçı, günümüzde farklı uygulamalarda kullanılan eskiden beri bilinen bir bağlayıcı malzemesidir. Örnek olarak seramik sanayi, vitrifiye ve sofr eşyası eşyası gibi ürünlerin döküm yöntemi ile şekillendirilmesi için gerekli kalıpların hazırlanmasında kullanılır. Alçıtaşı, doğada bol bulunması, düşük sıcaklıklarda pişirilmesi, öğütmede kolaylık ve maliyet bakımından ucuz olması gibi önemli özelliklere sahiptir. Çimento üretiminde ise alçı taşı, çimento hamurunun priz süresinin ayarlanması amacı ile kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra kalıp alçısı, kolayca şekillendirilebilir, kısa sürede sertleşir ve dayanım kazanır; elde edilen alçı kalıp, gözenekli yapısı ile döküm çamurundaki suyu hızla emer, seramik çamurunun kalıbın şeklini almasını, kalıptan kolayca ve kısa sürede ayrılmasını sağlar. Alçı bu üstün özellikleri nedeni ile seramik endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Seramik sektöründe olduğu gibi çimento sektöründe de önemli düzeyde kullanılmaktadır (Kocabağ 2000). Seramik sağlık gereçleri sektöründe üretilen ürünler için iki farklı çamur kullanılmaktadır. Bu çamurlar; vitrifiye çamurları ve fine fire clay (FFC) çamurlarıdır. Uzun ebatlı ve düşük pişme deformasyonun gerekliliği bulunan lavabo türü ürünler FFC çamurları ile üretilmektedir.

FFC ürünlerine yüksek mukavemet ve düşük deformasyon davranışını reçete içerisindeki şamot hammaddesinin sağladığı bilinmektedir. Şamot malzemesinin sağladığı bu önemli özelliklerin yanı sıra, üretici firmaların azlığı ve yurt dışından ithal ediliyor olması yüksek maliyet ve ekonomik istikrarsızlıkları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada, seramik sağlık gereçleri sektöründe Türkiye’deki firmaların rekabet gücünün arttırılması ve dünyada büyük bir pazar açığı olan şamot sektörüne yerli kil ve kaolenler kullanılarak alternatiflerin sunulması amaçlanmıştır.



BÖLÜM 2

SERAMİĞİN TARİHÇESİ VE GÜNÜMÜZDEKİ DURUMU

“Grekçedeki ‘keramos’ sözcüğünden gelen seramik, en kısa şekilde kökeni kil olan pişmiş malzeme olarak tanımlanır”(Toydemir 1991).“İnsanlık tarihinin en eski maddi kültür kalıntıları arasında yer alan seramik ürünler, bilimsel gelişimin ilk göstergelerinden biri olarak karşımıza çıkmakta; malzeme ve insanoğlunun gelişim tarihine ışık tutmaktadır. 400 °C’nin üzerinde bir ısıda pişirildikten sonra geri dönüşümü olmayan seramik ürünler günümüze kalan en eski uygarlık buluntularıdır. Tahıl ürünlerinin artışıyla, üretim fazlası ürünler depolama yoluna gidilmiş; yiyecek üretiminin depolanabilmesi, yerleşik hayatın benimsenmesini buna bağlı olarak büyük miktarlarda eşya sahibi olmayı gerekli kılmış; teknoloji ve el sanatları gelişim göstermiştir. Toplumlar ürünlerini depolamak için, topraktan kap üretme yolunu benimsemişlerdir. Böylece endüstriyel seramiğin oluşum süreci, kullanıma yönelik kapların üretimiyle başlamıştır.”

“2. cilalı tas devrinde M.Ö. 3500 yıllarında Jericho’da kilden yapılmış ilk yalın kap kacaklara rastlanıyor. Uygulayıcılarının bu sanatı başka bir yerden getirdikleri kanısı çok kuvvetlidir. Kullanılan kilin içine saman çöpü, sonraları da kum ilave ettikleri izlenebiliyor. Bu ilk seramik devrinin sonlarına doğru tek tük astarlı dekorlara, daha sonra da kazıma dekorlara rastlanıyor. Çarkın henüz devreye girmemiş olması işlerin yapılış biçimlerinin incelenmesiyle anlaşılabilir. Bu işler, ağaçtan, kilden ya da örülmüş sepetten yapılmış döndürülebilen altlıkların üstünde, elle, bant usulü biçimlendirilmişlerdir.”(Arcasoy 1983).

“Döndürülebilme özelliğine sahip alt plakaların kullanılmaya başlanmasıyla, kaplar daha çabuk şekillendirilebilmiştir. Taştan, ağaçtan ya da pişmiş topraktan yapılan ve elle çevrilen bu altlıklarda daha rahat bir çalışma biçimi ortaya çıkmaktaydı. İlk kez Mezopotamya’da görülen ve kullanılan bu altlıklar, çok ilkel olmakla birlikte çömlekçi tornasının ilk örnekleridirler. “M.Ö. 3500 yılına ait olduğu saptanan Uruk’ta ilk çömlekçi çarkına, dolayısıyla çarklı çömlekçiliğe rastlanmıştır; en önemlisi de L. Woolley kazılarında çarkın ve araba tekerleği kalıntılarının aynı anda ortaya çıkarılmasıdır.

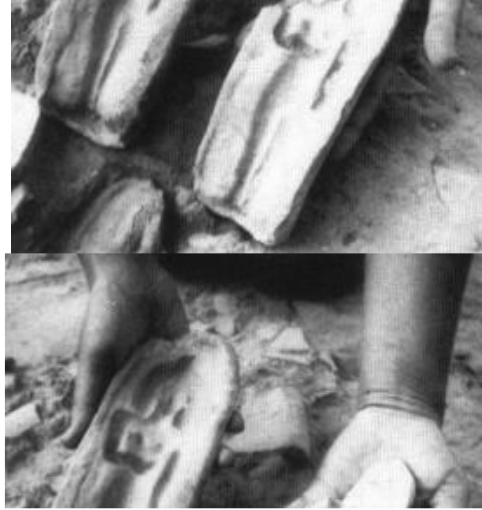
Ancak, çömlekçi çarkının mı araba tekerleğini doğurduğu, yoksa araba tekerleğinin mi çömlekçi çarkını doğurduğu henüz çözümlenememiş bir tartışma konusudur.”

“Seramiğin bir alet yardımıyla şekillendirilmesinde kullanılan en eski yöntem olan torna ile şekillendirme, Mezopotamya’dan sonra farklı bölgelerde de görülmüştür. Örneğin M.Ö.2800’de Hindistan Yarımadası’nda, M.Ö. 2688’de Çin’de, M.Ö. 2500’de Mısır’da, M.Ö.2500’de Anadolu’da Kayseri, Boğazköy ve Truva’da çeşitli torna türlerine rastlanmıştır.

İnsan elinin ve parmaklarının tornada şekillendirme ustalığını kazanmasıyla birlikte daha hızlı tornalar yapılmaya başlanmıştır. Zamanla elle çevrilen tornaların yerini daha hızlı ve kontrollü olarak ayakla döndürebilen tornalar almıştır. Seramik teknoloji tarihindeki ilk makine olan çömlekçi tornasının gelişimi, üretim teknikleri ve elde edilen ürün bakımından çömlekçiliğe yenilikler getirerek, kullanım amaçlı seramiklerin hızlı bir biçimde üretilmesini sağlamıştır.” (Atılğan 2006).

Seramiğin ana hammaddesi olan toprağın kullanım biçimi ve üretim yöntemleri eski zamanlardan günümüze kadar çok değişmiş, seramik teknolojisinde büyük gelişmeler olmuş, uygulama alanı genişlemiş, seramiğin tanımına yeni boyutlar getirilmiştir. Seramik, su ile yoğrulduğu zaman istenilen şekli alabilen, pişirildiğinde mukavemet ve su geçirimsizlik özelliği kazanan, ana maddesi ince taneli kil olan, birbirine kimyasal bağlar ile bağlanmış metaller ve metal olmayan maddelerden oluşan inorganik bileşiklerdir. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır, porozite vardır. Seramik malzemeler, belirli bir kompozisyon dahilinde hazırlanarak yüksek sıcaklıklarda (1100°C’ den itibaren) sinterlenmiş malzemelerdir (Barsoum 2003).

Şekil 2.1’ de pişmiş topraktan yapılmış özdeş iki kalıp parçasının fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.1 Pişmiş topraktan yapılmış özdeş iki kalıp parçası (Frith 1985).

“Kurulan ilk porselen fabrikası, Fransızların öneri ve yardımları ile 1892 yılında kurulan Yıldız Porselen ve Çini Fabrikası’dır. Türkiye’de Cumhuriyet döneminde, seramik sağlık gereçleri üretimi, 1960 yılında Eczacıbaşı’nın girişimi olmuştur.

Aynı yıllarda kurulma çalışmalarına başlanan Yarımca Porselen Sanayi (Sümerbank ve Emlak Bankası tarafından kurulan Porselen ve Çini Fabrikaları Ltd. Şirketi) 1960 ihtilali nedeniyle gecikmeli olarak 1967 yılında üretime geçen kamu kuruluşu olmuştur. Eczacıbaşı ve Yarımca Porselen Sanayi’den sonra üretime başlayan kuruluşlardan Eczacıbaşı Yapı Gereçleri-Vitra, Türkiye’nin seramik sağlık gereçleri üretiminin %40’ını gerçekleştirilmektedir. Türkiye’nin en büyük seramik sağlık gereçleri ihracatçısı olan kuruluş, Kuzey Avrupa, Orta ve Uzak Doğu ve Amerikan pazarına ihracatını sürdürmektedir.

Bu üreticilere ek olarak; Serel Seramik Sanayi ve Ticaret A.S. 1978’de Manisa’da, Çanakçılar Seramik Sanayi A.S. 1980’de Zonguldak/Gökçebey’de, Toprak Seramik San. Ve Tic. A.S. 1981’de Bozüyük’te, Turan Seramik A.S. 1987’de Ordu’da, Ece Banyo San. A.S. 1992’de Çorum’da, Çanakkale Seramik Grubu’nun şirketlerinden biri olan Kalevit Seramik Sanayi A.S. 1993’de Çanakkale’de, Egevit Vitrikiye Seramik San. ve Tic. A.S. 1994’de İzmir’de, Gürallar Grubu çatısı altında kurulan Kütahya Seramik San. A.S. 1995’de Kütahya’da, Eskişehir Seramik Ltd. Şti. 1996 yılında Eskişehir’de kurulmuştur.

Günümüzde birçok seramik fabrikası sağlık gereçleri ürünlerinin üretimini, dünya standartları ölçüsündeki son teknoloji donanım ve sistemleriyle sürdürmektedir. Türkiye dünya

sıralamasında, seramik üretiminde üçüncü sırada yer almaktadır. Bu bağlamda. Fransa, İtalya, Almanya gibi ülkeler ile yarışmaktadır.”(Atılgan 2006).



BÖLÜM 3

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ

Seramik denince akla gelen tanım olarak metal ve metal olmayan maddelerden oluşan inorganik bileşikler gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda pişirilen bu malzemeler dayanıklıdır, fakat kırılğan olmaktadır. Günümüzde kırılğanlığı azaltmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Gerek hammadde oranlarında, reçetelerde gerek ise ilave katkı malzeme ve faz dönüşümüne bağlı olarak yapılan çalışmalar vardır. Seramik sağlık gereçlerine baktığımızda lavabo, klozet, pisuar, duş teknesi gibi genel olarak kullandığımız ürünler karşımıza çıkmaktadır. Bu ürünler belirli kompozisyonlar dahilinde hazırlanarak öğütme, çamur hazırlama, döküm, kurutma, sırlama ve sinterleme gibi genel bilinen süreçler uygulanarak oluşturulur. Teknik özelliklerinden bahsedecek olursak; yüzeyin parlak ve gözeneksiz olması, bakteri ve mikrop barındırmaması, kir tutmaması ve kolay temizlenmesi, su emmemesi nedeniyle koku yapmaması, asit ve deterjanlardan etkilenmemesi, aşınmaması, uzun ömürlü olması ve ateşe dayanıklı olması gibi parametreleri söyleyebiliriz. Bunlara ilave olarak seramiklerde iyonik+kovalent bağ yapısı mevcuttur. İyonik bağ ile bağlı olmasından dolayı ısı ve elektrik iletkenliği düşüktür.

Seramik sağlık gereçleri genel olarak döküm yöntemiyle şekillendirilir. Kalıplardan alınan yarı mamul ürün kurutulduktan sonra su emme değeri 0.5' in altında olacak şekilde sırlanan ürünlerdir (Anonim 2013). Daha sonra 1100°C-1250°C civarı sıcaklıkta pişirilmektedir (Eravcı 2016).

3.1 SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

Seramik sağlık gereçlerinde kullanılan hammaddeler; kil, kaolen, feldspat ve kuvarstır. Kil ve kaolen özlü malzeme, kuvars ve feldspat özsüz malzeme olarak bilinir. Feldspat yatakları zamanla hidrotermal olarak bozunduğunda kaolen yatakları oluşur. Daha sonra dağ eteklerine doğru inen malzemeye kil denir. Kilin kaolene göre tane boyutu daha küçüktür. Kilin empürite oranı yüksektir, plastiklik yeteneği kaolene göre daha iyidir.

3.1.1 Kil

Kil minerallerinin bileşimi genellikle alüminyum hidro silikatlardan meydana gelmektedir. Killer, su ile karıştırıldıklarında plastik ve daha fazla su ilavesinde kolloid özellik kazanır.

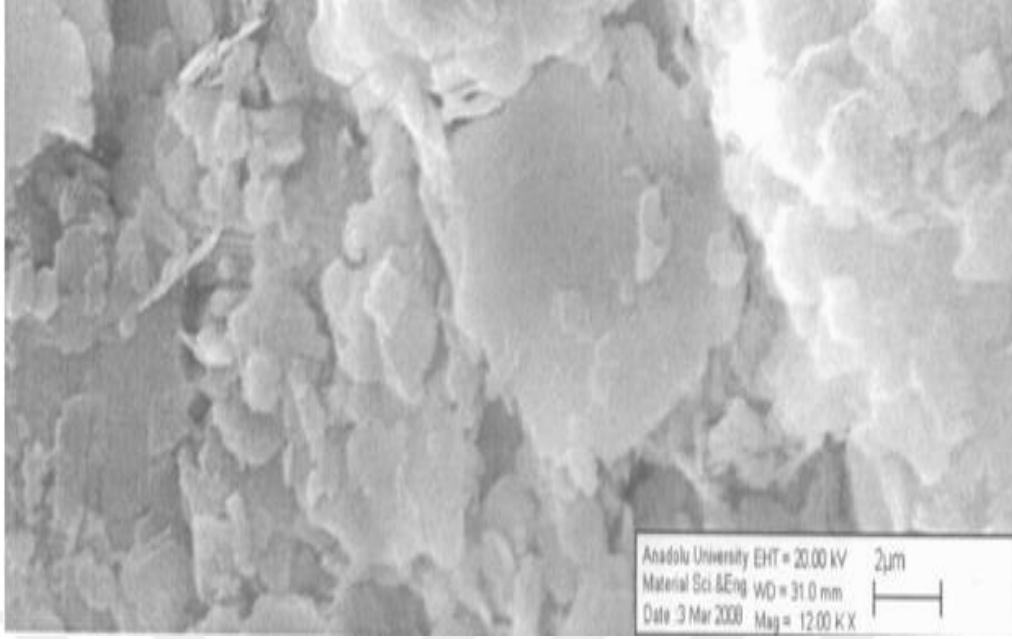
Bu özellikleri onların mekanik veya döküm yolu ile kalıcı bir şekil vermesini sağlar. Pişirilen killer sert ve dayanıklı ürünler meydana getirirler (Lapasin vd. 2006, Güngör 2010).

Kil-su karışımlarında killer içine ilave edilen su miktarına göre farklılık gösterir. Bu özellikler, endüstriyel ve mühendislik açısından kil minerallerinin kullanımını etkiler. Kilin safsızlık oranı düşük istenir. Safsızlık içeriği olarak Fe, Ti, S diyebiliriz.

İki tabakalı ve Üç tabakalı olmasına göre özelliklerinde farklılık göstermektedir. Üç tabakalı olan killerde depoladığı su oranı artar ve buna bağlı olarak şişmeye neden olur. Bakıldığında tabaka oranı arttıkça depoladığı su oranı artar bu da istenmeyen bir durumdur. Seramik sağlık gereçleri üretiminde kullanılan killere ball clay (seramik kili) denir. Mineralojik olarak kaolen, kuvars, mika ve feldspattan oluşur. Kompozisyon olarak da %40-95 kaolinit, %3-40 mika veya feldspat yine %1-40 arasında kuvars olduğunu söyleyebiliriz (Fortuna2000a).

3.1.2 Kaolen

Beyazlık, şeffaflık, daha da önemlisi plastiklik özelliği verdiği için porselenlerin vazgeçilmez bileşenidir. Mineralojik ve kimyasal yönden kil ve kaolen arasındaki fark çok azdır. Doğada ikisi de kaolinit yapıdadır. İçerdikleri safsızlıklar en fazla oranda kuvars, en düşük oranda da demir ve titanyum içerirler. Tipik kil ve kaolen yapısı $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ bu biçimdedir. Kaolenler yaygın bir şekilde montmorillonit ve smektit içerirler. Smektit iki tabakalı olup en çok tercih edilendir. Montmorillonit üç tabakalı olup seramik bünyede şişme yapar (Tiryaki 2014). Bu mineraller porselen bünyenin plastikliği ve reolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Güngör 2010). Şekil 3.1' de kaolenin taramalı elektron mikroskobu fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1 Kaolenin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü (Fortuna 2000b).

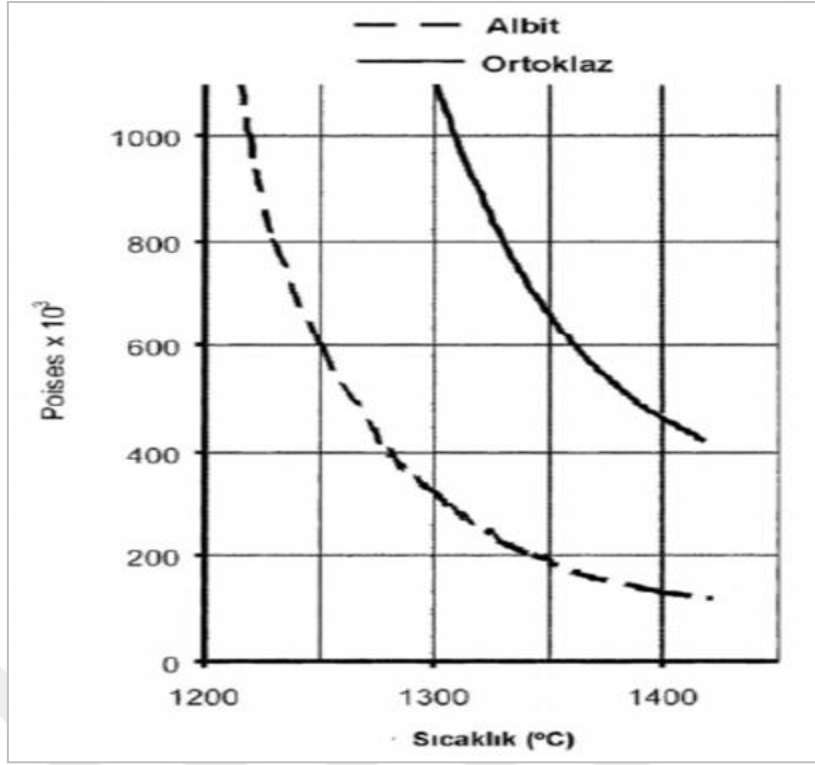
3.1.3 Feldspat

Ergitici olarak kullanılır. Sinterlemeyi kolaylaştırır. Camı faz oluşumunu artırır. Silikaya göre daha düşük sıcaklıkta ergiyerek akışkanlığı artırır.

K-Feldspatlar, porselende en çok kullanılan feldspat türüdür. Seyrek olarak saftır. Sodyum feldspat= Albit, kalsiyum feldspat= Anortit, potasyum feldspat= K-feldspat olarak adlandırılır. Ergiticiliği en hızlı olarak sıralarsak; Anortit, Albit, K-feldspat şeklindedir. Her seramik bünyenin farklı bir camlaşma değeri olduğundan kullanılacak flaks miktarı da buna göre değişkenlik gösterir.

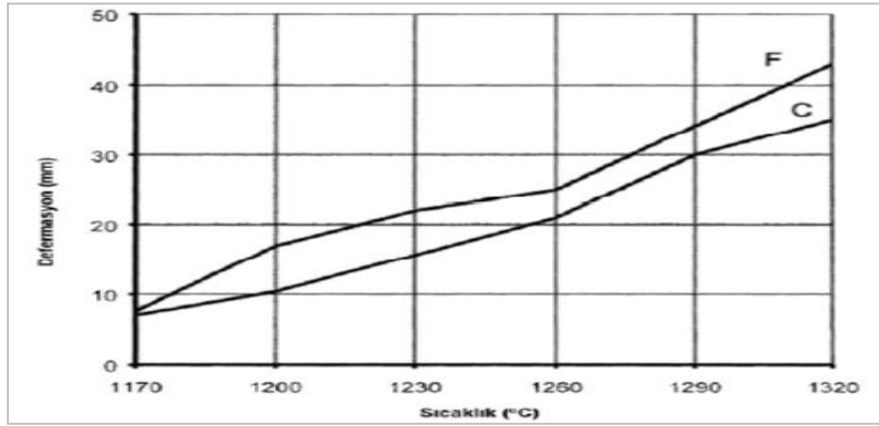
- Ortoklaz ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$): Temel potasyum kaynağıdır.
- Albit ($Na_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$): Na-feldispattır.
- Anortit ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$): Ca-feldispattır (Tucci 2007).

Şekil 3.2’ de Albit ve Ortoklaz’ ın viskozite eğrilerinin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2 Albit ve Ortoklaz'ın viskozite eğrileri (Fortuna 2000b).

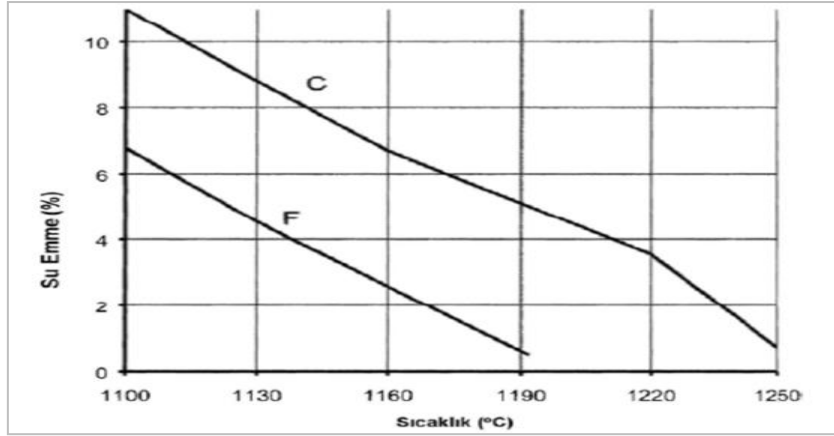
Şekil 3.3' de iri taneli ve ince taneli feldspatın tane boyut eğrilerinin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3 İri taneli (C) ve ince taneli (F) feldspatın tane boyut eğrisi (Fortuna 2000b).

Grafiğe bakıldığında iri taneli feldspat ile ince taneli feldspat arasındaki pişme tane boyut farkı bariz görülmektedir.

Şekil 3.4' de iri taneli feldspat ile ince taneli feldspat'ın gözenek eğrilerinin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.4 İri taneli feldspat (C) ile ince taneli feldspat (F)'ın gözenek eğrileri (Fortuna2000b).

Grafiğe bakıldığında iri taneli feldspattan ince taneli feldspata geçince maksimum pişme sıcaklığında yaklaşık 60°C düşüş meydana gelir.

3.1.4 Kuvars

SiO₂ bileşiminde ve farklı kristal yapılarında çeşitli mineraller bulundurulur. Bunlar; kuvars tridimit, kristobalit ve koesittir. Yoğunluğu 2,65 g/cm³ tür. Saf hali renksizdir.

Kırılma yüzeyleri yoktur. Doğada en yaygın olarak bulunan β-kuvars' tır. Asitte erimez. Yalnızca HF ile tepkime gösterirler.

Kuvarın seramik bünyedeki etkileri; plastikliği düzeltir, plastik olmayan malzeme olduğu için plastikliği düşürür, bünyenin beyazlığını artırır, içerisinde çok az demir ve titanyum içerir. Bünyenin genleşme katsayısını artırır, vitrifikasyon sıcaklığını artırır. Feldspatla birleştiğinde kalıntı kuvarlar müllit fazını oluştururlar. Bunlar da pişme sırasında iskelet görevi yaparak deformasyonu azaltır (Özel 1997).

3.1.4.1 Kuvarın Sıcaklıkla Polimorfik Dönüşümleri

SiO₂ polimorfik bir bileşiktir.

Kuvars → Tridimit → Kristobalit → Sıvı SiO₂ (Tersinir Reaksiyon)

Kuvars-Tridimit (870°C)

Tridimit-Kristobalit (1470°C)

Kristobalit-Sıvı SiO₂ (1710°C)

β -kuvars $\rightarrow$ α -kuvars (Hacimce % 1.6 değişme) (Tersinir Reaksiyon)

β -kuvars- α -kuvars (573°C)

β -kuvars (Trigonal)- α -kuvars (kübik)

β -kristobalit $\rightarrow$ α -kristobalit (200-270°C)

β -kristobalit (Tetragonal)- α -kristobalit (kübik) (%3' den > değişme) (Tersinir Reaksiyon)

γ -trimidit $\rightarrow$ β -tridimit $\rightarrow$ α -tridimit (Tersinir Reaksiyon)

γ -tridimit- β -tridimit (117 °C)

β -tridimit- α -tridimit (163°C) (Stubna 2007).

Dönüşüm sıcaklıklarında hacim değişimi ortaya çıkar. Bu yüzden bu bölgelerde ani sıcaklık değişimlerinden kaçınılmalıdır (Richerson1992).

3.2 SERAMİK SAğLIK GEREÇLERİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Seramik sağlık gereçleri üretim yöntemi olarak VC ve FFC kompozisyonlarında aynıdır. FFC kompozisyonunda fark sadece şamot kullanılmasıdır. Şamot pişmiş kaolendir. Bakıldığında VC bünyede görülen fazlar; müllit, kuvars ve camsı fazdır, fakat FFC bünyede görülen fazlar müllit, kuvars, kristobalit ve camsı fazdır. Kristobalit fazının görölme sebebi şamottan dolaydır. Seramik sağlık gereçleri ürünlerinde büyük ebatlı ürünler, FFC (Fine Fire Clay) olarak bilinen pişmiş kil içeriği yüksek çamurlar ile dökölmektedir.

Seramik sağlık gereçleri üretim süreci;

- tasarım,
- kalıp hazırlama,
- çamur hazırlama,
- şekillendirme,
- kurutma,
- sırlama,
- sinterleme,
- kalite ve nihai sonuçtur.

Seramik sağlık gereeri sektöründe genellikle VC kompozisyon kullanılır (Fortuna 2000).

3.2.1 Tasarım

Model kalıp bilgisayar ortamında CAD izim programları ile yapılmaktadır. Ayrıyetten el ile de örnek teknik resim çizimi oluşturulabilir. İlave olarak model oluştururken çekme, çarpılma payları gibi hesaplar yapılarak ona göre çizim yapıp üretim sağlanır. Döküm yapılabilmesi için modelin kuru olup döküm çamurunu emmesi gerekmektedir. şekil 3.5’ de örnek model ve nihai ürünün fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



şekil 3.5 örnek model ve nihai ürün karşılaştırması (Twyford 2005).

şekil 3.6’ da rnek CAD izimi model kalıbın fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



şekil 3.6 Model kalıp CAD izimi.

Şekil 3.7’ de örnek model kalıbın CNC’ de işlenmesine ait fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.7 Model kalıbın CNC’ de işlenmesi.

3.2.2 Kalıp Hazırlama

Tasarım sürecinden sonra kalıp hazırlama sürecinde deneme dökümleri yapılmış olan model kalıptan teksir kalıp yapılır ve bu kalıp silikondan elde edilir. Silikon dayanıklı ve esnek bir malzemedir. Teksir kalıpları seri üretim için faydalı olacağından yapılır. Seri üretimde kullanılan kalıplar genellikle alçıdan elde edilir. Alçı kalıp tekrar tekrar kullanılabilir. Alçı kalıplara da seramik genel üretim proses şemasında belirttiğimiz nem atmaları için kurutma işlemi yapılır (Ürkmez 2018).

3.2.3 Çamur Hazırlama

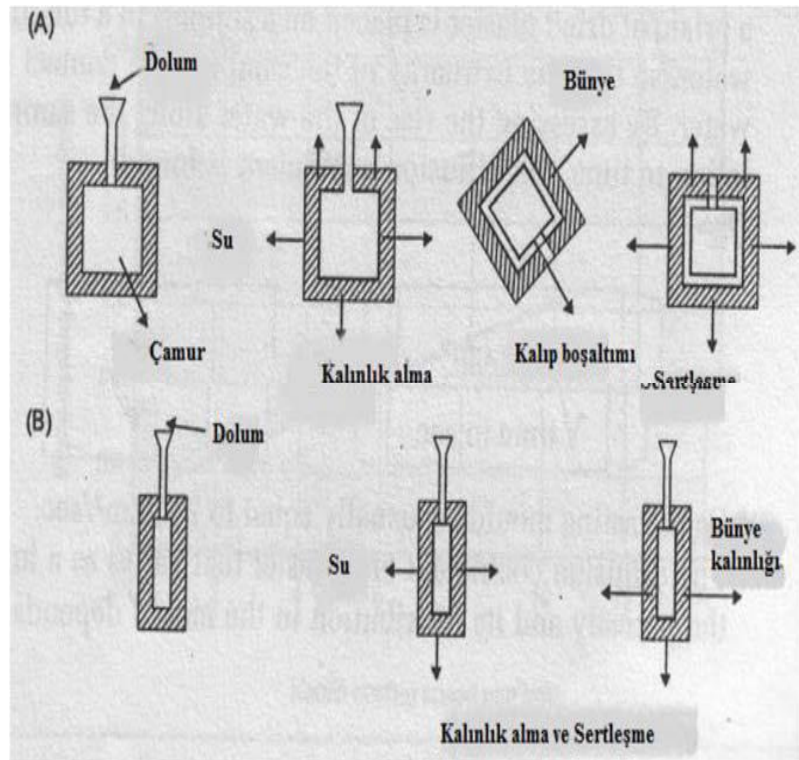
Bu süreçte geleneksel seramik hammaddeleri belirli kompozisyonlar dahilinde hazırlanarak çamur elde edilir. Özlü malzemeler olan kil ve kaolen su ve deflokülanlar ile açılır. Özsüz malzemeler olan feldspat ve kuvars değirmende öğütülerek tane boyutu düşürülür. Öğütme işlemi sulu ve kuru olmak üzere bilye kullanılarak iki farklı şekilde yapılır. Reçete hazırlanıp çamur oluşturmaya geçilmeden önce tekrar eleme işlemi yapılır. Homojenizasyonun sağlanması ve empüritelerin uzaklaştırılması için yapılan bu işlemden sonra tekrar karışım yapılır. Çamurun viskozitesi, tiksotropisi, litre ağırlığı, pH ve sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır (Rado 1988). Çamur hammaddeleri, bileşimi ve içerdiği safsızlıklar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çamur hammaddeleri, bileşimi ve içerdiği safsızlıklar.

Hammadde Adı	Bileşimi	İçerdiği Safsızlıklar
Kil	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	Kuvars, TiO_2 , Fe_2O_3
Kaolen	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	Montmorillonit, Kuvars
Sodyum Feldspat	$Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	K_2O , CaO , MgO , Kuvars
Potasyum Feldspat	$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	Na_2O , CaO , MgO , Kuvars
Nefelin Siyenit	$K_2O.3Na_2O.4Al_2O_3.9SiO_2$	CaO , MgO , Kuvars
Alümina	Al_2O_3	Na_2O
Kuvars	SiO_2	TiO_2 , Fe_2O_3
Killerdeki kuvars içeriği %35' e kadar çıkabilir.		

3.2.4 Şekillendirme

Şekillendirme sürecinde istenilen kıvama getirilen çamur farklı döküm yöntemleri kullanılarak alçı veya sentetik reçine kalıplara dökülmek suretiyle işlem gerçekleştirilmiş olur. Örneğin döküm yöntemlerinden bir tanesi basınçlı döküm yöntemidir. Dökümün yapıldığı bu süreçte dış cidardan iç cidara doğru çamur kalınlık almaya başlar. Bu sürecin açıklaması çekirdekleşme başlar genel olarak döküm yönteminde olduğu gibi kenardan merkeze doğru katılaşma başlar. Döküm açısı, döküm sıcaklığı, tane boyut dağılımı, kalınlık süresinin bilinmesi gibi parametreler ileriki süreçler için önemli rol oynamaktadır (Özdemir 2005). Şekil 3.8' de boş döküm ve masif döküm işleminin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.8 a) Boş döküm b) Masif döküm (Dinger ve Funk 1994).

3.2.5 Kurutma

Seramik sağlık gereçleri bünyelerinde kurutma işlemi üretim önemli bir basamağıdır. Döküm işleminden sonra ürünler %10-12 oranında su içerirler. Ürünün sinterleme sırasında kırılmasını önlemek için sinterleme öncesinde kurutulmalıdır. Kurutmadaki kritik parametreler sıcaklık, nem oranı ve ürün kalınlığıdır (Ricciardiello, 2005). Kurutma işlemi 110-150 C’ de yapılır. Seramik sağlık gereçleri sektöründe kurutma işlemi iki aşamada yapılmaktadır:

Yeşil kurutma: Kalıptan alınan parçaların ilk kurutma işlemidir. R tuş işlemleri için ürünün daha dayanıklı ve ele alınabilir olmasını sağlar. Yeşil kurutma işleminden sonra VC türü ürünlerin nem değeri %10-15 kadar düşer.

Beyaz kurutma: Yarı mamullerin nem değerinin %1 seviyesine düşünceye kadar kurutulması işlemidir (Fortuna 2000). şekil 3.9’ da yarı mamul olan ürünün kurutma işleminin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



şekil 3.9 Yarı mamul ürünlerin kurutma işlemi.

Şekil 3.10’ da kurutma işlemi tamamlanmış yarı mamul ürünün fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.10 Kurutma işlemi tamamlanan yarı mamul ürün (Dinger ve Funk 1994).

3.2.6 Sırlama

Sır kısaca seramik yüzeyi kaplayan camdır. Tatbik edilmesi teknik bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Sır yapısı gereği çökelti oluşturarak su içerisinde sertleşir, dolayısıyla sertleşen sırnın karıştırıcı içerisinde çözülmesi gerekmektedir. Hiç partikül kalmayacak şekilde karıştırıldıktan sonra ince eleklerden geçirilerek hazırlanır. Şekil 3.11’ de sır hazırlama sürecinin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.11 Seramik sağlık gereçleri sır hazırlama süreci.

Sır, ürüne tatbik edilmeden önce bome ile yoğunluğu ölçülür. Ortalama sır yoğunluğu 40ila 45 arasında olması tercih edilir. Bome 45’den fazlasını gösteriyor ise sıra, su katılarak oran dengelenir. Sırlama işlemi deneyim gerektiren bir işlem olup, sır kabiniinde pistole ile ürünün açık kalan bütün bölgelerine sır püskürtülerek yapılır. Şekil 3.12’ de püskürtme yöntemi ile sırlama işleminin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.12 Püskürtme yöntemi ile sırlama işlemi.

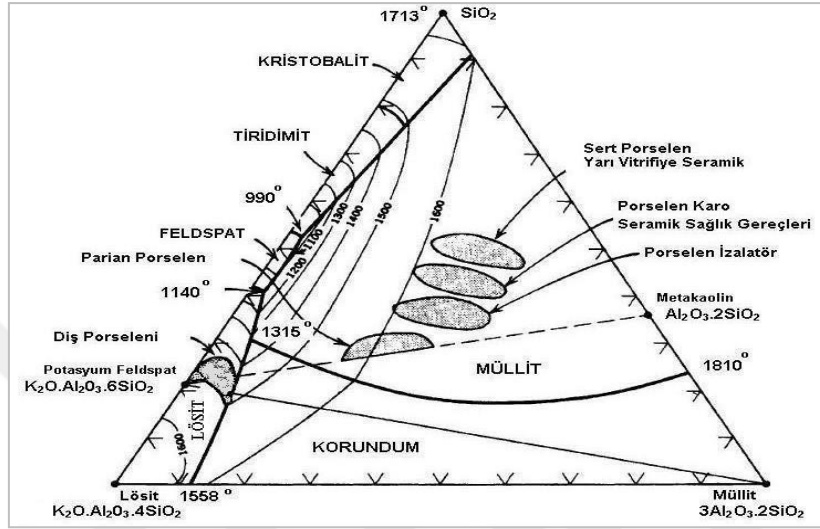
Sırlama bitiminde fırın sıcaklığında sıran eriyerek fırın raflarına yapışmasını önlemek amacı ile ürün, fırın rafı üzerine duracağı kısımdaki sır tabakasının mutlaka sünger ile silinmesi gerekmektedir. Şekil 3.13’ de sır ayağındaki sır tabakasının silinme işleminin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.13 Sır ayağındaki sır tabakasının silinme işlemi (Reed 1995).

3.2.7 Sinterleme (Pişirim)

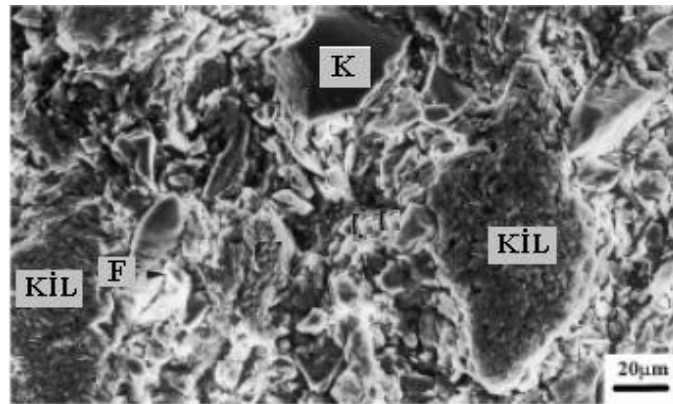
Piştirim süreci ham ürünün son halini aldığı süreçtir ve işletme şartlarına bağlı olarak firmadan firmaya farklılık gösterir. Temel olarak ön ısıtma, piştirim ve soğutma bölgesi olarak üç kısma ayrılır ve her bölgede farklı fiziksel ve kimyasal olaylar gerçekleşir. Şekil 3.14’ te $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ - SiO_2 - $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ Faz diyagramının fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.14 $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ - SiO_2 - $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ Faz diyagramı (Kingery1960a).

3.2.7.1 Ön Isıtma Bölgesi

Ön ısıtma bölgesinde kil, kaolen, kuvars ve feldspat taneleri homojen karışmış olarak fiziksel temas halindedirler. Sıcaklık arttıkça, Şekil 3.15’de görülen taneler arasında bulunan fiziksel su uzaklaşmaya başlar ve killer içerisinde tepkimeler gerçekleşir.



Şekil 3.15 700 °C’de porselen bünyenin taramalı elektron mikroskopunda ikincil elektron görüntüsü. K: Kuvars, F: Feldspat tanesi (Iqbal ve Lee 2000).

Fiziksel suyun uzaklaştırılması (30–150°C): Kalıntı nem miktarı ağırlıkça %1–1,5’den fazla olmamalı ve suyun aniden buharlaşması ile gerçekleşebilecek çatlamlar için bu bölge yavaş geçilmelidir. Bu bölgede mümkün olan ısıtma hızı 1,7–2,2 °C/dakikadır (Fortuna 2000c).

Kimyasal suyun uzaklaştırılması, organiklerin yanması (150–500°C): Killerden gelen organikler ayrışır ve yanar. Bu prosesin kinetiğini organik maddelerin doğası ve tane boyut dağılımı, ısıtma hızı, bünyenin kalınlığı ve fırın atmosferi belirlemektedir. Organik maddelerin yanması 750°C’ye kadar devam eder; ayrıca bazı organik maddelerin ayrışmasından dolayı açığa çıkan kömürün yanması 1100°C ‘ye varabilir. Deneyler, 300°C/sa ile ısıtılan bir elektrik fırınında standart bir vitrifiye bünyenin ısıtılması sırasında karbondioksit varlığını göstermiştir. 1000°C’ nin üzerindeki sıcaklıklarda karbondioksit varlığı sadece organik madde yanmasının bir sonucu olabilir. Doğru olmayan bir pişirim rejimi bu sıcaklık aralığında bünyede “siyah leke” oluşumuna neden olur. Ayrıca, gecikmiş kömür yanması sonucunda, sır yüzeyinde geniş alanda iğne deliği hatası oluşabilir. Kömür yanması sonucu oluşan gaz, sır tabakası artık geçirgen değilken çıkmaya çalışacak ve sır içerisinde gaz baloncukları oluşacak ve bunlar yüzeyde patlayarak küçük kraterler oluşturacaklardır. Bu nedenle eğer bünye organik madde içeriyorsa ısıtma hızı 180-200°C/sa’i aşmamalıdır (Fortuna 2000).

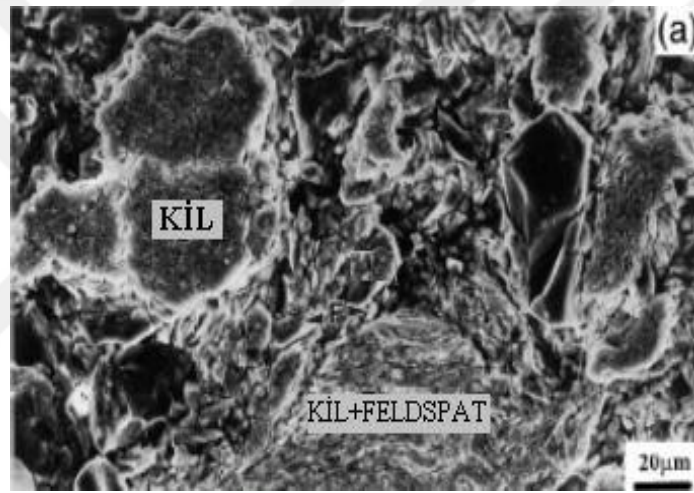
Kuvars dönüşümü (500–700 °C): 573 °C civarında $\alpha \rightarrow \beta$ kuvars dönüşümü gerçekleşir ve bu dönüşüm esnasında %1,6 hacim genleşmesi oluşur. Kristal dönüşümü esnasında oluşan hacim genleşmesi, kaolinit-metakaolinit dönüşümü esnasında görülen küçülme miktarı ve hammaddeler arasında bulunan boşluklar tarafından dengelenir. Aynı zamanda killerin içerisinde görülen mika ve karbonat bileşikler bozunmaya başlar. Bu sıcaklık aralığında mümkün olan ısıtma hızı 5–6,7 °C/dakikadır (Fortuna 2000c).

Karbonat ve sülfat türü bileşiklerin bozunması 700-1050°C: Karbonatlar ayrışma proseslerini tamamlarlar. Magnezyum karbonat 800°C civarında ve kalsiyum karbonat 950°C civarında ayrışmasını tamamlar. Normalde karbonatlar vitrifiye bünyelerinde bulunmazlar; ancak bazı sır formülasyonlarında kütlece %18’ e varan miktarlarda bulunabilirler. Hızlı pişirim rejiminde kullanılan yüksek bir ısıtma hızı (500°C/sa’ in üzerinde) karbonatların uzaklaşma son sıcaklığını 1000°C ve ötesinde sıcaklıklara taşıyabilir. Bu sırada sır tabakasına doğru bir gaz akışı meydana gelir.

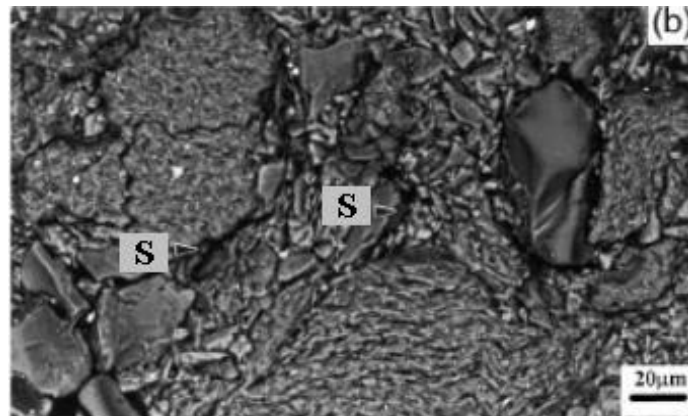
Bu sır zaten önceden gerçekleşmiş olan erimeden dolayı geçirgen değildir; bu nedenle yüzey görünümü ve ürün kalitesi düşer. Bu hızlı pişirim bünyelerinde kalsiyum kaynağı olarak karbonat yerine wollastonit kullanılmasının temel sebeplerinden biridir (Fortuna 2000).

3.2.7.2 Pişirim Bölgesi

İkinci bölge olan pişirim bölgesi, kristal fazların ve kristal fazları bir arada tutan amorf fazın oluşmaya başladığı sıcaklık bölgesidir (Carty ve Senapati 1998). Feldspat ve kil ara yüzeyinde oluşan cam faz (Şekil 3.16), hammaddelerin arasında bulunan boşlukları doldurmaya başlar (Şekil 3.17). Bu bölge, ürünün boyutlarının küçülmeye başladığı ve ürünün belirli bölgelerinde piroplastik deformasyonların oluşmaya başladığı sıcaklık aralığıdır.



Şekil 3.16 1000 °C’de pişirilmiş porselen bünyenin taramalı elektron mikroskopunda ikincil elektron görüntüsü (Iqbal ve Lee 2000).



Şekil 3.17 1000 °C’de pişirilmiş porselen bünyenin taramalı elektron mikroskopunda geri yansıyan elektron görüntüsü. Koyu alanlar kil kalıntıları etrafında oluşan amorf faz (S) göstermektedir (Iqbal ve Lee 2000).

Amorf faz ve müllit kristallerinin oluşması (950–1100 °C). Killerdeki sülfatların ayrışması gaz oluşumuna sebep olur. Bu sıcaklıklarda ilk sinterlenme reaksiyonları; sodyum, potasyum ve demir oksitlerinin katalizör etkisiyle belirgin bir biçimde gerçekleşir. Bu reaksiyonların oluşmasıyla önemli miktarda bünye küçülmesi meydana gelir.

Bu nedenle son ürüne tamiri mümkün olmayan bir zarar vermemek için düşük ısıtma hızı uygulanması gerekmektedir (120-150°C/sa). Ayrıca 1100°C civarında vitrifiye üzerine uygulanan sırn büyük bölümü erimeye başlamaktadır. Hızlı pişirmede bu aralıkta bünyeden gaz çıkışı tamamlanır.

Ürün kalitesini arttırmak için yavaş ilerlemek en iyi yoldur. Karakteristik bir küçülme, killer içerisinde bulunan metakaolinin 950-1000°C aralığında iğne şekilli müllit kristallerine ve silika camına dönüşmesi ile meydana gelir. Feldspatların 1010-1100°C arasında erimeye başlamasıyla, bileşimi oluşturan malzemeler arasında ilk etkileşimler meydana gelir (Rado1988). Potasyum feldspat 1150°C, sodyum feldspat 1050°C civarında erirler. Potasyum feldspat, silika ile temas halinde ve ortamda su buharı varsa 1000°C' nin altında bir sıvı faz oluşabilir. Feldspatların kaolenle 1050°C' nin üzerinde meydana gelen ergitici reaksiyonları bir camsı faz ve feldspat yakınında iğne şekilli (ikincil) müllit ve kaolen tarafında tabaka şekilli (birincil) müllit oluşumuna sebep olur. Sıvı faz varlığında sinterleme sonucu küçülme meydana gelir (Reed 1995).

Sinterlemenin tamamlanması (1100–1200/1250 °C). Maksimum pişirim sıcaklığına ulaşıldığında, vitrifikasyon ile boyutsal çekmeler tamamlanır ve feldspat eriyiğinden kaynaklanan amorf faz kristal fazı sarmaya ve kristal fazın bir kısmını da eritmeye başlar (Fortuna 2000c). Aynı bünye bileşimlerinde kalıntı kuvars miktarı, bünyenin genleşme katsayısını belirler ve azaldıkça bünyenin ısı genleşme katsayısı düşer (Fortuna 2000c). Kalıntı kuvars miktarı %5 ile %18 arasında değişebilir ve buna göre bünyenin genleşme katsayısı, $5,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ile $6,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ arasında değerler alır (Fortuna 2000c). Ayrıca bu sıcaklık aralığında, sır ile bünye arasında bağ oluşmaya başlar. Uygun ısıtma hızı, 2–2,5 °C/dakikadır (Fortuna 2000c).

3.2.7.3 Soğutma Bölgesi

Seramik sağlık gereçleri ürünleri, pişirim bölgesinde hedef mikro yapıya ulaştıktan sonra soğutma bölgesine girerler ve sıcaklık kontrollü bir şekilde düşürülerek bünyenin çatlamadan fırın çıkışı sağlanır (Fortuna 2000c).

3.2.8 Kalite

Pişirim işlemi bitikten sonra kalite kontrole gönderilir. Pişirilen mamullerin kalitelerinin standartlara göre kontrol edilmesidir. Bu kontroller sonrasında ürünler; kaliteli, ıskarta veya tamir olarak sınıflandırılmaktadır. Kalite kontrol bölümünde sınıflandırılan ürünler mamul stok ambarlarında stoklanır. Kalite kontrolün yapılabilmesi için önceden tespit edilmiş standartlar bulunması gerekir. Standartlara uygun ürünün veya yarı ürünün özellikleri olarak fiziksel, kimyasal, boyutsal, fonksiyonel ve estetik özellikler olarak sayılabilir (Sümer 1994).

3.3 SERAMİK ÜRETİMİNDE GÖRÜLEN HATALAR

Pişirim sonrasında seramik üzerinde tespit edilen hatalar, tamir edilebilir ve tamir edilemez olarak ikiye ayrılır. Tamir edilemez durumdaki ürünler ıskartaya ayrılır. Tamir edilebilen hatalar uygun malzemeler kullanılarak tamir edilir ve tekrar pişirilir. Pişirim sürecinden önce meydana gelen hataları düzeltmek zor değildir.

3.3.1 Pinhol Hataları (İğne Başı şeklindeki Hatalar)

Hava boşluğundan daha kktr. En temel sebebi; hızlı pişirim ile gaz çıkışının tamamlanamaması veya kalın sırlama işlemidir.

Uygun olmayan fırın rejimi, sır ve bünyede bulunan karbonun yanması ve pişirim sırasında ortaya çıkan CO , CO_2 , CH_4 , CO_3 gazlarının sır yüzeyine kadar yükselerek patlaması yüzeyde kapanmayan ince deliklerin oluşmasına neden olur (Domenico 2006).

Sırın yumuşama noktasının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda ergimesi sonucunda sır ve bünyede meydana gelen reaksiyonlar sonucu oluşan gazlar uzaklaşmak için yeterli zamanı bulamazlar. Bu nedenle kullanılacak sır mümkün oldukça yüksek sıcaklıkta yumuşamaya başlamalı ve pişme sıcaklığında erimesini tamamlamalıdır (Francescon vd. 1998).

3.3.2 Leke Hataları

Sırda kullanılan boyalardan, ortamdaki kirlilikten veya kompozisyondaki demir kobalt gibi safsızlıklardan kaynaklanabilir. Sır ve çamur hazırlamada kullanılan hammaddelerde bulunma ihtimali olan demir bileşiklerinin sır ile reaksiyona girmesi ve sır yüzeyine doğru yayılarak çıkması sonucunda karşılaşılan hata türüdür.

Sırlaması tamamlanmış, pişmemiş ürünlerin yüzeyine kirli bir ortamdan gelen partiküllerin yapışması ve pişirim sonrası hatalara neden olması ihtimal dahilindedir (Domenico 2006).

3.3.3 Toplanma (Sır-Bünye Uyumsuzlukları)

Toplanma, sırlı pişirilmiş ürün yüzeyinde sırsız veya kısmen sırlı bölgelerin oluşmasıdır. Sırın yüzey geriliminin yüksek olması, pişirim öncesi bünye-sır arasındaki ara yüzeyin zayıflığı, kuruma sırasında sırın fazla küçülmesi, kuru sır mukavemetinin zayıf olması ve kalın sırlama bu hataya neden olur (Domenico 2006).

3.3.4 Çatlak

Sır ile bünyenin genleşme katsayılarının farklı oluşundan meydana gelir. Bu yüzden sır ile bünyenin genleşme katsayılarının birbirine yakın olması gerekir. Sırın genleşme katsayısı bünyeden küçük olursa sır kopmaları ve dairesel çatlamalara neden olur. Yüzey dolayısıyla düzgünlüğünü ve pürüzsüzlüğünü kaybeder (Domenico 2006).

3.3.5 Köşe Atmaları

Genellikle karo üretiminde görülür. En temel sebebi sürtünmedir. Bunu engellemek için; yağlayıcı kullanılır, kenarlar yuvarlatılır (Domenico 2006).

3.3.6 Hava Boşluğu

Seramik sağlık gereçlerinde, karo, tuğla, kiremit üretiminde görülen hata türüdür. En temel sebepleri; çamurun karıştırma hızı ve dolum hızlarıdır (Domenico 2006).

3.3.7 Deformasyon Hataları

Yaygın olarak dökümle üretilen seramik ürünlerde görülür. Büyük ebatlı ve griftli şekillerde daha dikkat edilmesi gerekir. Tasarım ile çözülecek problemdir (Domenico 2006).

3.4 TAMİR PROSESİ

Pişirilen ürünlerin kalite standartlarına göre incelenerek tamir edilebilir veya ıskarta olarak ayrılması sonunda tamir edilecek ürünler sıcak tamir kısmına ayrılır. Hatanın türü ve büyüklüğüne göre farklı tamir yöntemleri ve farklı tamir malzemeleri kullanılır. İlk önce mekanik olarak tamir olacak bölgeye işlem uygulanır daha sonra hata sır bölgesinde ise tamir sıırı veya tamir macunu hata bünnyeye kadar ilerliyor ise tamir çamuru kullanılarak proses adım

adım tamamlanır. Sonra tekrardan pişirim sürecine geçilir fakat bu sefer ilk pişirime nazaran daha uzun süren bir pişirim rejimi uygulanır.

3.5 SERAMİK SAĞLIK GEREÇİ KIRIKLARI

Endüstriyel atıkların sayısı artmasına bağlı olarak yapılan çalışmalar sonucunda, çevresel kirliliğin en aza indirgenmesi ve geri dönüşüm çalışmaları gibi faaliyetler yapılmaktadır. Türkiye seramik sağlık gereçleri endüstrisi dünya üretiminin yaklaşık %5'i ile önemli bir yere sahiptir. Seramik sağlık gereçleri üretiminde %10'a ulaşan oranlarda atık seramik ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı geri dönüştürülememekte ve depolanması ekonomik, çevre kirliliği açısından problemler ortaya çıkarmaktadır (Canbaz 2012). Şekil 3.18' de seramik kırığı atıklarının fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.18 Seramik kırığı atıkları.

Seramik kırığı atıklarının çevresel etkilerini azaltmak ve geri dönüşüme kazandırmak için kompozisyonun içine dahil edilerek etkileri incelenen çalışmalar yapılmaktadır. Buda ekonomik yönden kazanç demektir.

3.6 PİROPLASTİK DEFORMASYONU ETKİLEYEN PARAMETRELER

Yüksek sıcaklıklarda pişirim aşamasında seramiklerin şeklinin bozulmasına piroplastik deformasyon denir. Seramik malzeme üzerindeki gerilimi etkileyen önemli faktörlerden biri ürün boyutlarıdır. Büyük boyutlu ürünlerde artan gerilimle deformasyon miktarı artmaktadır. Dolayısıyla numune boyutu büyüdükçe ürün üzerindeki gerilim bir diğer ifadeyle maruz kaldığı yük seviyesi arttığından deformasyon artmaktadır (Tunçel 2012). Pişirim sırasındaki deformasyon davranışı; kimyasal kompozisyon, yoğunluk, ısıtma hızı, hammaddelerin tane

boyutu ve hammaddelerin reaksiyonları gibi birçok ek faktörün bir fonksiyonudur (Miura vd. 1999, Hopa ve Özel 2016). Seramik sağlık gereçleri gibi büyük boyutlu ve yüksek miktarda camsı faz içeren ürünlerin deformasyon eğilimi yüksektir. Piroplastik deformasyon, yüksek sıcaklıklarda pişirim sırasında yapıda bulunan viskoz camın akışından ve ürünün kendi ağırlığı nedeniyle uygulanan stres nedeniyle seramik şeklinin bozulmasıdır.

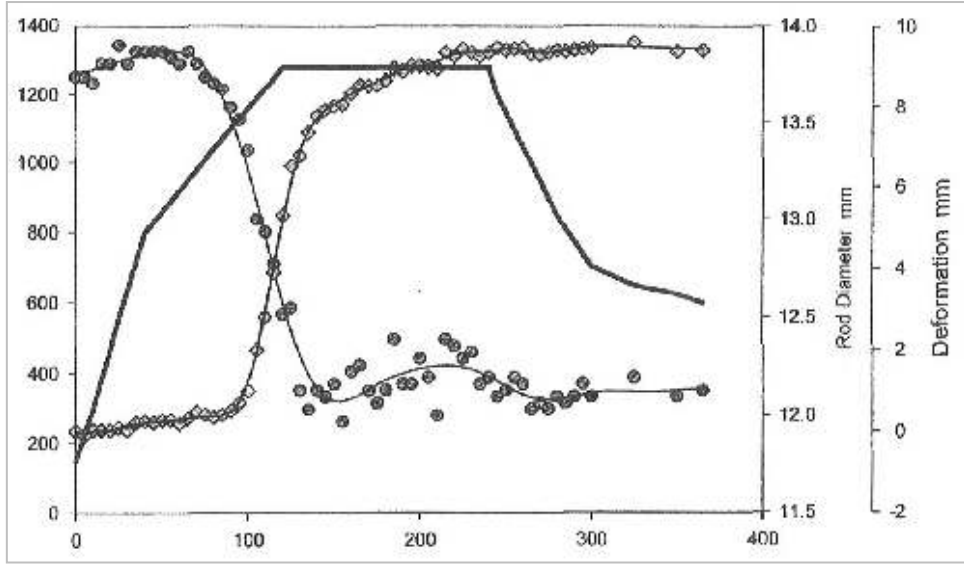
Piştirilmemiş bir porselenin mikroyapısal modeli; feldspat, kuvars ve kaolenin bir karışımı şeklindedir. İyi bir karıştırma uygulanması sonucu feldspat ve kuvars direk temas halinde ve her ikisi de kaolen partikülleri tarafından sarılmış, kaplanmış durumdadır. Sıcaklık yükseldikçe kaolen 550 °C’de kristal suyunu kaybederek metakaolene dönüşür.

Metakaolen 980°C civarında silika yayarak alümina-silika spineline dönüşür. Feldspat tanelerinin kenarlarında feldspat/metakaolen sınırlarında bir ötektik eriyiği oluşur ve bu bölgelere gerçekleşen difüzyon nedeniyle camsı faz ilk olarak bu bölgelerde oluşur. Feldspat bölgelerinin çevresini kuvars ve kaolenin oluşturduğu daha yüksek viskoziteli bir bölge çevrelemektedir. Pişirimin ilerleyen aşamalarında alkali, feldspat bölgelerinden çevredeki bu yüksek viskoziteli bölgeye difüze olur. Ancak alkalinin çok miktarda difüzyonu ya da camsı faz içerisinde homojenizasyonu öncesinde, ergitici tanelerinin çevresinde düşük viskoziteli camsı faz bölgeleri oluşur. Yüksek sıcaklıkta sistemde oluşan sürünmenin, tüm kompozit sisteminin deformasyonu ile değil; ergitici tanelerinin etrafındaki bu düşük viskoziteli camsı bölgeler arasındaki bağlantı yolları aracılığıyla oluştuğu düşünülmektedir (Carty2002).

3.6.1 Kristal Fazların Etkisi

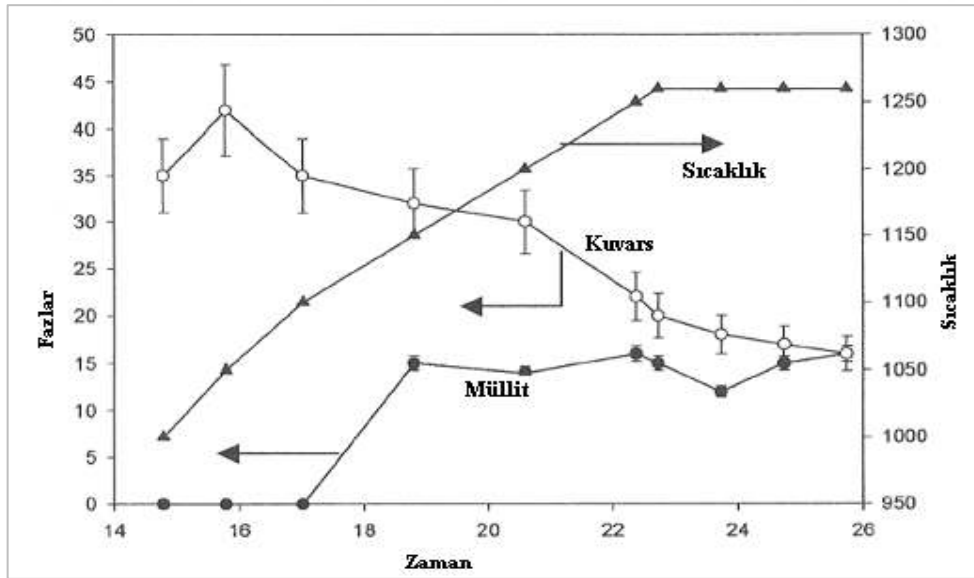
Noirot ve ark. (2003), porselen numunesinde pişirim rejimi boyunca deformasyonu incelemek amacıyla dijital fotoğraflama tekniğini kullanmışlardır. Ticari pişirim koşullarında hangi sıcaklıkta, ne kadar deformasyon oluştuğu görülebilmekte; ayrıca en küçük miktarda oluşan deformasyon bile hassas bir şekilde belirlenebilmektedir (Noirot vd. 2003).

Şekil 3.19’ da porselen numunesine ait deformasyon pişirim grafiğinin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.19 Porselen numunesine ait deformasyon pişirim grafiği (Noirot vd. 2003).

Grafiğe bakıldığında 1000 °C den sonra yüksek hızlı deformasyon, 1200 °C civarında düşük hızda gerçekleşen deformasyon söz konusudur. Piroplastik deformasyonun önlenmesi açısından, sistemdeki kristal fazlar olan müllit ve kuvars önemlidir. Noirot vd. (2003) çalışmalarında X-ışınları tarama tekniklerini kullanarak porselen sistem içerisinde faz oluşumu-sıcaklık ilişkisini incelemiştir. Şekil 3.20’ de fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.20 Porselen faz sıcaklık ilişkisi.

Grafiğe bakıldığında müllit ve kuvars için önemli sıcaklık değerleri verilmiştir. Kuvars çözünmesi 1000 °C’ nin üzerinde gerçekleşmektedir (Noirot vd. 2003). Kristallerin şekil ve

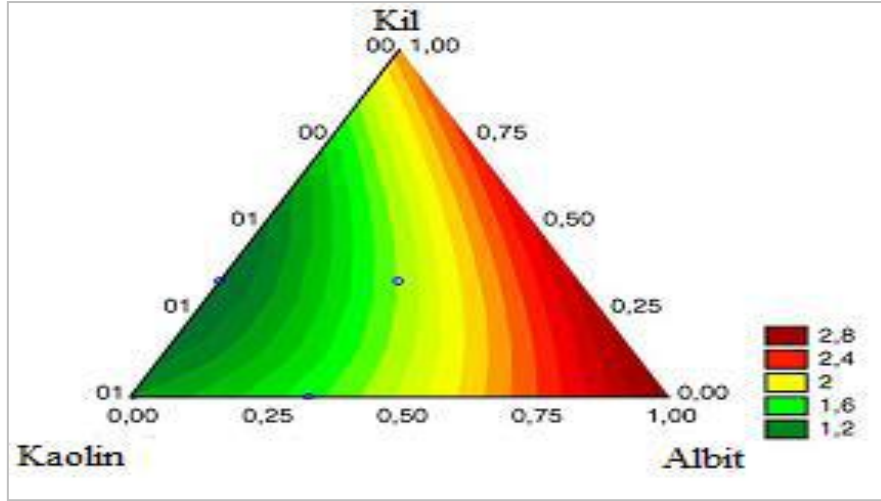
boyutları porselenlerin piropplastik deformasyon davranışı üzerinde etkiye sahiptir. Porselen, pişirim öncesinde heterojen bir mikroyapıya sahiptir.

Pişirilmemiş bünyede sadece kil aglomereleri ve feldspatça zengin bölgeler gibi farklı kompozisyona sahip mikro-bölgeler yer almaktadır. Bu bölgelerin boyutu ve yapı içerisindeki dağılımı farklı türlerde müllit kristallerinin oluşumuna sebep olmaktadır. Kil aglomerelerinden oluşan müllitler küboidal şekillidir ve “birincil müllitler” olarak adlandırılırlar. Uzamış şekilli iğnemsî müllit kristalleri ise “ikincil müllitlerdir ve feldspatça zengin bölgelerden oluşurlar. Müllit kristallerinin şekil ve boyutları, kristallerin büyüdüğü lokal matrisin akışkanlığıyla ilişkilidir. Akışkanlık kompozisyon ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.

İğnemsî müllit kristalleri yapı içerisinde kenetlenerek üç boyutlu bir ağ yapı oluşturur ve piropplastik deformasyonu engeller (Represto vd.1995).

3.6.2 Kompozisyonun Etkisi

Suvacı ve Tamsü çalışmalarında $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ oranının porselen karonun viskozitesini etkilediğini ortaya koymuşlardır. Artan $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ oranı ile birlikte viskozitenin düştüğünü tespit etmişlerdir. Viskozitenin düşmesi mikroyapı gelişimi ve porselen karonun fiziksel özellikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir (Suvacı ve Tamsü 2010). Mikro-yapının bileşenlerinin (ergitici ve kaolinit parçacıkları için kalıntı bölgeleri) tane boyutu ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ oranları, başlangıç hammaddelerinin tane boyutu ve kimyasal kompozisyonlarıyla ilişkilidir. “Vitreouschina” kil, kuvars kumu ve feldspatın 1200°C - 1300°C sıcaklık aralığında pişirilmesiyle oluşturulur. Kil, bünyeye kuruma sırasında gerekli olan kohezyonu ve şekillendirme sırasında gerekli olan plastikliği verir. Kuvars yarı-inert bir dolgu malzemesidir; pişirim sırasında küçülmeyi azaltır ve kararlılığı artırır. Feldspat ergitici olarak, düşük sıcaklıkta yoğunlaşmayı ya da camlaşmayı sağlayan temel sıvı fazın en büyük bölümünü oluşturur (Porte vd. 2004). Bernardin ve ark. (2006) porselen karo üretiminde kullanılan hammaddelerin piropplastik deformasyon üzerindeki etkilerini istatistiksel deney tasarımı yöntemiyle cevap yüzeyi metodunu kullanarak incelemişlerdir. Şekil 3.21’ de fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.21 Piroplastik indeks için cevap yüzeyi (Bernardin vd. 2006).

Fotoğraftaki renkli bölgeler kompozisyonları PI değerlerini temsil eder. Yeşilden kırmızı renge doğru gidildikçe PI değeri; yani deformasyon miktarı artmaktadır. Sonuç olarak en büyük etkiye sahip olan hammaddenin içeriğindeki Na_2O nedeniyle sodyum-feldspat (albit) olduğunu ortaya koymuşlardır (Bernardin vd. 2006).

Feldspatın ergitici etkisi, reaktif bir sıvı faz varlığında yoğunlaşmayı sağlar. Bu sıvı faz kuvarsı kısmen çözer ve kili de çözerek iğnemi, feldspatik cam içerisine gömülü müllit kristallerinin oluşumunu sağlar (Bernardin vd. 2006).

3.6.3 Tane Boyutunun Etkisi

Literatürde tane boyutunun düşürülmesi sonucunda porselen bünyelerin sinterleme sıcaklıklarının düşürülebildiğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Dağ 2009, Kivitz vd.2009). Porselenlerde hammaddelerin tane boyut dağılımı, ürünün mukavemetini de etkilemektedir. Bileşimdeki kuvars sinterleme sırasında camsı faz içerisinde bir doyma noktasına kadar çözünür. Çözünme hızı tane boyutuyla ters orantılıdır. Buna göre sinterleme sırasında küçük taneler çözünür ve yok olur; büyük taneler kalır. Bu nedenle mukavemeti büyük taneler etkiler. Bu noktadan hareketle, araştırmalarda mukavemetin en yüksek olduğu kuvars tane boyutunun bulunmasını hedeflemişlerdir. Kuvars tane boyutu küçüldükçe, kırılma tokluğu ve mukavemet artmakta bir noktadan sonra azalma göstermektedir.

Bragança vd. (2006) çalışmasında kuvars tane boyutunun porselen mukavemeti ve kırılma tokluğu üzerine etkisi incelenmiştir.

Bileşimdeki kuvars sinterleme sırasında camsı faz içerisinde bir doyma noktasına kadar çözünür. Tanelerin çözünme hızı tane boyutuyla ters orantılıdır. Buna göre sinterleme sırasında küçük taneler çözünür ve yok olur; büyük taneler kalır. Bu nedenle mukavemeti büyük taneler etkiler. Bu noktadan hareketle araştırmacılar, mukavemetin en yüksek olduğu bir kuvars tane boyutu bulmayı hedeflemişlerdir. Sonuçlara göre kuvars tane boyutu küçüldükçe kırılma tokluğu ve mukavemet artmakta bir noktadan sonra azalma göstermektedir. Bu çalışmada optimum kuvars tane boyutunun 30 µm olduğu tespit edilmiştir (Bragança vd. 2006).

3.7 MALZEME ANALİZ TEKNİKLERİ

Analiz yönteminin belirlenmesinde veya problemin çözümü için, analizi yapılacak malzemenin karakteristik özellikleri;

- Kristalografik yapı
- Fiziksel özellikler (mekanik, manyetik, optik vs.)
- Kimyasal özellikler (hammadde içerikleri ve aralarındaki reaksiyonlar)
- Üretim yöntemi ve prosesleri
- Malzeme ömrü
- Faz dönüşümleri
- Ergime noktası ve sinterleme koşulları
- Ürünün şekli ve geometrisi
- Yüzey hataları (inklüzyonlar)
- Kullanım alanları
- Çevresel koşullar

3.7.1 XRF (X ışını floresans)

XRF spektrometresi elemental ve kimyasal kompozisyonu belirlemede kullanılır. Hızlı ve duyarlı olması, kullanım kolaylığı ve malzemeye zarar vermeme gibi özellikleri teknolojik ve bilimsel araştırmalardaki önemini artırmaktadır. % kütleli olarak bileşim belirlenir. Çoğu elementler taşınabilir XRF cihazı ile analiz edilebilir. Katı, sıvı ve hatta toz örneklerde analiz edilebilir. Işımanın dalga boyunun saptanmasıyla elementin cinsi (nitel), saptanan bu ışığın yoğunluğunun ölçülmesiyle element konsantrasyonu (nicel) belirlenmektedir.

Muhakkak öğütmek gerekir. Toz boyutları 32 μm ve altına indirilir. 100 g numune olması yeterlidir. Ateş zaiyatı testi yapılarak safsızlıklar, nem vs. belirlenir.

Atomları oksite bağlanmış şekilde verir. Karbon içerikli malzemelerin veya malzeme içindeki yabancı maddelerin tespiti için XRF' e ilave olarak XRD ve ICP analizi yapılabilir. Şekil 3.22' de XRF cihazının fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



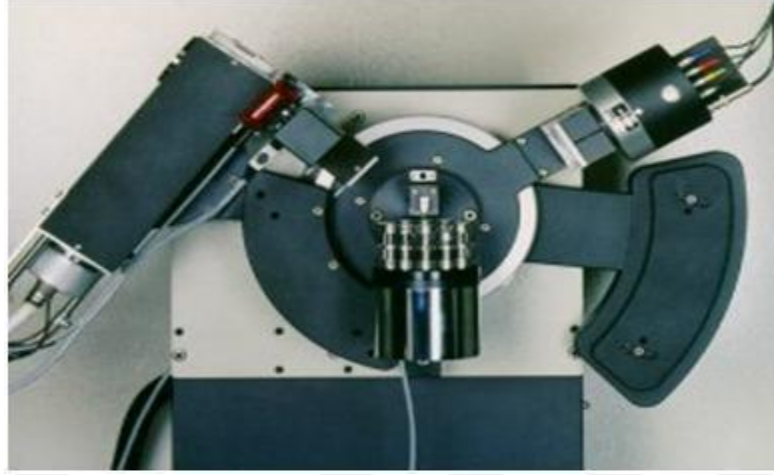
Şekil 3.22 XRF Cihazı.

3.7.2 XRD (X ışını difraksiyon)

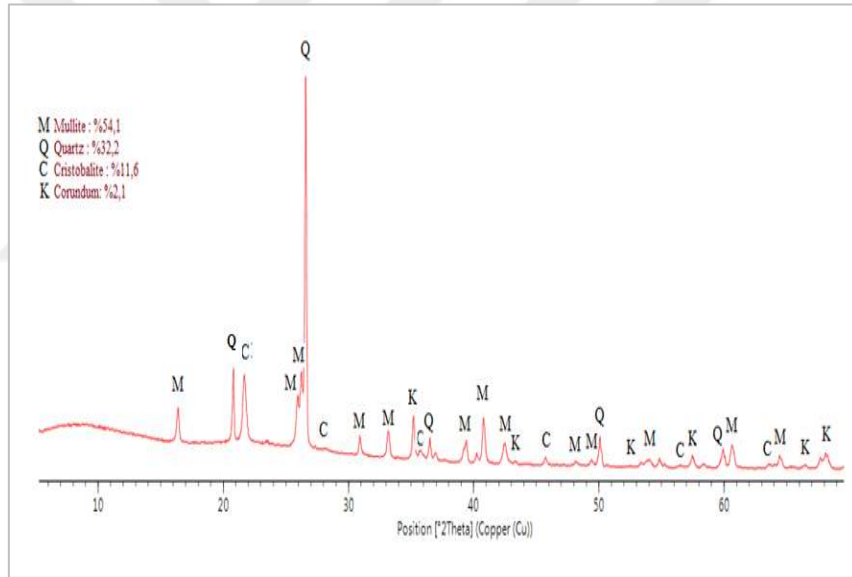
Malzemede ki faz miktarlarını, fazların dağılımını belirlemede kullanılır. Çalışma prensibi olarak Bragg kanununu baz alır. Bragg kanunu, numune üzerine gelen x ışınları ile yansıyan x ışınları arasındaki açının dalga boyu ile olan ilişkisini göstermektedir. XRD ile yapılabilecek analizler;

- Toz, katı ve ince film şeklindeki örneklerde fazlar
- Fazların miktarı
- Kristal boyutu
- Latis parametreleri
- Yapıdaki değişimler
- Kristal yönlenmesi
- Atom pozisyonları hakkında bilgi verir.

Şekil 3.23’ de XRD cihazının fotoğraf görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.24’ te örnek XRD analizinin fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.23 XRD Cihazı.



Şekil 3.24 Örnek XRD Analizi.

3.7.3 ICP

ICP yönteminde XRF’ e göre farklı olarak elemental ve kimyasal kompozisyon % atomsal olarak belirlenir. Katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde ölçülmesine olanak sağlayan bir analiz tekniğidir.

3.7.4 Termogravimetrik Analiz

Numunenin kütlesindeki değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydeden bir yöntemdir. Deney numunesi sabit ısıtma hızında ısıtılır ve kütle değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak

ölçölüp kaydedilir. Genel olarak, deney numunesinin kütesinin değışmesine neden olan reaksiyonlar; bozunma veya yükseltgenme reaksiyonları veya bir bileşenin buharlaşmasıdır.

3.7.5 Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Bu yöntemde numune ve termal olarak inert ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) olan referans maddeye aynı sıcaklık uygulanır. İkisi arasındaki fark sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçölür. TG' deki gibi sadece kütle kaybına bağılı olmadığı için daha geniş bir kullanım alanı vardır.

Endotermik reaksiyonlar;

- Dehidratasyon
- Dekompozisyon
- Ergime
- Buharlaşma
- Süblimasyon

Ekzotermik reaksiyonlar;

- Amorflaşma
- Katılaşma
- Amorf halden kristalleşme

3.7.6 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Bu yöntemde numune ve referans maddeye aynı sıcaklık uygulanır. Referans maddede meydana gelecek bir değışiklik anında numuneye ve referansa elektrik devre yardımıyla dışarıdan ısı eklenir. Sonuçta elde edilen termogram eklenen ısıнын sıcaklığa karşı çizilen grafiğıdir.

Diferansiyel taramalı kalorimetri ile diferansiyel termal analiz arasındaki temel fark, birisinin enerji farklarının ölçölüdüğü kalorimetrik bir yöntem olması, diğlerinin ise sıcaklık farkı ölçümüne dayanmasıdır.

3.7.7 Dilatometre

Numunenin sıcaklığın ya da zamanın bir fonksiyonu olarak boyut ölçölülerindeki değışimi ölçer. Numuneler düz ve kesit alanları daire ya da kare olmalıdır. Numunenin maksimum çapı

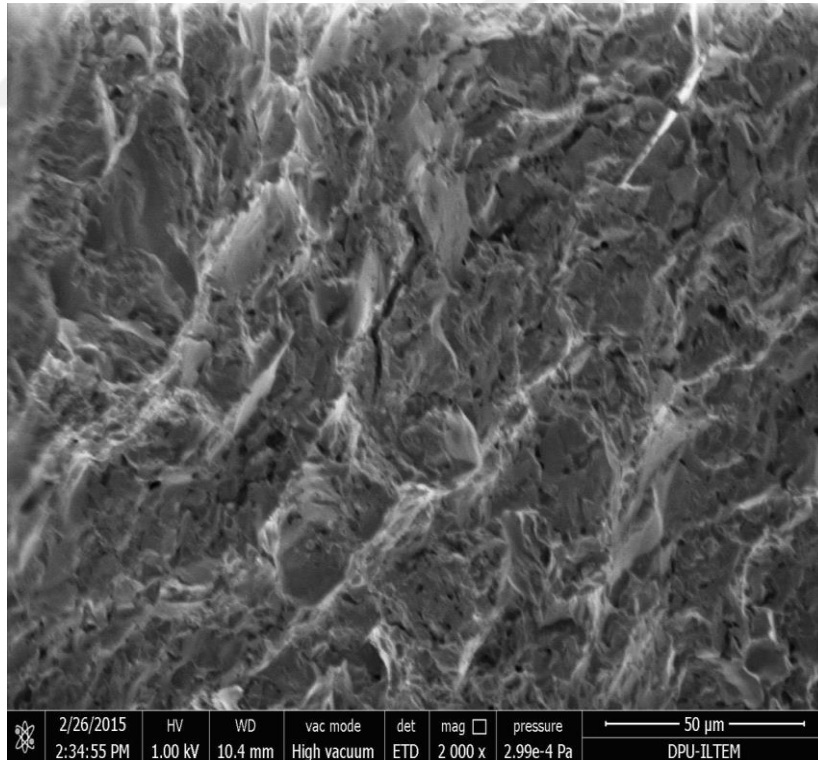
9 mm'den büyük olmamalıdır. Numunenin yüksekliği 10 mm' den büyük olmamalıdır. Numune kalınlığı 2 mm ile 12 mm arasında olmalıdır. Dilatometre ile malzemelerdeki boyutsal değişimler ölçülüp doğrusal termal genleşme katsayısı, cam geçiş sıcaklığı, genleşme, büzülme, malzemelerin yumuşama davranışları hakkında bilgi sahibi olunur. Temel amaç; malzemenin genleşme katsayısını hesaplamak için yapılan bir analizdir.

3.7.8 Optik Mikroskop

İnceleme sınırlıdır. Görünür ışığı geçirmeyen yani opak malzemeler için (metaller, seramik ve polimerlerin çoğu) sadece yüzey incelemesi mümkündür. Optik mikroskopta en fazla 2000 büyütme elde edilir.

3.7.9 Sem

İncelenecek numune yüzeyi elektron demeti ile taranır. İncelenecek yüzeyin elektriği iletmesi gerekir. Elektriği geçirmeyen yüzey ince metalik kaplama ile kaplanır. 50000'den fazla büyütme elde etmek mümkündür. Şekil 3.25' de örnek SEM fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.25 Örnek SEM Görüntüsü.

3.7.10 Tem

Görüntü numune içinden geçen elektron ışınları tarafından oluşturulur. Bu yöntem ile numunenin iç kısımlarında bulunan mikroyapı ayrıntılarının gözlenmesi mümkündür. 1000000' a yakın büyütme oranlarının elde edilmesi mümkündür.

3.7.11 Viskozite Tayini

Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği dirence viskozite denir. Süper akışkanlar hariç tüm akışkanlar yüzey gerilimine karşı direnç gösterirler. Yüzey gerilimine karşı hiçbir direnme göstermeyen sıvılara ideal akışkan denmektedir. Viskozite ölçüm cihazları ile viskozite değeri belirlenir.

3.7.12 Tiksotropi Tayini

Çamurun zamana bağlı olarak reolojik özellikleri göz önüne alındığında tiksotropi değeri önemlidir.

Uygulanan bir kuvvet altında viskozitenin zamanla düzenli bir şekilde azalma gösterdiği ve kuvvetin kaldırılması durumunda yapının tekrar eski haline geldiği akış türüne denir. Dış macununu örnek olarak verebiliriz. Sağlık gereçleri üretiminde, şekillendirilecek çamurun tiksotropik özelliği döküm şartları değerlendirilerek belirli bir aralıkta olması gerekir. Tiksotropi değer aralığının üstünde kaldığı durumlarda çamurların döküm davranışları incelendiğinde, döküme giren kalıbın boşaltım problemleri, şekillenen ürünün iç yüzeyinde çamurun jelleşmesi, kalıptan çıkarılmadan ya da çıkarıldıktan sonra farklı nem dağılımları ve gerilimleri sebebiyle kuruma çatlakları en sık karşılaşılan problemlerdir. Tiksotropi değer aralığının altında kaldığı durumlar da ise şekillendirilen çamurun kalınlık değerlerinde azalma (alçı kalıp için), en sık rastlanan problemlerin başında gelmektedir.

3.7.13 Litre Ağırlığı Tayini

Litre ağırlığı tayini katılar için Eşitlik 3.1' de verilmiştir.

$$X = \left(\frac{L.A - 1000}{Y - 1} \right) * Y \text{ (Uluslararası Standart)} \quad (3.1)$$

X= Kuru ağırlık; L.A= Litre ağırlığı; Y= Kuru malzeme yoğunluğu

Sıvılar için yoğunluk ölçümünde piknometre kullanılır. Piknometre metal veya cam olabilir. Endüstriyel uygulamalarda piknometre 100 cc' lik olur. Şekil 3.26' da 100 cc' lik piknometre fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.26 100 cc Piknometre.

3.7.14 Su Emme Testi

100 °C sıcaklığındaki kaynayan suyun içerisine numuneler bırakılır. Cihazın kapağı kapatılır. Ardından kaynayan su içerisinde 2 saat süreyle numuneler bekletilir. 2 saatin sonunda kaynatma işlemi sonlandırılır ve cihaz kapatılır. Numuneler 22 saat haznenin içerisinden çıkarılmadan bekletilir. 24 saatlik işlemin ardından numunelerin tartım işlemi tamamlanır. Su emme değeri hesaplaması Eşitlik 3.2' de verilmiştir.

$$Su\ emme\ \% = \left(\frac{Wd - Wk}{Wk} \right) * 100 \quad (3.2)$$

Wk= Kuru malzemenin havadaki ağırlığı (g); Wd= Su ya da sıvı emdirilmiş malzemenin havadaki ağırlığı (g)

3.7.15 Elek Analizi

Tane boyut ölçüm yöntemlerinin başında gelen elek analizi ile farklı büyüklükteki tanelerden oluşan kırılmış veya öğütülmüş malzemenin tane boyut dağılımını saptanır. Boyut dağılımı, bir numunede tanelerin boyutları ile miktarları arasındaki ilişkidir. Bir numunenin boyut dağılımı, bu numunede hangi boyutta ne kadar miktar malzeme bulunduğunu gösterir. Eleme işleminde kullanılan elekler büyüklüklerine göre sınıflandırılırken mesh numarası kavramı

kullanılır. Mesh numarası bir elekte birim alan (inç² veya mm²) başına düşen delik sayısını göstermektedir. Manuel ve otomatik hesaplamalar ile tane boyut ölçümü yapılır.

3.7.16 Lazer Difraktometresi

Otomatik parça boyut analiz cihazları, parçacıkları bir akışkan içerisinde dağıtır ve dağılmış olan bu parçacıklar bir dedektör içerisinden geçirilir. Dedektör, parçacık boyutuyla orantılı olan ışık saçılımındaki değişimleri ölçer ve buna bağlı olarak da tane boyut ölçümü belirlenir.

3.7.17 Sedimentasyon ile Ölçüm

Bir akışkan içinde çöken fazlar, boyutlarına ve akışkan viskozitesine bağlı olarak son hıza ulaşır.

Parçacık boyutu çökme hızından hesaplanır. Formül Eşitlik 3.3' de verilmiştir.

$$D = \left(\frac{18 * H * \sim}{g \cdot t \cdot (gm - gf)} \right) \quad (3.3)$$

D= Tane çapı; $\sim$ = Akışkan viskozitesi; H= Yükseklik; t= Zaman; gm= Parçacık yoğunluğu; gf= Akışkan yoğunluğu

3.7.18 Elektriksel Alan Algılanması ile Ölçüm

Parçacıkların tuzlu suda dağıtılmasıyla başlar. Tuzlu suyun elektrik iletkenliği bir cam yalıtkan içerisindeki küçük bir aralıktan pompalanırken ölçülür. En iyi sonuçlar genellikle seramikler ve polimerler gibi düşük yoğunluklu malzemelerde elde edilir.

3.7.19 Işık Engelleme ile Ölçüm

Bir ışık demeti sıvı demeti içerisinde dağıtılmış parçacık akışı ile kesilir. Parçacık şekli küresel kabul edilerek engellenen ışık miktarı eş değer daire kesit alanına eşitlenir.

3.7.20 Bet Yöntemi ile Ölçüm

BET cihazı; yüzey alanı ölçümleri, mikro, mezo, makro gözenek boyutunu düşük basınçlarda ve yüksek çözünürlükte tespit edebilmektedir. Yüzeyi tek bir moleküler tabaka ile kaplamak

için gerekli gaz miktarını tayin etmekte ve Brunauer Emmet ve Teller teorisini kullanarak yüzey alanını hesaplamaktadır.

3.7.21 Renk Ölçümü Spektrometresi

Polimer, seramik, metal, kompozit gibi genelde tüm malzemelere uygulanır. Referans numune ölçümü ardından referansa göre ölçüm yapılır. Düz, temiz ve pürüzsüz yüzeye sahip olması gerekir. 4 ana grupta ölçümleri inceleriz. Bunlar; ΔE , ΔL , Δa , Δb şeklindedir.

ΔE = Toplam renk farkını;

ΔL = Parlaklık farkını;

Δa = (+) kısmi kırmızı açılımı, (-) kısmi yeşil açılımı;

Δb = (+) kısmi sarı açılımı, (-) kısmi mavi açılımını ifade eder.

3.7.22 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

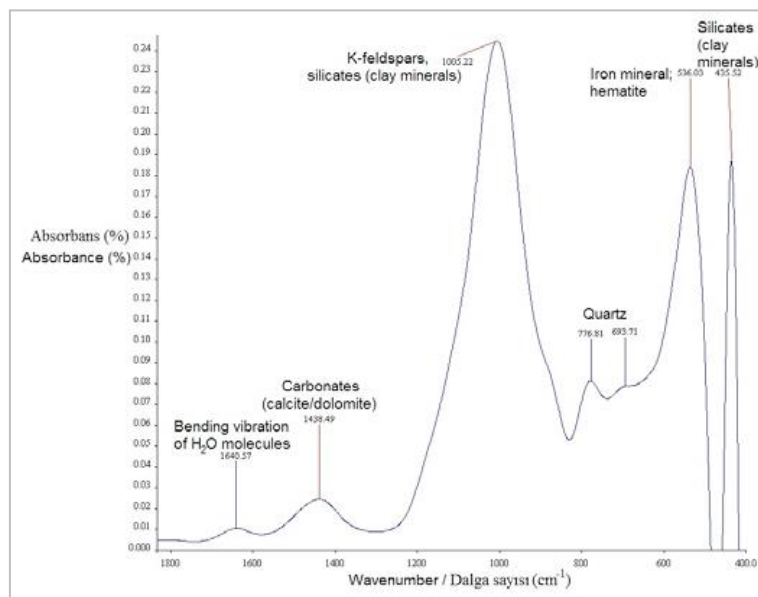
Seramik arkeometrisinde sıklıkla kullanılan FTIR analizinin çalışma prensibi kızıl ötesi radyasyonun absorbe edilerek incelenen malzemenin kimyasal bağlarındaki titreşimlerin (gerilme, bükülme veya büzülme) belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Analiz süresince belirlenen veriler dijital olarak bilgisayar ortamında spektrumların (geçirim veya absorbsiyon) oluşmasını sağlamakta ve elde edilen bant değerleri (cm^{-1}) seramik içerisindeki minerallerin ne olabileceği hakkında ipuçları vermektedir. Buradaki en önemli nokta her mineralin kendine has kimyasal içeriğe sahip olmasıdır, zira bu farklılıklar analiz esnasında her grup için kendine özgü bir spektrum vermektedir (Kılıç ve Karahan 2010). Analiz tekniğinin bu avantajından faydalanılarak FTIR metodu birçok alanda farklı amaçlar için tercih edilmektedir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisinin karakterizasyon amacıyla kullanıldığı başlıca malzeme türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Shearer 1989).

- Katı yağlar
- Cam
- Toprak (Kil)
- Arkeolojik buluntular
- Tekstil ürünleri
- Elyaf

- Sıvı yağlar
- Plastik malzemeler
- Odun külü
- Renklendiriciler
- Reçineli malzemeler
- Seramik
- Protein
- Balmumu
- Boya
- Kemik-Diş minesi
- Bitümlü malzemeler
- Tıbbi malzemeler

Seramik buluntuların arkeometrik incelemelerindeki önemli adımlardan biri mevcut mineraller ve yeni oluşan fazların tespit edilmesidir. Bu amaçla uygulanan en etkili yöntem X-ışını kırınımı (XRD) analizidir.

Bu yöntemle minerallerin bozunumu ve yüksek sıcaklıklarda yeni fazların oluşumu dikkate alınarak seramiğin pişirim sıcaklık aralığı tahmin edilebilmektedir. XRD analizinde elde edilen sonuçları teyit edici nitelikte olan FTIR tekniği ile de seramik içerisinde yer alan mineraller saptanabilmektedir (Barone vd. 2011). Şekil 3.27’ de örnek FTIR spektrumu fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.27 Örnek FTIR spektrumu (Shoval 2003).

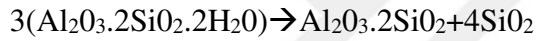
3.7.23 Malzeme Analiz Teknikleri Görüntü Kalitesini Etkileyen Parametreler

Görüntü kalitesini etkileyen parametreler olarak; dedektörün toplama gücü, Numunenin yüzey kalitesi ve kaplama koşulları, kullanılacak işleme göre seçilecek elektron demeti, uygun vakum işlemlerinin tamamlanması, uygun voltaj seçimi, büyütme gibi parametreler verilebilir.

3.8 ŞAMOT

Şamot, kaolinin/kilin döner fırında yüksek sıcaklıkta (1350-1400°C) pişirilmesi sonucu elde edilen bir endüstriyel hammaddedir. Pişirim sırasında kaolin/kil içerisindeki karbon ve kükürt içerikli bileşenler yanarak uzaklaşır. Ayrıca pişirim sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda kaolinin/kilin yapısındaki kaolinit fazı müllit, kuvars, kristobalit ve cam fazlarına dönüşür.

Kaolinit→Müllit+Kuvars



Elde edilen şamot farklı tane boyutlarına getirilerek (300-125µm) Seramik Sağlık Gereçleri özel çamur uygulamalarında kullanılabilir. Şamot aynı zamanda Refrakter sektörünün de vazgeçilmez hammaddesidir (URL-1).

1993 yılında Schneider'in seramik müllitler üzerine yaptığı yayında; müllitin, düşük ısı genleşme, yüksek ergime noktası, iyi sürünme dayanımı düşük ısı iletkenlik ve kimyasal kararlılık gibi özellikleri ile son yıllarda yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilen malzemeler arasına girdiğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada müllitin; kaolen tipi minerallerin ısıtılması ile oluşabildiği gibi, alümina-silika karışımlarının reaksiyonu sonucunda da elde edilebileceği belirtilmiştir. Al_2O_3 - SiO_2 sistemi seramikte en önemli ikili sistemlerden birisi olup, bu sistemde termodinamik olarak kararlı oluşan tek ara bileşiğin müllit olduğu ifade edilmiştir. Bu veriler ışığında, seramik sağlık gereçleri sektöründe kullanılan şamot malzemesinin yerine alternatif malzemelerin araştırılması noktasında kullanılacak alternatif malzemelerin içerisinde müllit fazının artırılması gerektiği veya müllit fazının benzer özelliklerini taşıyan yeni fazların oluşturulması gerektiği belirlenmiştir (Schneider vd. 1993).

2007 yılında Kong ve arkadaşlarının alümina silika karışımından yüksek enerjili öğütme sistemlerini kullanarak 1200°C gibi düşük sıcaklıklarda kararlı müllit fazı elde ettikleri çalışma incelendiğinde, öğütme etkisi ve safsızlıkların etkisi ile 1200 °C gibi düşük sıcaklıklarda kararlı müllit fazının elde edilebileceği bildirilmiştir (Kong vd. 2007).

Üretimde kullanılan şamot hammaddesinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Üretimde kullanılan şamot hammaddesinin kimyasal bileşimi.

SiO₂	58,00 ± 2,00
Al₂O₃	37,00 ± 1,00
Fe₂O₃	1,40 ± 0,20
TiO₂	0,35 ± 0,05
CaO	0,20 ± 0,05
MgO	0,30 ± 0,05
Na₂O	0,15 ± 0,05
K₂O	1,20 ± 0,20
A.Z.	0,40 ± 0,10

Şamot 15-20 yıl öncesine kadar ağırlıklı olarak refrakter sanayinde kullanılırken, son yıllarda seramik sanayinde de kullanımı oldukça popüler hale gelmiştir.

Bunun nedeni, büyük ebatlı seramik mamullerin (tezgâh büyüklüğündeki lavabolar, duş tekneleri, vs.) pişirim sırasında deforme olmadan üretilebilmesine imkân sağlamasıdır. Şamot, daha önceden 1350-1400°Cde pişmiş olduğundan seramik uygulamalarındaki sıcaklıklarda erimeden kalarak iskelet görevini yapar ve diğer çamur bileşenlerini (kaolin, kil, feldspat) askıda tutar. Ayrıca ısı genleşme katsayısı düşük olduğundan, sıcaklık değişimlerinin neden olduğu ısıl şoklara dayanım sağlar.

Çamurlarda kullanılan şamotun tane büyüklüğü ve katkı oranı, çamur türüne ve yapılan parçanın büyüklüğüne göre değişir. Sağlık gereçleri ve ateş tuğlası çamurlarında da şamot değişen oranlarda kullanılır. Seramik şamotunda önemli nokta, kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerdeki kararlılıktır. Şamotun üretilmesi için pişirilen kaolin/kil, kimyasal ve jeolojik açıdan ne kadar temiz ise elde edilen şamot da o kadar temiz ve kaliteli olur (URL-2).



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Seramik Sağlık Gereçleri için yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Seramik Sağlık Gereçleri kompozisyonları Bülent Ecevit Üniversitesinde Laboratuvar koşullarında üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda Bülent Ecevit Üniversitesi Malzeme Laboratuvar ekipmanları kullanılmıştır. Çalışmanın amacı olan ithal şamot malzemesi yerine alternatif olarak yerli kil ve kaolenler kullanılarak yerli şamot malzemesinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak piyasaya bakıldığında FFC ürün üretiminde ortalama % 30 oranında şamot malzemesi kullanılmaktadır. Şamot haricinde tüm hammaddelerin alternatiflerinin piyasada bulunduğu görülmektedir. Özellikle kaolen zenginleştirme ve öğütme işlemlerinin yüksek yatırım maliyetleri sebebiyle, şamot malzemesi genel olarak Türkiye'deki tüm firmalar tarafından ithal edilmektedir. Deneysel çalışmalara başlamadan önce SSG sektöründe kullanılan ithal şamot malzemesinin XRD analizi ile fazlarının detaylı olarak ortaya konulmasının faydalı olacağı düşünülmüştür. Fazlar incelendikten sonra deneysel çalışmalar kapsamında kullandığımız dört farklı kile yerli şamotun elde edilebilmesi için feldspat ve alümina katkıları yapılmıştır. Oluşturulan tüm kompozisyonlar öğütme yapılmadan, bilyeli değirmende 15 dk öğütme ve 30 dk öğütme yapılarak tane boyut kontrolü ile sinterleme prosesine tabi tutulmuştur. 3°C/dk ile 1250 °C sıcaklığa çıkılıp, bu tepe sıcaklığında 60 dakika bekleme yapılarak aynı rejim ile fırın soğumaya bırakılmıştır. Referans hammadde ile oluşturduğumuz alternatif kompozisyonlar kimyasal analiz ve iç yapı olarak karşılaştırılmış olup; referans reçete dahil olmak üzere üç farklı reçete hazırlanarak pişme küçülmesi, su emme, deformasyon, mukavemet, mikroyapı ve dilatometre analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.1 KULLANILAN HAMMADDELERİN KİMYASAL ANALİZLERİ

Tüm hammaddelere ilişkin kimyasal analizler Epsilon 5 XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Hammadde kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri.

Hammaddeler	AZ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Albit	0.4	71	17.5	0.1	0.22	0.85	0.1	9.5	0.2
Kuvars	0.37	93.6	3.56	0.19	0.03	0.08	0.03	0.48	1.66
Kil 4	9	64.5	23	0.7	0.5	0.3	0.1	0.3	0.05
Kil 3	8	61.5	24.5	2.4	1.2	0.2	0.6	0.12	2.3
Kil 2	9.5	53	30.5	1.85	1.15	0.45	0.55	0.1	2.25
Kil 1	10.5	55.5	28.5	1.6	1.2	0.2	0.5	0.2	1.5
Kaolen 1	12.45	49.59	35.47	0.72	0.48	0.14	0.2	0.15	0.8
Kaolen 2	11.6	47.8	36.5	0.88	0.06	0.04	0.33	3.4	2.5
Şamot	0.25	58.0	38.5	1.35	0.3	0.28	0.3	0.18	1.2

4.2 SİNERLEME ÖNCESİ KULLANILAN HAMMADDELER

Sinterleme öncesi kullanılan hammaddelerin kompozisyonu Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sinterleme öncesinde kullanılan alternatif şamot hammaddelerin kompozisyonları (g).

Alternatif Şamot Hammaddeleri	Alternatif Şamot 1	Alternatif Şamot2	Alternatif Şamot3	Alternatif Şamot4	Albit	Al ₂ O ₃
1	93				2	5
2		93			2	5
3			93		2	5
4				93	2	5

4.3 REÇETELERİN HAZIRLANMASI

Referans reçete ve deneme reçeteleri 1780 g/lt yoğunluğa göre hazırlanmıştır. Çamur karıştırma işlemi esnasında killerin tamamen açılmasını sağlamak amacıyla sodyum silikat deflokülan olarak ilave edilmiştir. Daha sonra ayrıca tartılmış olan albit, kuvars, kaolen karışımı içerisinde çamur haline gelmiş olan kil grubu, su, deflokülan karışımı bulunan kovaya eklenir. Karışım yine içerisinde topak kalmayınca kadar karıştırıldıktan sonra kalıplara dökülür. Çamurun katılaşması için 1 saat beklenir ve numuneler kalıplarda çıkarılır. Bu çalışmada kullanılan tüm hammaddeler Alvit Bartın Seramik A.Ş.’den temin edilmiştir. R1, R2, R3 nolu reçetelere elek analizi yapılmıştır. Elek analizi için deney elekleri, yukarıdan aşağı doğru göz açıklıkları 150 µm ve 75 µm şeklinde küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Tüm reçeteler 150-75µm tane boyutlarında kullanılmıştır. Çamur hazırlama işlemleri Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Hazırlama aşamasında karıştırıcı (Şekil 4.1), hassas terazi (Şekil 4.2), öğütme cihazı ve elek takımı (Şekil 4.3), hammaddelerin kurutulması için etüv (Şekil 4.4), pişirme için fırın (Şekil 4.5) kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Dragon Lab OS40-Pro Marka Karıştırıcı.



Şekil 4.2 NS-3200g Marka Terazî.



Şekil 4.3 Öğütme Cihazı ve Elek Takımı.



Şekil 4.4 Nükleon Marka etüv.



Şekil 4.5 Protherm Marka Fırın.

4.4 FİZİKSEL ÖZELLİK TESTLERİ

Hazırlanan numunelerin su emme değerleri, mukavemet değerleri ve pişmiş küçülme davranışları incelenmiştir. Döküm işleminden sonra 1 saat kalınlık alan numunelerin kumpas yardımı ölçümleri yapılmış olup daha sonra numunelere pişirme işlemi yapılmış olup tekrar ölçümleri yapılarak pişme küçülme değerleri hesaplanmıştır. % pişme küçülme değerleri Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{\text{İlk boyut} - \text{Son boyut}}{\text{İlk boyut}} * 100 \quad (4.1)$$

Ölçümü yapılacak parçalar tartılmış, su emme kazanına konularak yüzeyinde 2 cm' den fazla olacak şekilde su doldurularak 2 saat süreyle kaynatılmıştır. Kaynama süresinin bitiminden sonra 20 saat kazan içerisinde soğumaya bırakılmıştır.

Sonra çıkartılan parçaların yüzeyi temiz ve nemli bir bez yardımı ile kurularak tekrar ölçüme tabi tutulmuştur. % su emme değerleri Eşitlik 4.2 ile hesaplanmıştır.

$$\% Su emme miktarı = \frac{W2 - W1}{W1} * 100 \quad (4.2)$$

W2= Suda bekletme sonrası nemli parçanın ağırlığı; W1= Pişirim sonrası kuru parçanın ağırlığı

Döküm sonrasında mukavemet değerleri hesaplanmıştır. Bu test Kale Seramik Arge Merkezinde yapılmıştır. Mukavemet değerleri Eşitlik 4.3 ile hesaplanmıştır.

$$Mukavemet = \frac{3 * P * L}{2 * b * h^2 * 9.81} kg/cm^2 \quad (4.3)$$

P= Ortalama kırma kuvveti; L= Destekler arası mesafe; b= Numunenin genişliği

h= Numunenin kalınlığı; 9.81= Yer çekimi ivmesi

Ürünlerin fırında yüksek sıcaklıklarda göstereceği deformasyonu ölçmek için 1*4*26 cm³ ebatlarında alçıdan deformasyon çubuğu kalıplarına çamur dökülmüştür. 2 saat beklenerek çubuklar kalınlık aldıktan sonra kalıptan çıkarılarak etüve konulup 100°C’ de 1 gün kurutulmuştur. Çubuklar ölçülerek iki destek arasına sabit bir şekilde yerleştirilmiştir. Fırında ürünlerin pişirildiği rejimde pişirilerek iki destek arasında yaptığı salınım mm olarak ölçülmüştür. Deformasyon testi numunelerinin fotoğraf görüntüsü Şekil 4.6’ da verilmiştir.



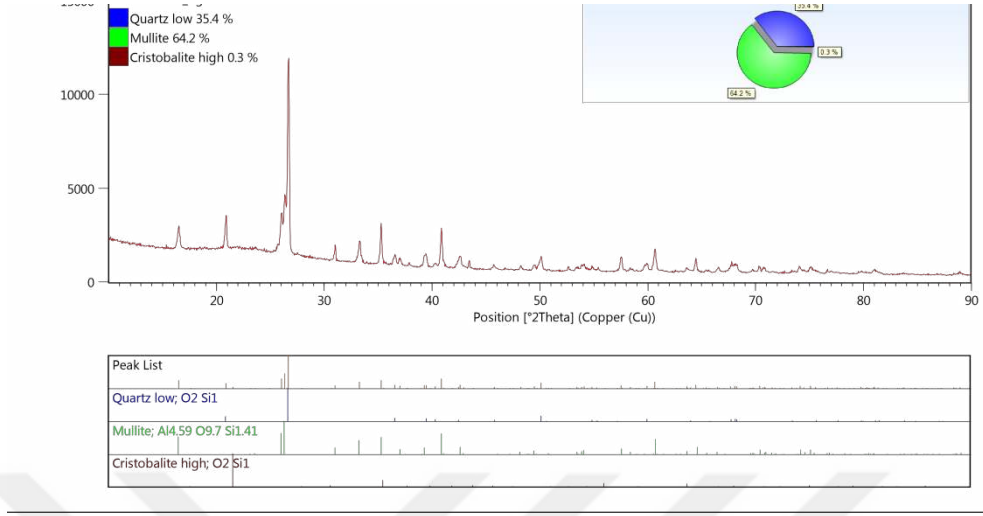
Şekil 4.6 Deformasyon Testi Numuneleri.

4.5 DENEYSEL SONUÇLAR

Hazırlanan beş farklı kompozisyona ayrı ayrı 0-90 derece, 2 derece/dakika ile taranarak XRD analizleri yapılmıştır. Farklı açı ve şiddetlerde açığa çıkan piklere karşılık gelen kristal kafesi ve düzlemler arası mesafe değeri söz konusu kristallere ait standart değerleri ile karşılaştırma yapıp mikro yapıda mevcut kristal fazların fotoğraf görüntüleri verilmiştir. Analizler incelendiğinde müllit, kuvars, kristobalit ve korundum fazları tespit edilmiştir. Şamot, kaolinin/kilin döner fırında yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen bir endüstriyel hammaddedir. Pişirim sırasında kaolin/kil içerisindeki karbon ve kükürt içerikli bileşenler yanarak uzaklaşır. Ayrıca pişirim sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda kaolinin/kilin yapısındaki kaolinit fazı müllit, kuvars, kristobalit ve cam fazlarına dönüşür. Fazlar incelendikten sonra deneysel çalışmalar kapsamında kullandığımız dört farklı kile yerli şamotun elde edilebilmesi için feldspat ve alümina katkıları yapılmıştır. Oluşturulan tüm kompozisyonlar öğütme yapılmadan, bilyeli değirmende 15 dk öğütme ve 30 dk öğütme yapılarak tane boyut kontrolü ile sinterleme prosesine tabi tutulmuştur. 3°C/dk ile 1250 °C sıcaklığa çıkılıp, bu tepe sıcaklığında 60 dakika bekleme yapılarak aynı rejim ile fırın soğumaya bırakılmıştır.

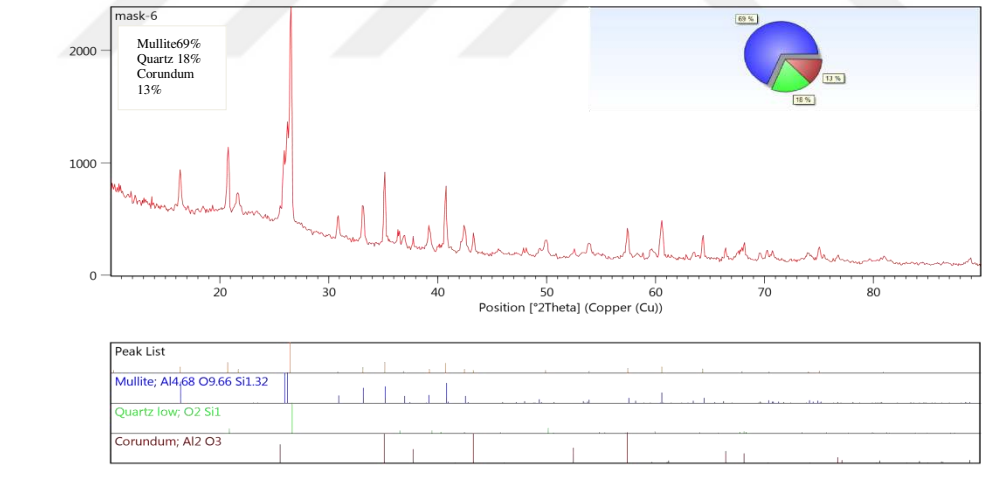
Normal koşullarda bu tip endüstriyel hammadde olan şamotun eldesi ve kararlı müllit fazının elde edilmesi, 1500 °C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Tane boyutu düşürülerek yani öğütme sürelerine bağlı olarak flakslayıcı hammadde ilavesi ile sinterleme sıcaklığı düşürülmüş olup şamot ve müllitin eldesi sağlanmıştır. Yine pik şiddetindeki artış ve azalış öğütme süresinin artış ve azalışı ile doğru orantılıdır. Gözlemlerimize bağlı olarak hazırladığımız yerli alternatif şamot kompozisyonları ile ithal şamot malzemesi karşılaştırıldığında elde ettiğimiz şamot malzemesine en uygun kompozisyonlar alternatif şamot1 ve alternatif şamot2 kompozisyonları olduğu belirlenmiştir. Sebebi müllit miktarı ve Referans hammadde ile oluşturduğumuz alternatif kompozisyonlar kimyasal analiz ve iç yapı olarak karşılaştırılmış olup; referans reçete dahil olmak üzere üç farklı reçete hazırlanarak pişme küçülmesi, su emme, deformasyon, mukavemet, mikroyapı ve dilatometre analizleri gerçekleştirilmiştir.

30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.7' de verilmiştir.



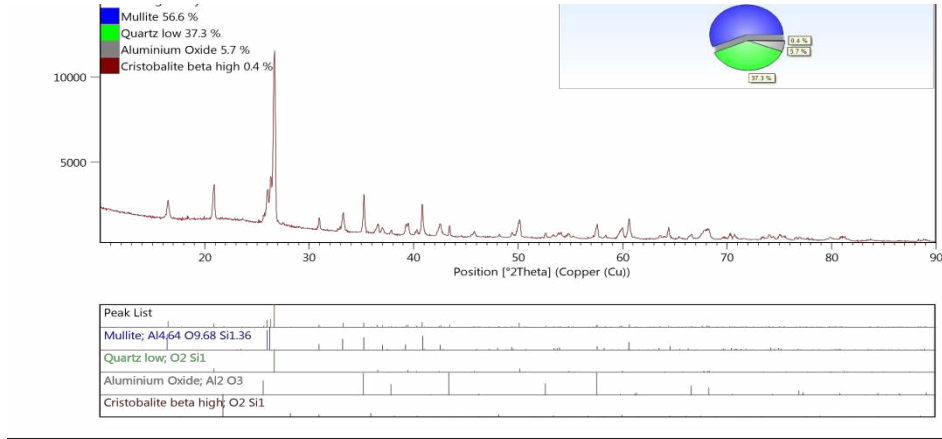
Şekil 4.7 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.8' de verilmiştir.



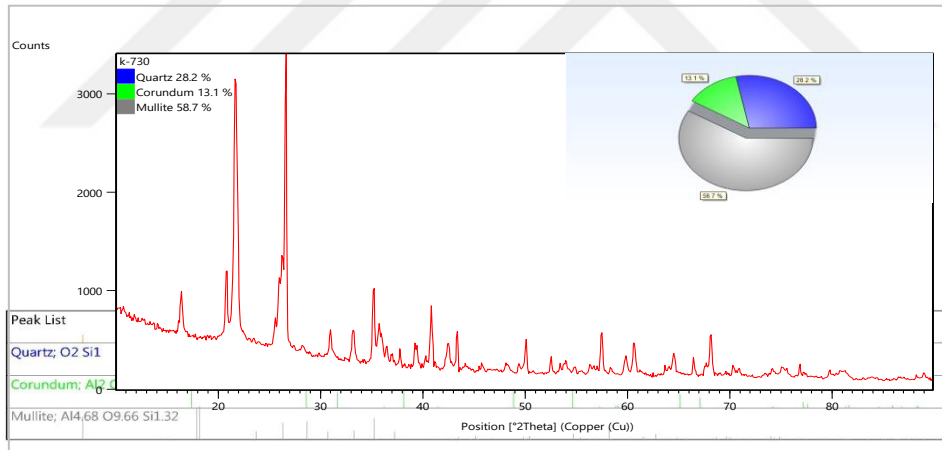
Şekil 4.8 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

30 dk öğütme yapılan alternatif şamot3 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.9’ da verilmiştir.



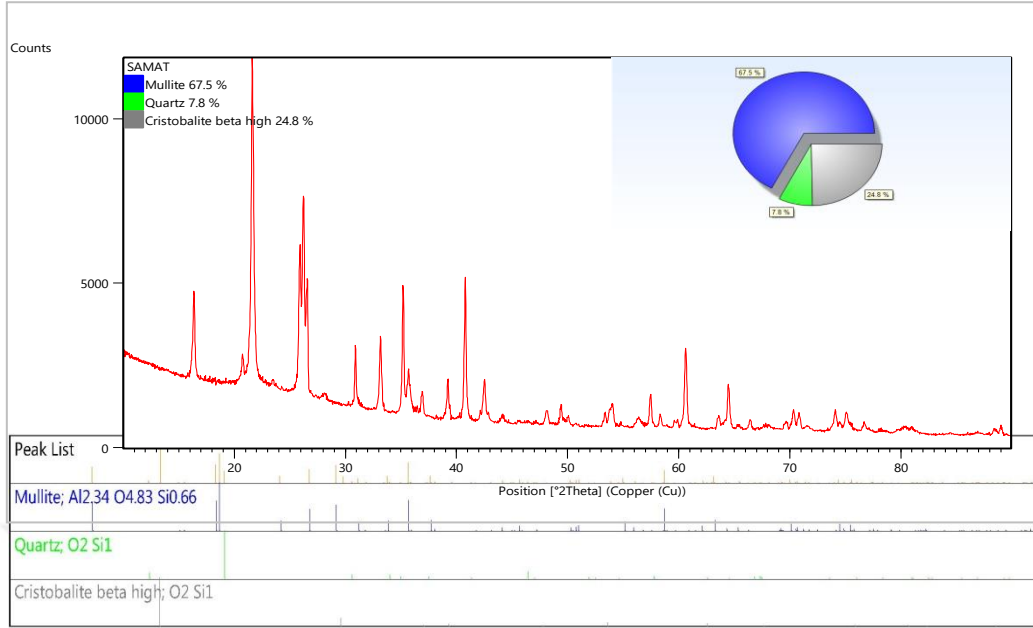
Şekil 4.9 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 3 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 4 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.10’ da verilmiştir.



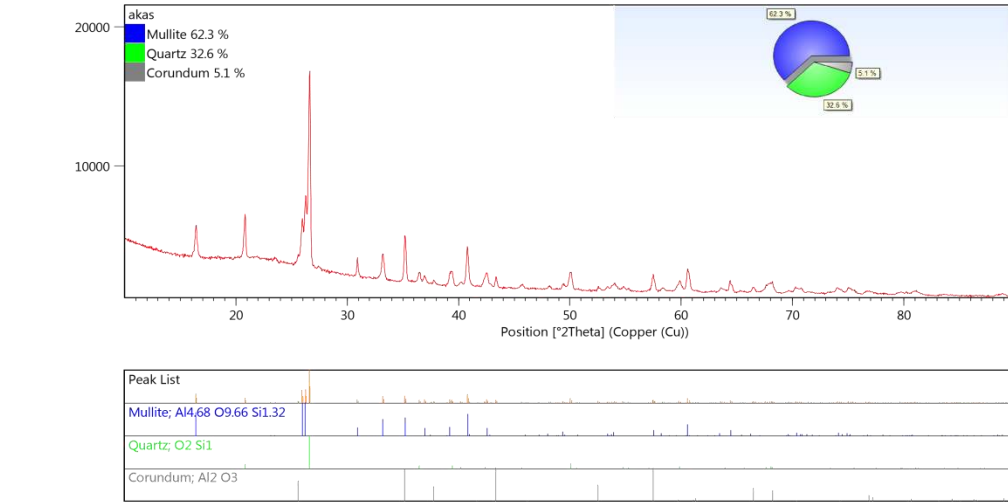
Şekil 4.10 30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 4 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

İthal şamot malzemesinin XRD paterni Şekil 4.11’ de verilmiştir.



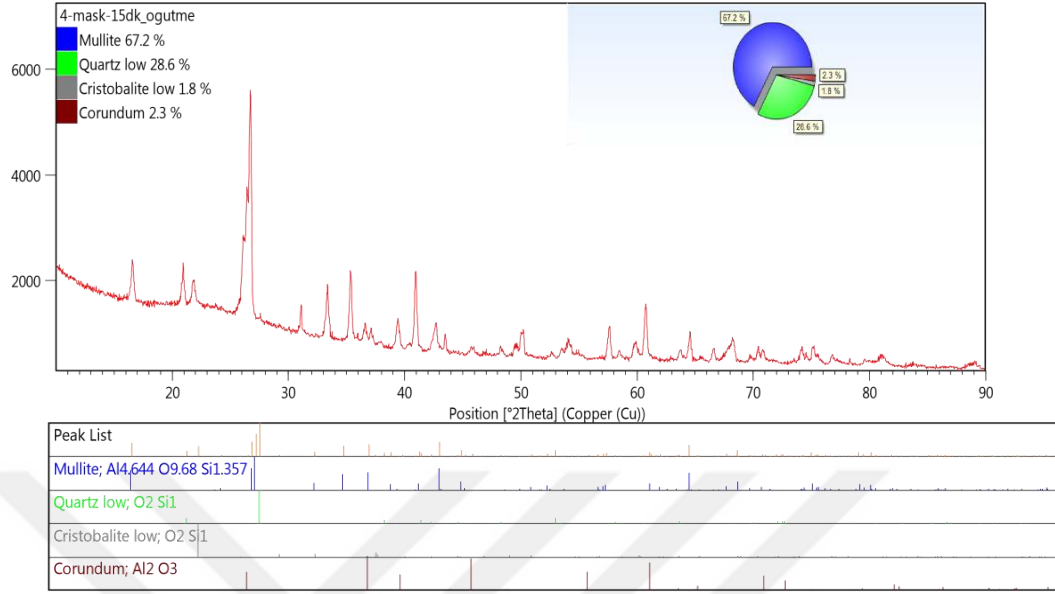
Şekil 4.11 İthal şamot malzemesinin Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.12’ de verilmiştir.



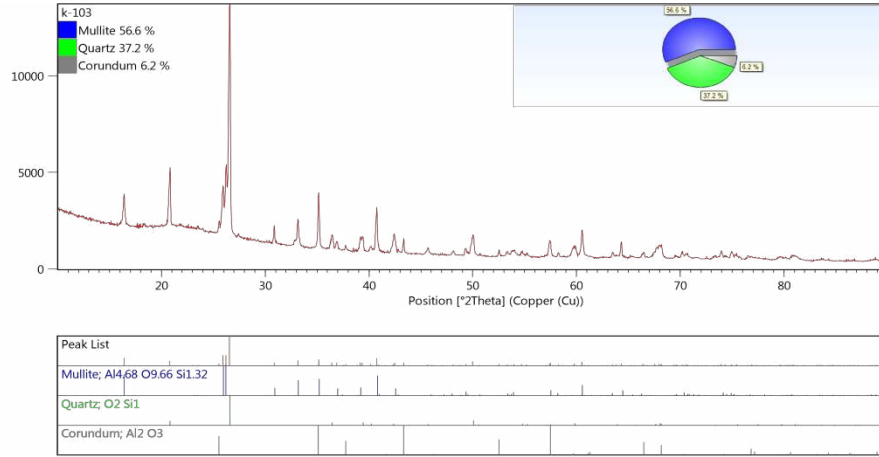
Şekil 4.12 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.13’ de verilmiştir.



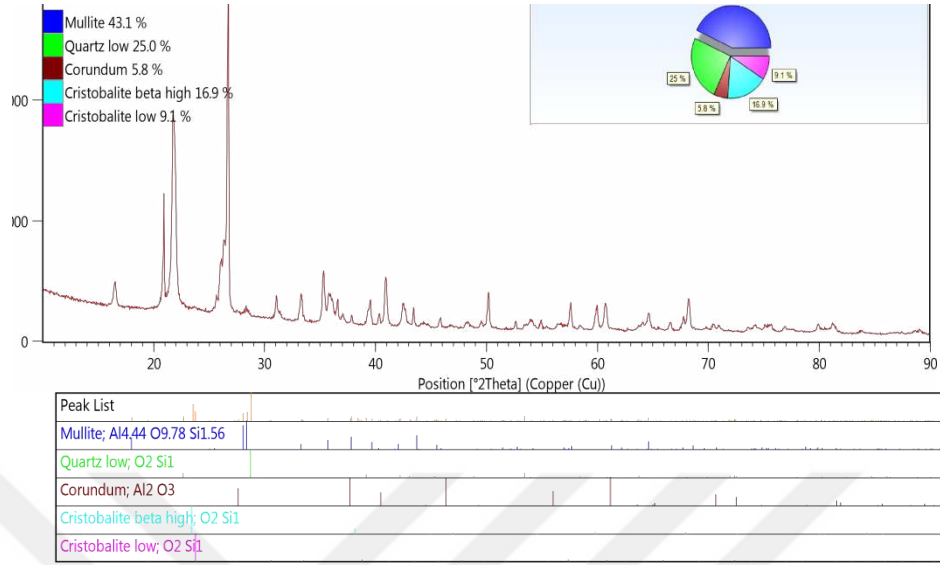
Şekil 4.13 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 3 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.14’ de verilmiştir.



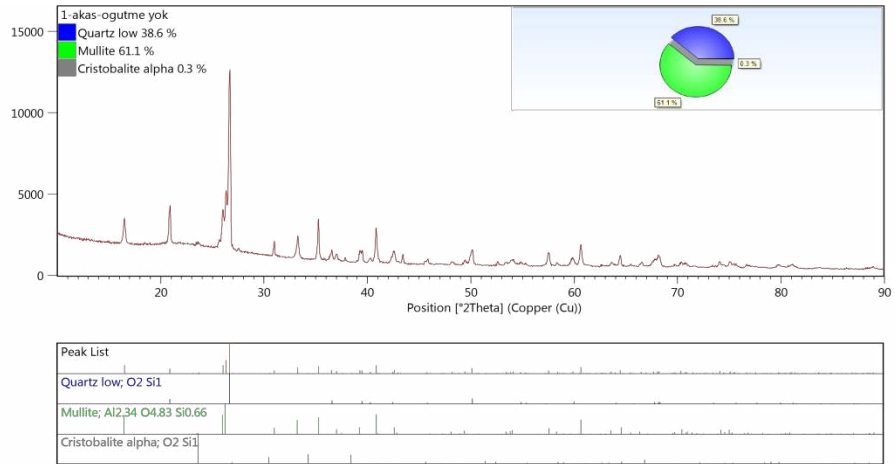
Şekil 4.14 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 3 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 4 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.15’ de verilmiştir.



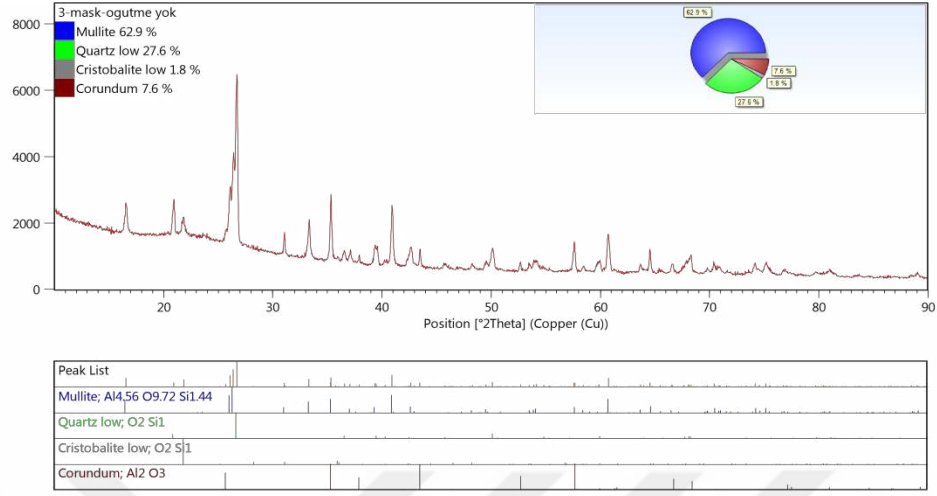
Şekil 4.15 15 dk öğütme yapılan alternatif şamot 4 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

Öğütme yapılmayan alternatif şamot 1 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.16’ da verilmiştir.



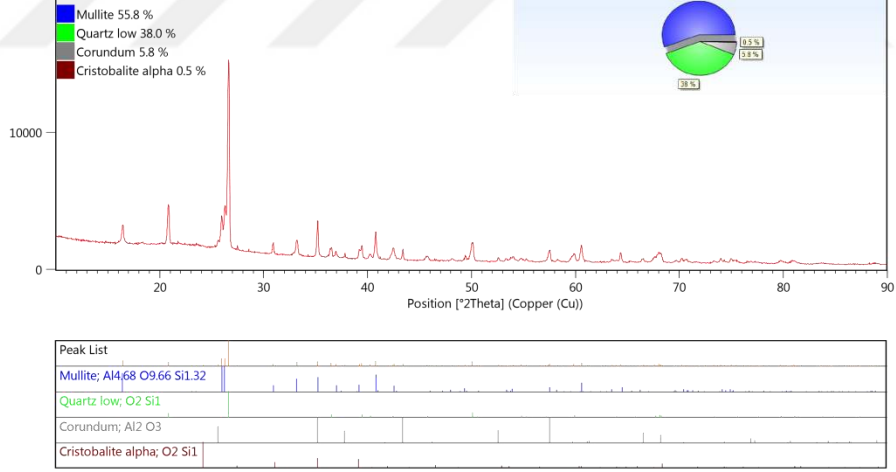
Şekil 4.16 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 1 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

Öğütme yapılmayan alternatif şamot 2 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.17’ de verilmiştir.



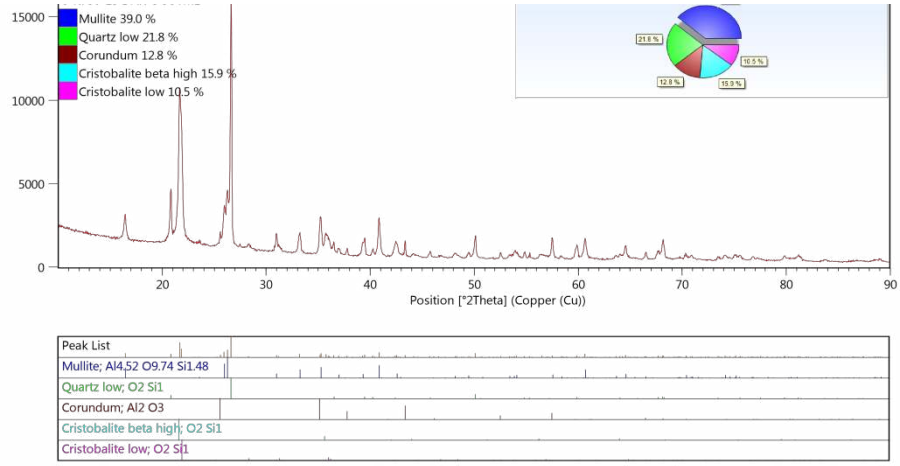
Şekil 4.17 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 2 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

Öğütme yapılmayan alternatif şamot 3 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.18’ de verilmiştir.



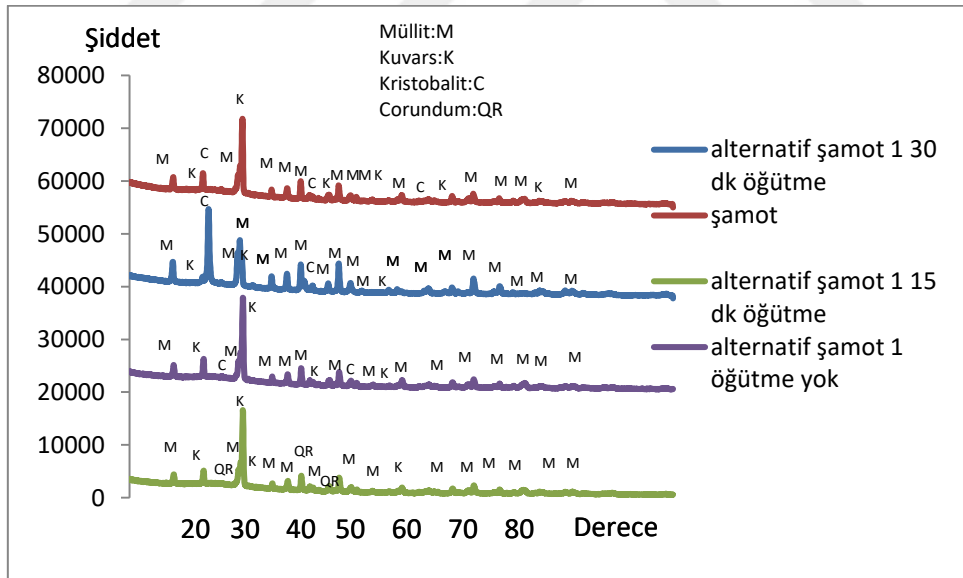
Şekil 4.18 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 3 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

Öğütme yapılmayan alternatif şamot 4 kompozisyonunun XRD paterni Şekil 4.19’ da verilmiştir.



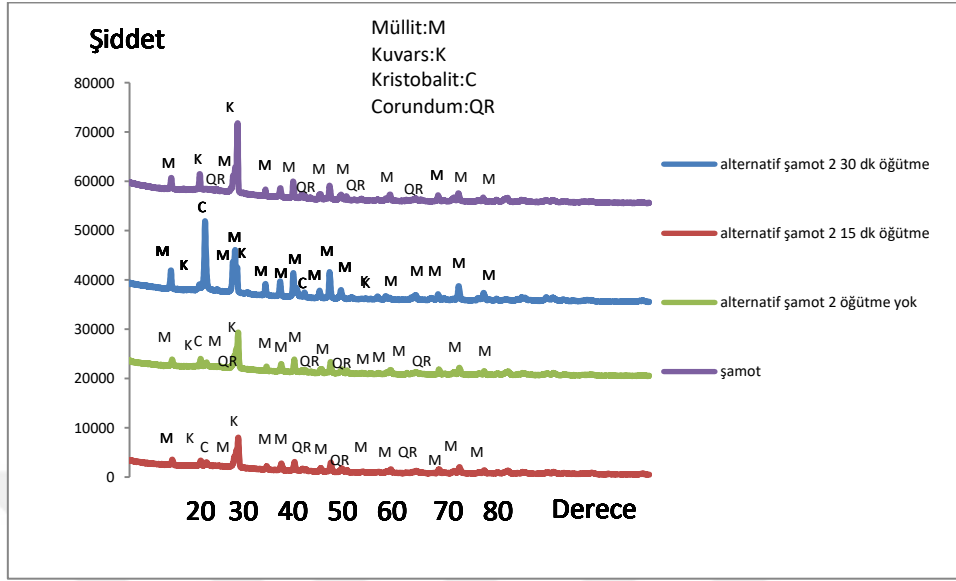
Şekil 4.19 Öğütme yapılmayan alternatif şamot 4 kompozisyonunun Rietveld yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen faz analizi.

Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 1 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD paterni Şekil 4.20’ de verilmiştir.



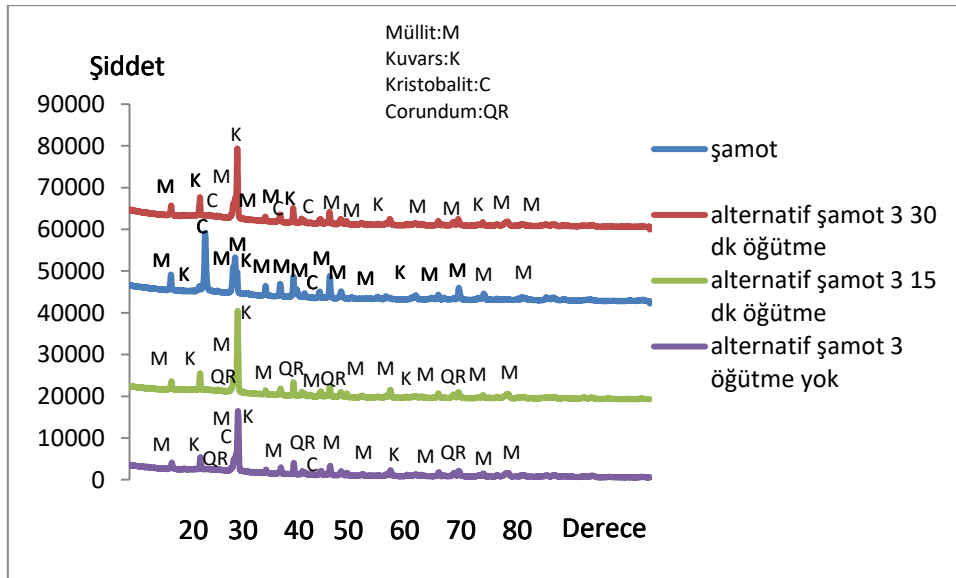
Şekil 4.20 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 1 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.

Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 2 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD paterni Şekil 4.21’ de verilmiştir.



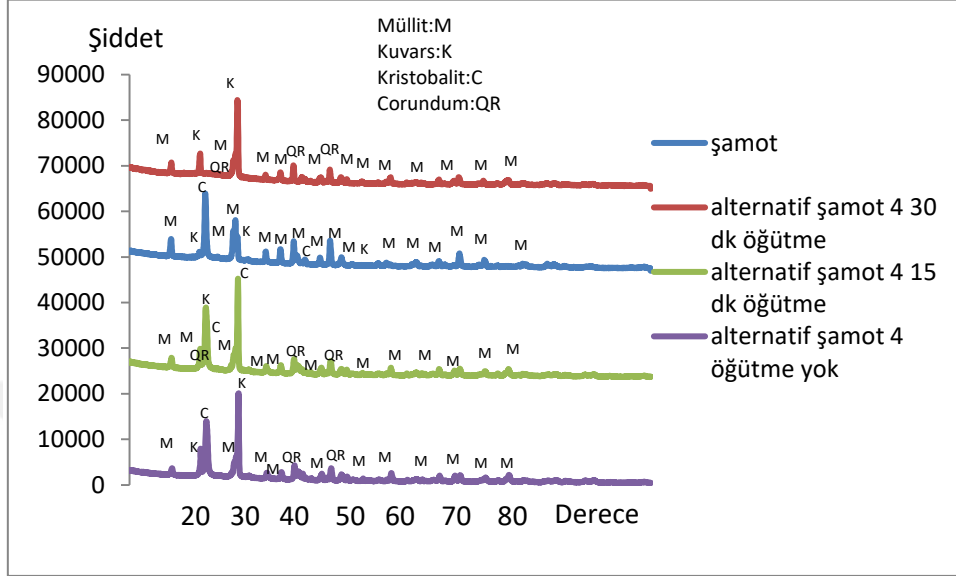
Şekil 4.21 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 2 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.

Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 3 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD paterni Şekil 4.22’de verilmiştir.



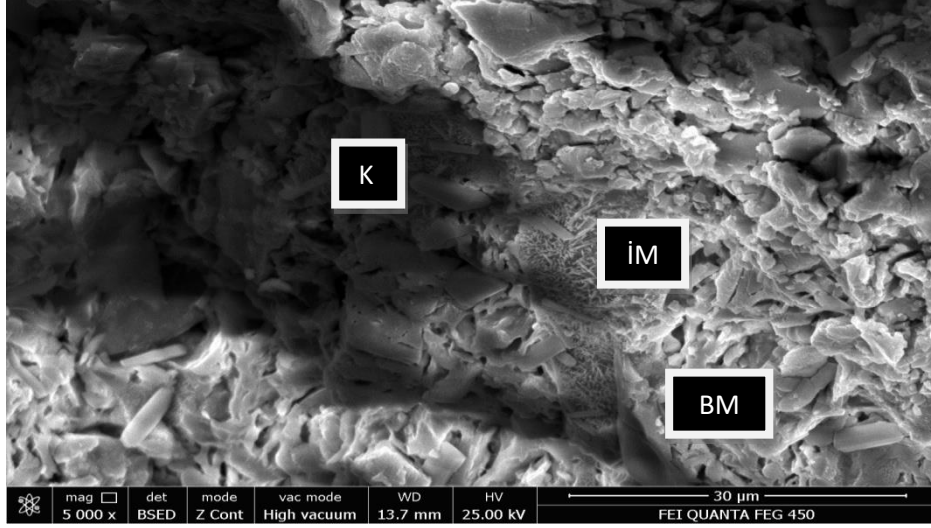
Şekil 4.22 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 3 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.

Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 4 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD paterni Şekil 4.23’ de verilmiştir.



Şekil 4.23 Öğütme sürelerine göre alternatif şamot 4 kompozisyonu ile ithal şamot malzemesinin XRD grafiği.

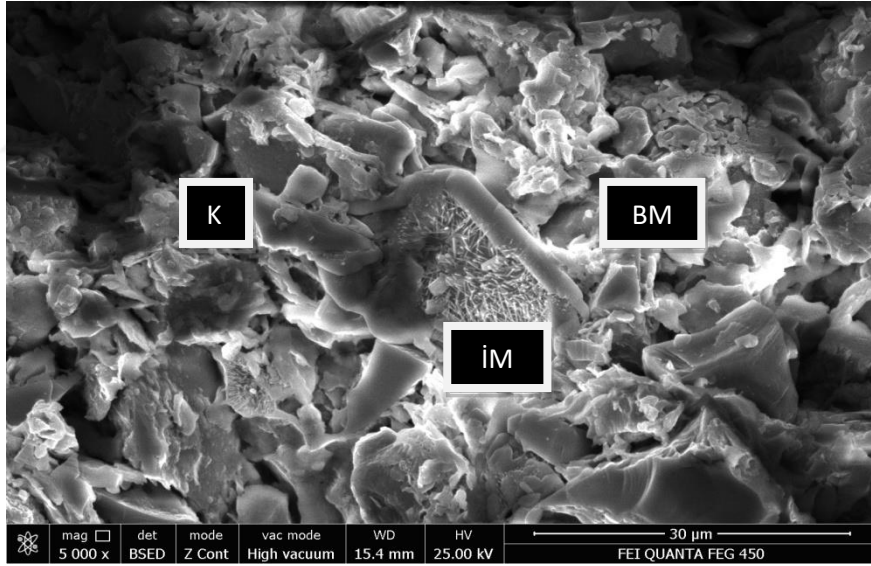
Sinterleme sonrasında numuneler Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde QUANTA 450 Field Emission Gun SEM cihazı ile incelenmiştir. Hammaddelerin incelenmesinde dağlama işlemi için HF (hidroflorik asit) ile yüzeydeki kristallerin açığa çıkması sağlanmıştır. Numune sonra iletkenlik amacıyla kaplama cihazında altın paladyum ile kaplanmıştır. Kuvars fazı üzerinde visker müllit kristalleri görülmüş olup bu visker müllit yapısının fazla olmasına bağlı olarak iç yapıdaki camsı fazın oluşturduğu porozite engellenerek bünye mukavemetinde artış olacağı öngörülmektedir. İthal şamot malzemesinin SEM ile alınan mikroyapı fotoğraf görüntüsü Şekil 4.24’ de verilmiştir.



Şekil 4.24 İthal şamot malzemesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.

(K: Kuvars, BM: Birincil Müllit, İM: İkincil Müllit)

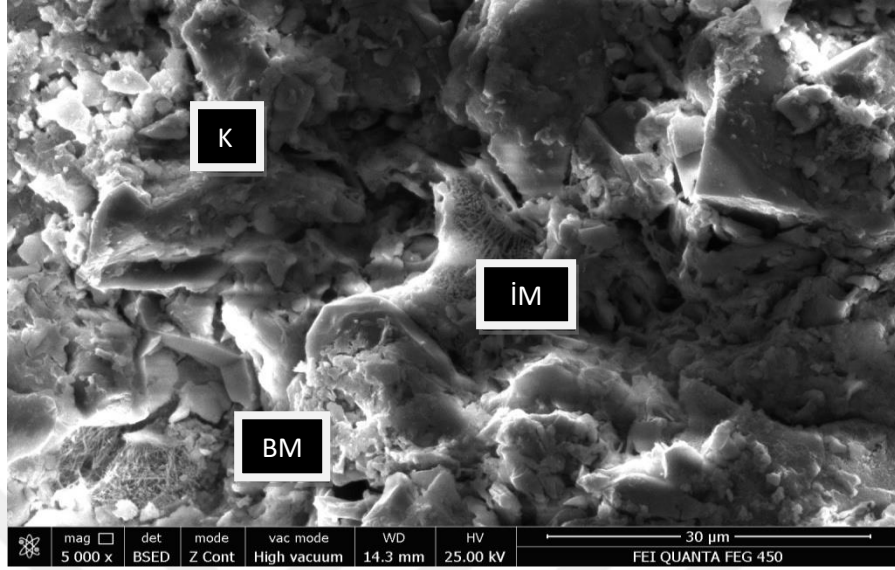
30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 1 kompozisyonunun SEM ile alınan mikroyapı fotoğraf görüntüsü Şekil 4.25’ de verilmiştir.



Şekil 4.25 Alternatif şamot 1 kompozisyonunun SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.

(K: Kuvars, BM: Birincil Müllit, İM: İkincil Müllit)

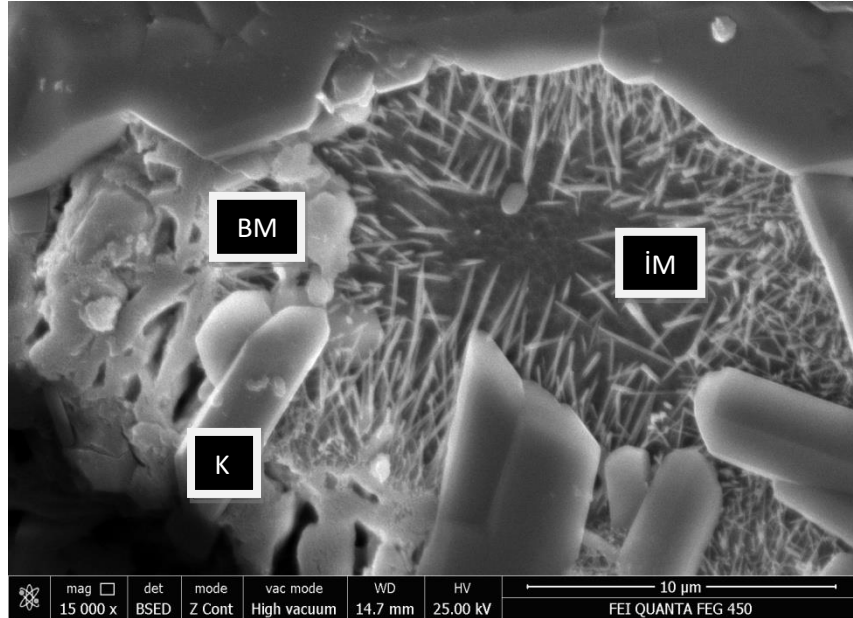
30 dk öğütme yapılan alternatif şamot 2 kompozisyonunun SEM ile alınan mikroyapı fotoğraf görüntüsü Şekil 4.26’ da verilmiştir.



Şekil 4.26 Alternatif şamot 2 kompozisyonunun SEM ile mikroyapı görüntüsü.

(K: Kuvars, BM: Birincil Müllit, İM: İkincil Müllit)

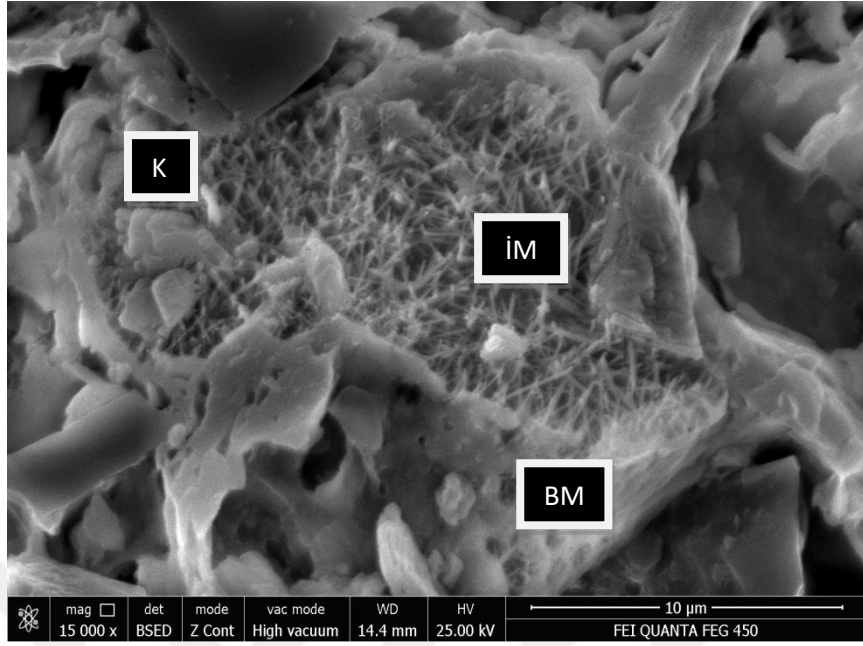
Referans R1 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı fotoğraf görüntüsü Şekil 4.27’ de verilmiştir.



Şekil 4.27 Referans R1 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.

(K: Kuvars, BM: Birincil Müllit, İM: İkincil Müllit)

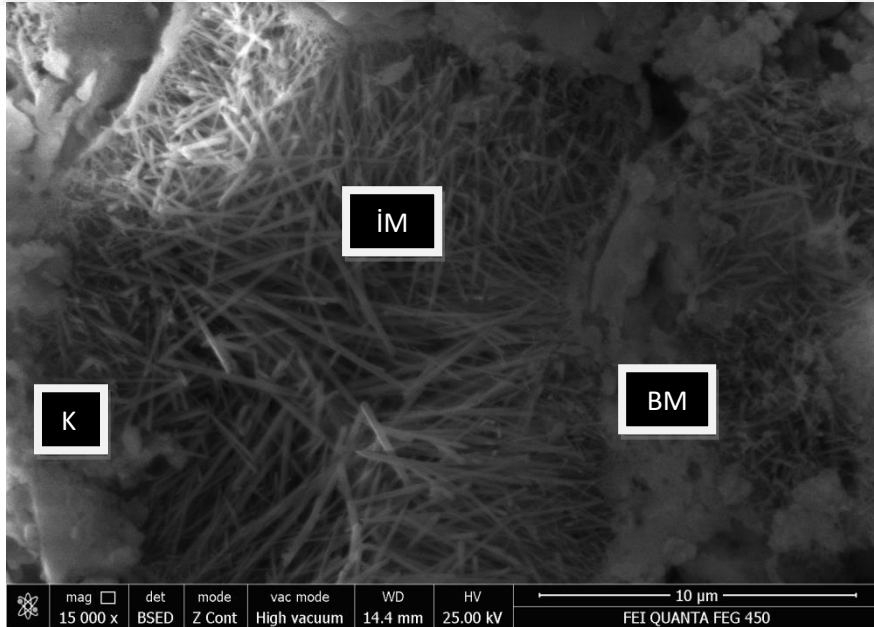
R2 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı fotoğraf görüntüsü Şekil 4.28’ de verilmiştir.



Şekil 4.28 R2 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.

(K: Kuvars, BM: Birincil Müllit, İM: İkincil Müllit)

R3 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı fotoğraf görüntüsü Şekil 4.29’ da verilmiştir.



Şekil 4.29 R3 numunesinin SEM ile alınan mikroyapı görüntüsü.

(K: Kuvars, BM: Birincil Müllit, İM: İkincil Müllit)

Çalışmada kullanılan hammaddelere elek analizi yapılmıştır. Elek analizi için deney elekleri, yukarıdan aşağı doğru göz açıklıkları 150 µm ve 75 µm şeklinde küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Sonra eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme 0,1 g duyarlılıktaki hassas terazide tartılmıştır. Tüm reçeteler 150-75µm tane boyutlarında kullanılmıştır. R1’ de kullanılan şamot ithal şamottur. R2’ de kullanılan şamot alternatif şamot 1’ e, R3’ de kullanılan şamot alternatif şamot 2’ ye aittir. Çalışmada kullanılan ağırlıkça % reçete kombinasyonları Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan ağırlıkça % reçete kombinasyonları.

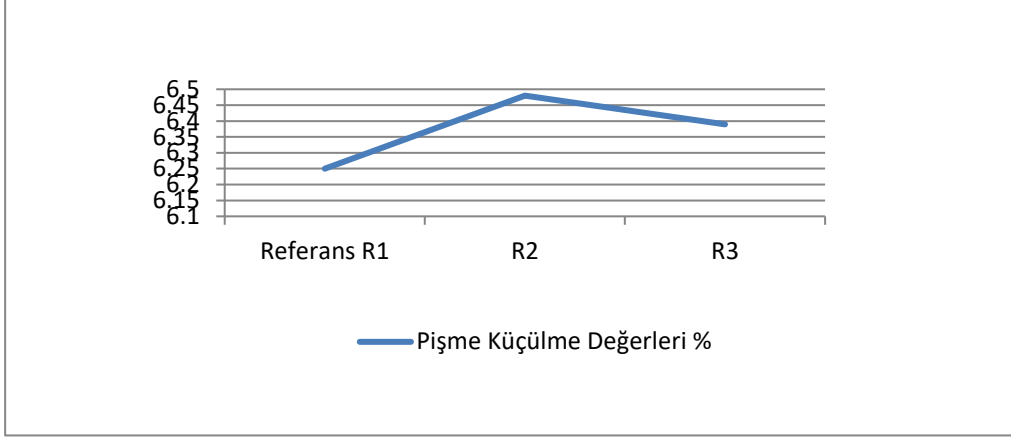
Malzemeler	Referans R1	R2	R3
Kuvars	%24	%24	%24
Şamot	%25	%25	%25
Albit	%6	%6	%6
Kil 1	%14	%14	%14
Kaolen 1	%12	%12	%12
Kaolen 2	%10	%10	%10
Kil 2	%9	%9	%9

Reçetelerinin hesaplanan pişme küçülme değerleri Çizelge 4.4’ de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Pişme küçülme değerleri.

Reçete Kodu	Referans R1	R2	R3
%	6.25	6.48	6.39

Su emmenin azalması ile yüksek sıcaklıklarda bir miktar pişme küçülme değerlerinde yükselme gözlenebilir. Pişme küçülmesinin artması ürünün çok iyi sinterlendiğinin bir göstergesi olup amaçlanan sonuçlara ulaşıldığını göstermektedir. Su emme değerleri ile karşılaştırıldığında yükselme değerlerindeki fark ortaya konmuştur. Referans reçete ile kıyaslanan deneme sonuçlarında pişme küçülme değerleri açısından çok büyük bir farklılık gözlenmemiştir. Şekil 4.30’ da reçetelerin pişme küçülme değerleri arasındaki ilişki verilmiştir.



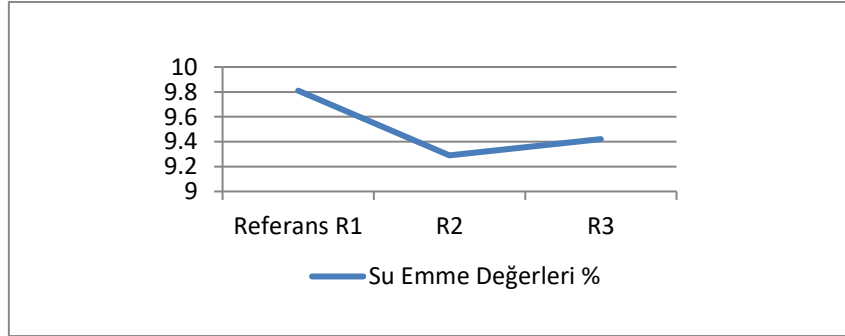
Şekil 4.30 Reçetelerin pişme küçülme değerleri arasındaki ilişki.

Reçetelerinin hesaplanan su emme değerleri Çizelge 4.5’ te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Su emme değerleri.

Reçete Kodu	Referans R1	R2	R3
%	9.81	9.29	9.42

Tane boyutu ve feldspat miktarına bağlı olarak su emmenin azalması camsı fazın arttığını göstermektedir. Feldspat reçetelerde ergitici olarak kullanılıyor olup oluşturduğu camsı faz pişme sırasında porozitenin azalmasını ve porların kapanarak kompaktlığın artmasını sağlar. Şekil 4.31’ de reçetelerin su emme değerleri arasındaki ilişki verilmiştir.



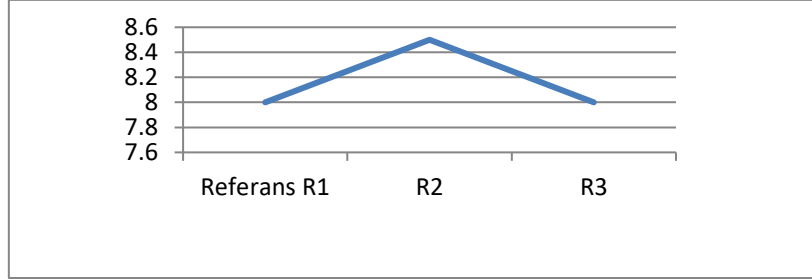
Şekil 4.31 Reçetelerin su emme değerleri arasındaki ilişki.

Reçetelerinin hesaplanan deformasyon ölçümleri Çizelge 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Deformasyon değerleri.

Reçete Kodu	Referans R1	R2	R3
Deformasyon (mm)	8	8.5	8

Referans reçete ile kıyaslanan deneme sonuçlarında deformasyon değerlerine bakıldığında sıcaklık miktarı ve albit oranının dengeli olmasına bağlı olarak deformasyon değerleri açısından farklılık gözlenmemiştir. Şekil 4.32’de reçetelerin deformasyon değerleri arasındaki ilişki verilmiştir.



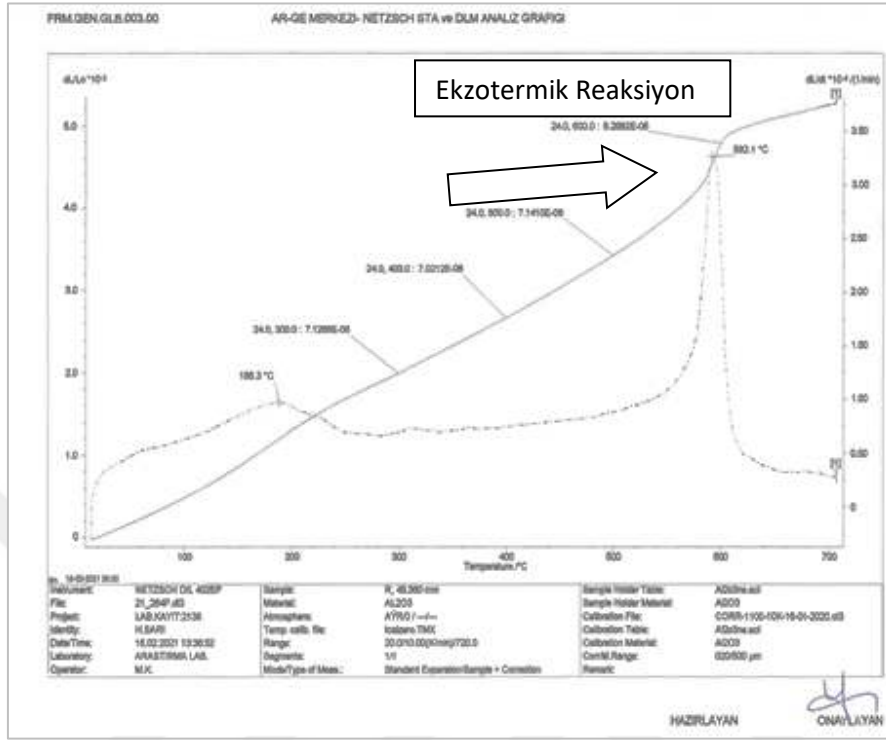
Şekil 4.32 Reçetelerin deformasyon değerleri arasındaki ilişki.

Mukavemet değerlerine bakıldığında su emme değeri yüksek olanın mukavemet değeri düşük olduğu gözlenmiştir. Bu da müllit oranının fazla olması, iç yapıda homojen dağılması ve düşürülen tane boyutuna bağlı olarak gerçekleşen sinterleme ile reaksiyonların gerçekleşerek çözünmelerin tamamen sağlanması ile mukavemet değerleri istediğimiz sonuçta gelmiştir. R1, R2 ve R3 numunelerinin mukavemet değerleri Çizelge 4.7’ de verilmiştir.

Çizelge 4.7 R1, R2 ve R3 numunelerinin mukavemet değerleri.

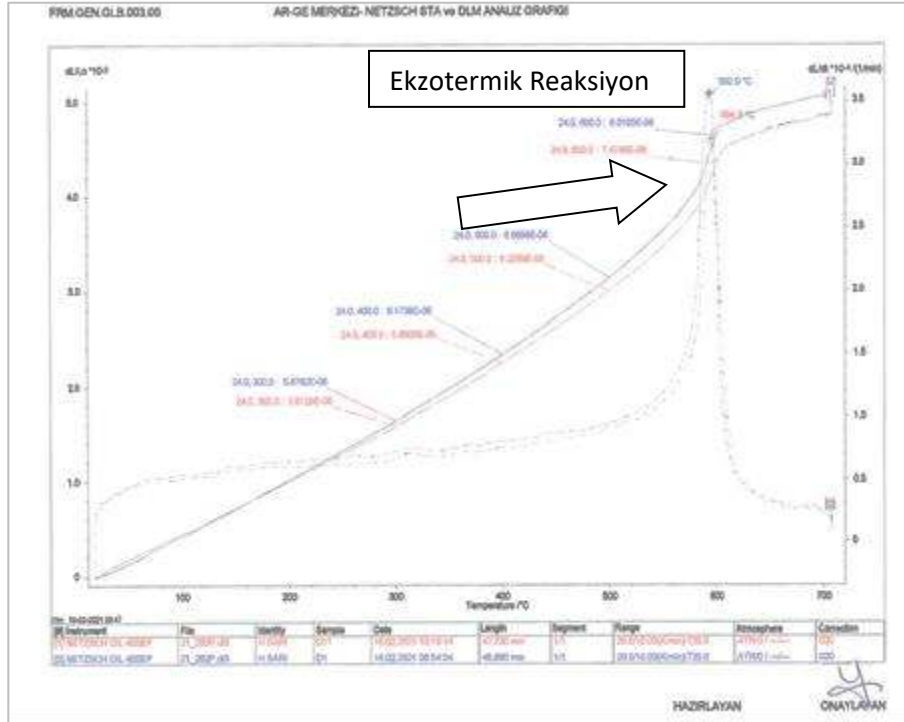
Numune Adı	Kırılma Yüğü (Newton)	Kırılma Dayanımı (Newton)	Eğilme Dayanımı (N/mm2)
R1	157.94	1119.27	9.86
R2	193.26	1480.27	14.08
R3	194.24	1349.92	12.45

Referans R1 numuneye ait Dilatometre testi sonucunun fotoğraf görüntüsü Şekil 4.33’ de verilmiştir.



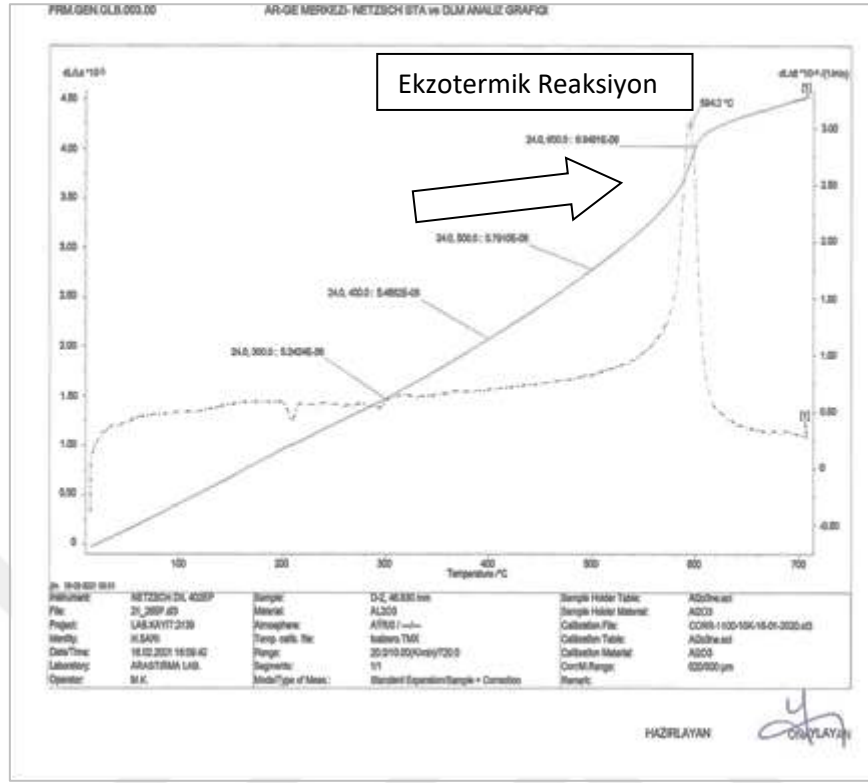
Şekil 4.33 Referans reçete termal genleşme katsayısı grafiği.

R2 numunesine ait Dilatometre testi sonucunun fotoğraf görüntüsü Şekil 4.34’ de verilmiştir.



Şekil 4.34 R2 numunesinin termal genleşme katsayısı grafiği.

R3 numunesine ait Dilatometre testi sonucunun fotoğraf görüntüsü Şekil 4.35’ de verilmiştir.



Şekil 4.35 R3 numunesinin termal genleşme katsayısı grafiği.

R1, R2 ve R3 numunelerine ait termal genleşme katsayıları (α_{600}) Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Reçetelerin termal genleşme katsayıları.

Reçete Kodu	α_{600}
R1	592.1
R2	594.8
R3	594.2

Reçetelerin sinterleme davranışı optik dilatometre ile incelenmiştir. Sinterleme davranışlarının belirlenmesi için optik dilatometre analizi Expersystemsolutions SRL/ Misura HSM Odth 1600 marka cihazla yapılmıştır. Hazırlanan reçeteler pişirildikten sonra kristal faz analizinde XRD yöntemi kullanılmıştır. Reçetelere ait dilatometre eğrilerine bakıldığında endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar gerçekleşmiştir. Seramik bünyelerin ısı genleşme katsayısı yapıda bulunan kristal cinsine ve miktarına bağlı olmakla birlikte amorf fazın kompozisyonu ile de direkt ilişkilidir. Amorf fazdaki ısı genleşme katsayısını yükselten en önemli oksit Na_2O ’dur. Camı faz içindeki sodyum oksit oranının düşmesi ısı genleşme katsayısını düşürmektedir (Eppler ve Eppler 2000). Bünyelerde kalıntı kuvarsın artmasıyla birlikte bünyelerin ısı

genleşme katsayısı da artmaktadır. Çünkü kristal yapıdaki kuvarsın ısı genleşme katsayısı amorf yapıdaki kuvarstan oldukça yüksektir. Bu koşullara bağlı olarak reçetelerin termal genleşme katsayıları sırasıyla 592.1 °C, 594.8°C, 594.2°C’ dir. Hammaddelerin maliyet fiyatları Çizelge 4.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Hammaddelerin maliyet fiyatları.

Malzemeler	Maliyet (TL/ton)
İthal Şamot	1250,00 TL
Alternatif Şamot 1	601,26 TL
Alternatif Şamot 2	581,26 TL

Maliyet–mukavemet ilişkisi incelendiğinde, hammaddelerin fiyat–performans değeri hakkında yorum yapmak mümkündür. İthal şamot ile kullanılan yerli alternatif şamotların maliyet hesabı çıkarılmış olup; karşılaştırma yapıldığında yerli alternatif şamotların kullanımı ile çok büyük avantaj sağlanmıştır. Kunduracı vd. (2017) yaptığı çalışmada şamot yerine kullanılması önerilen hammaddelerin kullanımıyla, daha düşük maliyetlerde daha yüksek mukavemet elde edilebileceğini kanıtlamıştır.

Bartusch (2004) yaptığı çalışmada sağlık gereçleri üretiminde sinterleme sıcaklığında sağlanan 100 °C’ lik bir düşüş ile %30 enerji tasarrufu sağlanacağı kanıtlamıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda sinterleme sıcaklığını 30°C düşürülebileceği belirlenmiştir. İlgili çalışma baz alınacak olursa gerçekleştirilen çalışmada da ortalama %10’luk bir enerji tasarrufu sağlanması hesap edilebilmektedir.

Yapılan bu hesaplamada sadece fırın için gerekli enerji yer almaktadır. Yaptığımız çalışmada olduğu gibi tane boyutunu azaltarak, ticari ve daha verimli fırınlar ile değirmenler kullanılarak hacim olarak ve üretim gücü yüksek firmalar bu fiyat verilerini aşağı çekebilirler.

Uzun bir süreci kapsayan seramik sağlık gereçleri üretiminde tane boyutunu düşürerek ve düşük sıcaklıklarda çalışarak enerjiden tasarruf sağlanacaktır. Dolayısıyla seramik sağlık gereçleri üretim maliyetinde en büyük paya sahip olan enerji maliyetlerinin düşürülmesi ile hem sektöre hem de ülkeye büyük katma değer sağlayacaktır.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada seramik sağlım gereçleri sektöründe kullanılan ithal şamot malzemesinin yerli hammaddeler ile üretilmesi ve geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda öncelikle literatür taraması yapılmış olup, sonra seramik üretim iş akış şemasında kullanılan prosesler uygulanmıştır.

Kimyasal, mineralojik ve faz analizleri yapılarak ithal şamot malzemesi ile bizim elde ettiğimiz yerli kil ve kaolen malzemeleri karşılaştırılarak en uygun alternatif malzemeler seçilmiştir. Daha sonra oluşturulan yeni bünyeler ile referans bünye fiziksel testlere tabi tutulmuştur.

Şamot, kaolinin/kilin döner fırında yüksek sıcaklıkta (1350-1400°C) pişirilmesi sonucu elde edilen bir endüstriyel hammaddedir. Pişirim sırasında kaolin/kil içerisindeki karbon ve kükürt içerikli bileşenler yanarak uzaklaşır. Ayrıca pişirim sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda kaolinin/kilin yapısındaki kaolinit fazı müllit, kuvars, kristobalit ve cam fazlarına dönüşür.

1990 yılında Michel ve arkadaşlarının alümina-silika sistemlerini inceledikleri çalışmalarında, müllit fazının seramik bünyelerde mukavemet sağladığı belirtilmiştir (Michel et al. 1990).

1993 yılında Schneider'in seramik müllitler üzerine yaptığı yayında; müllitin, düşük ısı genleşme, yüksek ergime noktası, iyi sürünme dayanımı, düşük ısı iletkenlik ve kimyasal kararlılık gibi özellikleri ile son yıllarda yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilen malzemeler arasına girdiğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada müllitin; kaolen tipi minerallerin ısıtılması ile oluşabildiği gibi, alümina-silika karışımlarının reaksiyonu sonucunda da elde edilebileceği belirtilmiştir. Al_2O_3 - SiO_4 sistemi seramikte en önemli ikili sistemlerden birisi olup, bu sistemde termodinamik olarak kararlı oluşan tek ara bileşiğin müllit olduğu ifade edilmiştir (Schneider 1993).

2007 yılında Kong ve arkadaşlarının alümina silika karışımından yüksek enerjili öğütme sistemlerini kullanarak 1200 °C gibi düşük sıcaklıklarda kararlı müllit fazı elde ettikleri çalışma incelendiğinde, öğütme etkisi ve safsızlıkların etkisi ile 1200 °C gibi düşük sıcaklıklarda kararlı müllit fazının elde edilebileceği bildirilmiştir (Kong ve ark., 2007).

Normal koşullarda bu tip endüstriyel hammadde olan şamotun ve müllit fazının elde edilmesi, 1500 °C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Bu çalışmada sinterleme öncesinde hammaddelere öğütme yapmadan, 15 dk öğütme ve 30 dk öğütme işlemi yapılmıştır. 3°C/dk ile 1250 °C sıcaklığa çıkılıp, bu tepe sıcaklığında 60 dakika bekleme yapılarak aynı rejim ile fırın soğumaya bırakılmıştır. Gözlemlerimize bağlı olarak hazırladığımız yerli alternatif şamot kompozisyonları ile ithal şamot malzemesi karşılaştırıldığında elde ettiğimiz şamot malzemesine en uygun kompozisyonlar alternatif şamot 1 ve alternatif şamot 2 kompozisyonları olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda malzemelerin XRD analizine bağlı olarak müllit, kuvars, kristobalit ve korundum fazları tespit edilmiştir.

XRD analizine ek olarak SEM analizi de gerçekleştirilmiş olup, iç yapı incelenerek amaçlanan ve hedeflenen tez desteklenmiştir. Daha sonra fiziksel testler uygulanmıştır. Burada seramik bünyelerin pişme küçülmesi, su emme, deformasyon, dilatometre ve mukavemet değerlerine bakılmıştır.

Su emmenin azalması camsı fazın arttığını göstermektedir. Açık porozitenin azalması ve kapalı porun artması camsı fazın oranının arttığını ve gözeneklerin kapanarak kapalı por oluşturmaya başladığını gösterir. Yani iç yapıda ki poroziteye bağlı olarak camsı fazın artışı bu poroziteleri engelleyerek su emmeyi düşürür ve bünyenin mukavemetini artırır.

En yüksek su emme değeri referans malzemeye ait olup, en düşük su emme değeri bizim elde ettiğimiz Alternatif 1 kompozisyonuna ait alternatif şamot malzemesidir. Yine mukavemet değerlerine bakıldığında su emme değeri yüksek olanın mukavemet değeri düşük olduğu gözlenmiştir. Bu da müllit oranının fazla olması, iç yapıda homojen dağılması ve düşürülen tane boyutuna bağlı olarak gerçekleşen sinterleme ile reaksiyonların gerçekleşerek çözünmelerin tamamen sağlanması ile mukavemet değerleri istediğimiz sonuçta gelmiştir. Yapılan su emme ve mukavemet testleri ile de bu sonuç desteklenmiştir.

Referans reçete ile kıyaslanan deneme sonuçlarında deformasyon değerlerine bakıldığında sıcaklık miktarı ve albit oranının dengeli olmasına bağlı olarak deformasyon değerleri açısından çok büyük bir farklılık gözlenmemiştir.

Seramik bünyelerin ısı genleşme katsayısı yapıda bulunan kristal cinsine ve miktarına bağlı olmakla birlikte amorf fazın kompozisyonu ile de direkt ilişkilidir. Amorf fazdaki ısı genleşme katsayısını yükselten en önemli oksit Na_2O 'dur.

Camsı faz içindeki sodyum oksit oranının düşmesi ısı genleşme katsayısını düşürmektedir (Eppler ve Eppler, 2000). Seramik bünyelerde ısı genleşme katsayısı üzerinde en büyük etkisi olan kristallerden biri sinterleme süreci sonrasında bünye mikroyapılarında ergimeden kalan kalıntı kuvarstır. Bünyelerde kalıntı kuvarsın artmasıyla birlikte bünyelerin ısı genleşme katsayısı da artmaktadır.

Çünkü kristal yapıdaki kuvarsın ısı genleşme katsayısı amorf yapıdaki kuvarstan oldukça yüksektir. Seramik bünyelerde $573\text{ }^{\circ}\text{C}$ de α kuvarsın β kuvarsa olan dönüşümü gerçekleşir. Bu sıcaklıktaki ısı genleşme katsayı değerinde bünyede bulunan kalıntı kuvars etkilidir. Bizim yaptığımız çalışmada kimyasal analizdeki Na_2O ve kuvars miktarına bakıldığında ve iç yapıda ergimeden kalan kalıntı kuvars durumuna bakıldığında dilatometre analizine bağlı olarak ısı genleşme sonuçları beklediğimiz şekilde gerçekleşmiştir.

Referans malzeme ile yerli kil ve kaolenler kullanılarak bizim ürettiğimiz ve geliştirdiğimiz alternatif malzemeler arasında kimyasal ve fiziksel testler yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ve olumlu veriler doğrultusunda hareket ederek maliyet analizine de yer verilmiştir. Hesaplanan değerlere göre yerli kil ve kaolenler kullanılarak ürettiğimiz ve geliştirdiğimiz alternatif malzeme ile maliyeti düşürüp ek olarak sıcaklığı ve tane boyutunu da azaltarak seramik sağlık gereçleri sektöründe önemli paya sahip olan enerji maliyetlerinin düşürülmesi ile de toplam maliyette büyük avantaj sağlanması öngörülmektedir. Buna bağlı olarak hem ülke ekonomisine katkı sağlanarak hem de dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenmiştir.



KAYNAKLAR

- Anonim** (2013) Seramik sağlık gereçleri sektöru dokuzuncu kalkınma planı 2007- 2013, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Ankara, 89 s.
- Arcasoy A** (1983) Seramik Teknolojisi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, *Seramik A.S.D.Yay.*, 1983.
- Atılgan M** (2006) Vitrifiye Ürünlerin Endüstride Gerçekleştirilme Süreçleri ve Kişisel Öneri, Yayınlanmamış *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi.
- Barone G, Crupi V, Longo F, Majolino D, Mazzoleni P, Tanasi D and Venuti V** (2011) FT-IR spectroscopic analys is to study the firing process of prehistoric ceramics, *Journal of Molecular Structure*, 993, 147-150.
- Barsoum M W** (2003) Fundamentals of Ceramics, Series in Materials Science and Engineering, Department of Materials Engineering, Drexel University, *IOP Publising LTD*, 2-12.
- Bartusch R** (2004) Energy saving potentials in the ceramic industry. *Interceram*, 53, 312-317.
- Bernardin A M, Medeiros D S and Riella H G** (2006) Pyroplasticity in porcelaintiles, *Materials Science and Engineering*, A 427, 316-319.
- Bragança S R, Bergmann C P and Hübner H** (2006) Effect of quartz particle size on the strength of triaxial porcelain, *Journal of European Ceramic Society*, 26, 3761–3768.
- Canbaz M** (2012) Cam, Seramik ve Pişmiş Kil Atıklarının Beton Teknolojisinde Değerlendirilmesi, ESİNKAP 6. *Ar-Ge Proje Pazarı: Seramik, Cam ve Pişmiş Kil*, 17 Ekim 2012, Eskişehir, Türkiye, 1-10.
- Carty W M** (2002) Observations on the glass phase composition in porcelains, *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 23-2, 79-93.
- Carty W M and Senepati U** (1998) Porcelain-raw materials, processing, phase evolution, and mechanical behaviour, *Journal of the American Ceramic Society*, 81, 3-20.
- Dağ P** (2009) Sağlık porseleninde kompozisyon değişimlerinin sinterleme üzerine etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Dinger D R and Funk J E** (1994) *Predictive process control of crowded particulate suspensions applied to ceramic manufacturing*. 1st Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, A.B.D., 765 pp.
- Domenico F** (2006) *Defect in Glazes of Ceramic Sanitaryware*, Faenza Editrice, S.P.A.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Eppler R A, Eppler D R** (2000) Glazes and glass coatings, *The American Ceramic Society*, Westerville, Ohio.
- Eravcı B E** (2016) Ağır Metal Maruziyetinin Sağlık Etkilerinin Değerlendirilmesi: Seramik Sektörü Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 72 s.
- Fortuna D** (2000) *Sanitaryware*, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.P.A.
- Fortuna D** (2000a) *Ceramic Technology Sanitaryware*, Gruppo Editoriale Faenza Editrice, Spain, 56 pp.
- Fortuna D** (2000b) *Sanitaryware*, Gruppo Editoriale Faenza Editrice SPA, 61 pp.
- Fortuno D** (2000c) Firing, *Ceramic Technology Sanitaryware*, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.P.A, Faenza, Italy, 125–126.
- Francescon A, Pagani R, Milone R, Campolo D, Maschio C** (1998) La Spillatura Fenomeno Superficiale Nei Sanitari, Ceramurgia.
- Frith D E** (1985) *Mold Making For Ceramics*, Chilton Book Company Radnor Pennsylvania, U.S.A, 1985, 47-59.
- Güngör E** (2010) Galvanizli Atıkların Vitrikiye Bünyelerde Kullanımının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 94 s.
- Hopa D Y T ve Özel E** (2016) Kaolen türünün sağlık gereçleri porselen bünyesinin piroplastik deformasyonu üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (2): 313-322.
- Iqbal Y and Lee W E** (2000) Microstructural evolution in triaxial porcelain, *Journal of the American Ceramic Society*, 83, 3–21.
- Kılıç E, Köseoğlu F, Yılmaz H** (2000) Raman Spektroskopisi, in Enstrümantal Analiz İlkeleri, *Bilim Yayıncılık*, p. 429-444, Eds. Skoog D A, Holler F. J. and Nieman T A Saunders College Publishing, USA.
- Kılıç G B and Karahan A G** (2010) Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and its usage in identification of lactic acid bacteria, *Gıda* 35 (6), 445-452.
- Kingery W D, Bowen H K, Uhlmann D R** (1960a) *Developments of microstructure in ceramics*, Introduction to Ceramic (Ed: Burke E, Cahlmers B and Krumhansl J A), Wiley Series on the Science and Technology of Materials, Canada, 265-581.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kivitz E, Palm B, Heinrich J G, Blumm J and Kolb G** (2009), Reduction of the porcelain firing temperature by preparation of the raw materials, *Journal of European Ceramic Society*, 29, 2691-2696.
- Kocabağ D** (2000) Seramik Sanayinde Alçı Kalıp Uygulaması, 3. *Ulusal Alçı Kongresi*, Alçı Üreticileri Derneği, 1-2 Kasım, 152-173.
- Kong L B Zhang T S, Ma J and Boey F Y C** (2007). Anizotropic Grain Growth in Mullite Powders as a Result of High Energy Ball Milling. *Journal of American Ceramic Society*, 90 (12) 4055-4058.
- Kunduracı N, Binal G, Şimşek İ N G** (2017) Seramik Sağlık Gereçleri Fine Fire Clay Ürünlerde Şamot Alternatifi Malzemelerin Kullanımının Araştırılması ve Sentezlenmesi, *Uluslararası Mühendislik ve Geliştirme Dergisi*, 21 Şubat 2017.
- Lapasin R, Gardini D and Galassi C** (2006) *Rheology Applied to Ceramics: The oryand Practice*, Modena, 573pp.
- Michel D, Mazerolles L and Portier R** (1990) Directional solidification in the alumina-silica system: microstructure and interfaces. *Ceramic Transactions*, 6, 435-437.
- Miura M, Shimadzu T, Shin H and Ishida E H** (1999) Evaluation of softening deformation behavior in porcelain bodies during firing. *InCeram. Eng. Sci. Proc*, 20 (1): 99-111.
- Noirot M D and Carty W M** (2003) Dynamic pyroplastic deformation study: Digital time lapse photography of porcelain firing, *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 24-2, 133-147.
- Özdemir B** (2005) Döküm Çamuru Optimisasyonu, *Doktora tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 272 s.
- Özel E**, (1997) Sağlık gereçleri döküm çamurlarının reolojik özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir, 101 s.
- Porte F, Brydson R, Rand R and Riley R** (2004) Creepviscosity of vitreouschina, *Journal of American Ceramic Society*, 87-5, 923-928.
- Rado P** (1988) *An introduction to the technology of pottery*, Published on behalf of the Institute of Ceramics by Pergamon Press, Institute of ceramics, ISBN: 0080349323, Great Britain, 266 s.
- Reed J S** (1995) *Introduction to the Principles of Ceramic Processing*, ISBN: 9971511053, John Wiley & Sons Inc, New York, A.B.D, 486 pp.
- Represto J J and Dinger D R** (1995) Control of pyroplastic deformation in triaxial porcelain bodies using thermal dilatometry, *Interceram*, 44- 6, 391-398.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ricciardiello F G, Minichelli D and Battistella F** (2005) An investigation into the drying process of sanitary bodies”, *Interceram*, 54 (3): 41-46.
- Richerson D W** (1992) *Modern ceramic engineering*, ISBN: 168285003X, Willford Press, Marcel Dekker, NY, USA, 172 pp.
- Schneider H, Schmücker M, Ikeda K and Kaysser W A** (1993) Optically translucent mullite ceramics. *Journal of American Ceramic Society*, 76, 2912-2914.
- Shearer G L** (1989) An evaluation of Fourier transform infrared spectroscopy for the characterization of organic compounds in art and archaeology, *Doctoral thesis*, University of London, 1989.
- Shoval S** (2003) Using FT-IR spectroscopy for study of calcareous ancient ceramics, *Optical Materials* (24), 117-122.
- Stubna I, Trnik A and Vozar L** (2007) Thermomechanical analysis of quartz porcelainin temperature cycles. *Ceramics International*, 33 (7): 1287-1291.
- Suvaci E and Tamsu N** (2010) The role of viscosity on microstructure development and stain resistance in porcelain stoneware tiles, *Journal of European Ceramic Society*, 30-15, 3071-3077.
- Sümer G** (1994) Endüstriyel Seramikler, Cilt 1, 2, 3.
- Tiryaki V** (2014) Sağlık Gereçleri Döküm Çamurunda Tana Boyut Değişiminin Fiziksel ve Pişme Özelliklerine Olan Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 72s.
- Toydemir N** (1991) Seramik, Seramik Yapı Malzemeleri, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi*, Sayı:1447, İstanbul, 1-32.
- Tucci A, Esposito L, Malmusi L and Rambaldi E** (2007) New body mixes for porcelain stoneware tiles with improved mechanical characteristics. *Journal of the European Ceramic Society*, 27 (2-3): 1875-1881.
- Tunçel D Y** (2012) Seramik sağlık gereçleri bünyelerinin piroplastik deformasyonunun azaltılması, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 180 s.
- Twyford A** (2005) Vitreous China Sanitaryware Production.
- URL-1** <<https://www.esan.com.tr>> Ziyaret Tarihi: 29.12.2020
- URL-2** <<http://www.kaolin.com.tr>> Ziyaret Tarihi: 17.03.2020

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ürkmez A** (2018) Seramik Sağlık Gereçleri Deformasyonlarının Sonlu Elemanlar Analiziyle Doğrulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 45 s.
- Weerd J V D, Smith G D, Firth S and Clark R J H** (2004) Identification of black pigments on prehistoric south west American potsherds by infrared and Raman microscopy, *Journal of Archaeological Science*, 31, 1429-1437.





ÖZGEÇMİŞ

ilk ve orta öğrenimini

Zonguldak/Merkez Fener İlköğretim Okulu'nda; lise öğrenimini ise Zonguldak/Merkez Fener Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde üniversite eğitime başladı. 2018 yılında lisans eğitiminden mezun olduktan sonra Bülent Ecevit Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başlamıştır.