



**FARKLI HAMMADDE VE TEKNİKLERLE SERAMİK RULO/KÖPÜK
FİLTRE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner KUMRU

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2019

Bu tez çalışması 17. FEN. BİL. 68 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI HAMMADDE VE TEKNİKLERLE SERAMİK
RULO/KÖPÜK FİLTRE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Caner KUMRU

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Caner Kumru tarafından hazırlanan “Farklı Hammadde ve Tekniklerle Seramik Rulo/Köpük Filtre Üretimi ve Karakterizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Taner KAVAS

İmza

Başkan : Prof. Dr. H. Özkan TOPLAN

Sakarya Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Taner KAVAS

Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman AKPINAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/01/2019

İmza

Caner KUMRU



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI HAMMADDE VE TEKNİKLERLE SERAMİK RULO/KÖPÜK FİLTRE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Caner KUMRU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Taner KAVAS

Bu tezde, kalsiyum alüminat (CA) çimentosu ve agrega olarak kahverengi ergimiş alümina (BFA) kullanılarak seramik hızlı pişirim fırınlarında taşıyıcı eleman olan seramik rulo malzemesinin üretimi çalışılmıştır.

Bununla birlikte ergimiş metal filtrasyonunda kullanılan köpük filtre üretimi denenmiştir. Köpük filtre üretiminde yine CA çimentosu kullanılarak farklı su/çimento oranları ile üretim denenmiştir. Üretim yöntemi olarak replikasyon yöntemi kullanılmıştır. Rulo üretiminde CA çimentosu ve BFA ile reçete hazırlanıp mekanik karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra silindir kalıplara dökülerek üretim gerçekleştirilmiştir.

Üretilen numunelere mukavemet testi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, X-ışınları kırınımı (XRD) ve diferansiyel termal analiz-termal gravimetri (DTA-TG) analizleri uygulanmıştır. Elde edilen bulgular ticari rulo özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar üretilen çimento malzemenin ticari rulo ürün ile benzer özellikleri sağladığını göstermiştir.

Benzer şekilde farklı su/çimento oranları ile hazırlanan ve replikasyon yöntemi kullanılarak üretilen köpük filtre numunelerine 1500°C’ de ısıtma işlemi uygulandıktan sonra DTA-TG, mukavemet testi ve SEM analizleri uygulanmıştır. Analizler

sonucunda imento ile üretilen numunelerin endüstride ihtiyaç duyulan termal dayanıklılığa sahip olduğu görülmüştür.

2019, xi + 49 sayfa

Anahtar Kelimeler: Seramik, Rulo, Kpk Filtre, Refrakter



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CERAMIC ROLLER/FOAM FILTER BY DIFFERENT RAW MATERIALS AND TECHNIQUES

Caner KUMRU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural Applied Sciences

Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Prof. Taner KAVAS

In this thesis, calcium aluminate (CA) cement and brown fused alumina (BFA) as aggregate were used to produce a rotating roll material which is the carrier element in ceramic rapid firing furnaces.

At the same time, a foam filter production, which used in the filtration of molten metals, has been tried with different water/cement ratios containing CA cement. Replication method used as the production method of this stage. In the production phase of the roll, the mortar was prepared with CA cement and BFA then, after mixed with the mechanical mixer mortar poured into the cylinder molds.

Strength test, fracture and outer surface scanning electron microscope (SEM) analysis, X-ray diffraction (XRD) and differential thermal analysis-thermal gravimetry DTA-TG analysis were compound to the produced samples and compared with commercial sample properties. The results indicates that the produced cement material provides similar properties to the commercial products.

Similarly, DTA-TG, strength test and SEM analysis were applied to foam filter samples after 1500°C heat treatment. As a result of the analyzes, foam filter samples produced with cement have the necessary thermal durability in the industry.

2019, xi + 49 pages

Keywords: Ceramic, Roller, Foam Filter, Refractory



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Taner KAVAS'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Süleyman AKPINAR'a, Öğr. Grv. Serhat TIKIZ'a, Öğr. Grv. Hakan ŞAHİN'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Yaprak ÖZCAN, Muhammed Emir KARA, Samet ABBAK' a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 17. FEN. BİL. 68 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ve üyelerine teşekkür ederim.

Bu araştırma ve tüm hayatım boyunca gösterdikleri maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Caner KUMRU
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Benzer Çalışmalar	4
2.2 CA Çimentosu Hakkında Genel Bilgi	6
2.2.1 CA Çimentosu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	7
2.2.2 CA Çimentolarının Üretimi	7
2.2.2.1 Füzyon Yöntemi	8
2.2.2.2 Sinterleme Yöntemi	9
2.2.3 CA Çimentolarında Prizlenme	9
2.2.4 CA Çimentolarının Hidratasyonu	10
2.2.5 CA Çimentosu Klinker Mineralleri ve Özellikleri.....	10
2.2.5.1 CA (Monocalcium Aluminate).....	11
2.2.5.2 C ₁₂ A ₇ (Mayanite).....	12
2.2.5.3 CA ₂ (Calcium dialuminate).....	12
2.2.5.4 CA ₆ (Hibonite).....	12
2.2.5.5 C ₂ AS (Gehlenite)	12
2.2.5.6 C ₄ AF (Tetracalcium Alumina Ferrite)	13
2.2.5.7 C ₂ S (Larnite).....	13
2.2.5.8 C ₃ FT (Tricalcium Titanium Diiron (III) Oxide).....	13
2.2.6 CA Çimentosuna Uygulanan Test ve Analizler.....	13
2.2.6.1 Kimyasal Analiz	14

2.2.6.2 Ekzotermik Reaksiyon Deneyi	14
2.2.6.3 Priz Başlangıç ve Sonunun Belirlenmesi (Vicat Deneyi)	14
2.2.6.4 Akıcılık Deneyi	15
2.2.6.5 Mukavemet Testleri	15
2.2.7 CA Çimentosu Kullanım Alanları.....	15
2.3 Alümina (Al_2O_3).....	16
2.3.1 Alüminanın Yapısal ve Mineralojik Özellikleri	17
2.3.2 Alümina Üretim Yöntemleri.....	18
2.3.3 Alümina Mineralinin Özellikleri.....	18
2.3.4 Alüminanın Kristal Bilgileri	19
2.3.5 Alüminanın Kullanım Alanları	19
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1 Deneysel Çalışma Akım Şeması	22
3.2 Hammaddeler	23
3.3 Reçete Hazırlama.....	23
3.4 Şekillendirme	25
3.5 Isıl İşlem.....	26
4. BULGULAR.....	28
4.1 Uygulanan Test ve Analizler	28
4.1.1 Mukavemet Testi.....	28
4.1.2 DTA-TG Analizi	31
4.1.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi	34
4.1.4 XRD (X-Ray Diffraction) Analizi	37
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	39
5.1 Ticari Ürünler ile Deney Numunelerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması	39
5.2 Mukavemet Değerleri	39
5.3 Sıcaklık Etkisinde Davranışlar	40
5.4 Mikroyapı İncelemeleri.....	41
5.5 XRD Analiz Sonuçları.....	45
6. KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ.....	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al_2O_3	Alümina
AH_3	Alüminyum Hidrat
Cu	Bakır
C_4AF	Brownmillerit
Fe	Demir
Fe_2O_3	Demir oksit
C_2AS	Gehlenit
CA	Kalsiyum Alüminat
CAH_{10}	Kalsiyum alüminyum hidrat
C_2AH_8	Kalsiyum alüminyum hidrat
C_3AH_6	Kalsiyum alüminyum hidrat
C_2AH_{10}	Kalsiyum alüminyum hidrat
CaO	Kalsiyum oksit
CT	Kalsiyumtitanat
C_2S	Larnit
MgO	Magnezya
$C_{12}A_7$	Mayenit
N	Newton
SiC	Silisyum Karbür
K_2O	Potasyum di oksit
SiO_2	Silisyum di oksit
Na_2O	Sodyum di oksit
NaOH	Sodyum hidroksit
$NaCO_3$	Sodyum karbonat
TiO_2	Titanyum dioksit
C_3FT	Trikalsiyum titanium diiron (III) oksit
$ZrSiO_4$	Zirkon

Kısaltmalar

μm	Mikrometre
BFA	Kahverengi ergimiş alümina
DTA	Diferansiyel termal analiz
FD	Filtre deneme
KFD	Köpük filtre deneme (FD 1+ FD 7)
mm	Milimetre
PMMA	Polimetilmetakrilat
PPI	1 inçteki gözenek sayısı
PUF	Poliüretan köpük
RD	Rulo deneme
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TG	Termal gravimetri
XRD	X-Işını kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Müllit matriks ile rulo üretim akım şeması	4
Şekil 2.2 Replikasyon prosesi akım şeması	5
Şekil 2.3 Füzyon yöntemi ile CA çimentosu üretimi	8
Şekil 2.4 Sinterleme yöntemi ile CA çimentosu üretimi	9
Şekil 2.5 CaO-Al ₂ O ₃ ikili sistem faz Diyagramı	11
Şekil 2.6 CA Çimento üçlü sistem diyagramı	16
Şekil 2.7 Alüminyum hidroksitlerin termal ve hidrotermal değişimleri.....	17
Şekil 3.1 Deneysel çalışma akım şeması	22
Şekil 3.2 Seramik rulo sıcaklık-zaman grafiği.....	26
Şekil 3.3 Seramik köpük filtre ısıtma işlem grafiği	27
Şekil 4.1 Kale Seramik referans numune DTA-TG analiz sonucu	32
Şekil 4.2 RD 2 kodlu seramik rulo numune DTA-TG analiz sonucu.....	32
Şekil 4.3 RD 2 Isıl işlem kodlu seramik rulo numune DTA-TG analiz sonucu	33
Şekil 4.4 CA-80 tipi çimento DTA-TG analiz sonucu	33
Şekil 4.5 Polietilen sünger DTA-TG analiz sonucu	34
Şekil 4.6 Kale Seramik seramik rulo numunesi XRD analiz sonucu	37
Şekil 4.7 RD 2 kodlu seramik rulo numunesi XRD analiz sonucu	37
Şekil 4.8 RD 2 Isıl işlem kodlu seramik rulo numunesi XRD analiz sonucu	38
Şekil 5.1 Ticari seramik rulo ve laboratuvarında üretilen seramik rulo numuneleri XRD analiz sonuçları	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Alüminanın endüstride başlıca kullanım alanları.....	20
Çizelge 3.1 Secar Plenium kimyasal analizi	23
Çizelge 3.2 BFA (Kahverengi Ergimiş Alümina) kimyasal analizi	23
Çizelge 3.3 Rulo denemelerine ait reçeteler	24
Çizelge 3.4 Seramik köpük filtre reçeteleri.....	24
Çizelge 4.1 Seramik rulo numuneleri çap ve yükseklik değerleri.....	30
Çizelge 4.2 Seramik köpük filtre numuneleri en, boy ve yükseklik değerleri	30
Çizelge 4.3 Seramik rulo numuneleri mukavet değerleri	31
Çizelge 4.4 Seramik köpük filtre numuneleri mukavemet değerleri.....	31

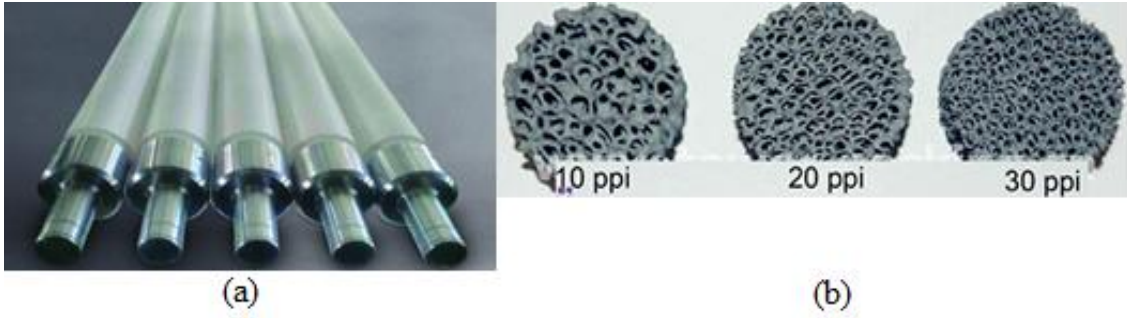
RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 1.1 (a) Hızlı pişirim fırınlarında kullanılan konveyör seramik rulo, (b) Metal sanayinde kullanılan seramik köpük filtre	1
Resim 4.1 Mukavemet testi öncesi numuneler. (a) Rulo deneme numunesi (b) köpük filtre deneme numunesi	29
Resim 4.2 Seramik rulo ve seramik köpük filtre mukavemeti testi	29
Resim 4.3 RD 2 dış yüzey SEM görüntüleri.....	34
Resim 4.4 RD 2 kırık yüzey SEM görüntüleri.....	35
Resim 4.5 RD 2 Isıl işlem dış yüzey SEM görüntüleri	35
Resim 4.6 RD 2 Isıl işlem kırık yüzey SEM görüntüleri.....	36
Resim 4.7 KFD gözenek çapı, ağ yapı ve iç yapı SEM görüntüleri.....	36
Resim 5.1 Kale Seramik rulo numunesi dış yüzey SEM görüntüleri.....	42
Resim 5.2 Kale Seramik rulo numunesi kırık yüzey SEM görüntüleri	42

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde seramik ürünler çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında seramik ve metal sanayinde üretim aşamalarında büyük öneme sahip olan Resim 1.1’ de gösterilen refrakter seramik rulo ve köpük filtre üretimi ele alınmıştır. Refrakter rulolar seramik sanayindeki pek çok ürünün üretim proseslerinde fırınlar içerisinde hareket etmesini sağlayan ve böylelikle fırın istif malzemelerine duyulan ihtiyacı gideren ve pişirimi hızlandıran bir unsurdur. Daha ayrıntılı bir anlatım ile; seramik sanayinde son ürün özellikleri ve bu özelliklerin geliştirilmesi yüksek sıcaklık işlemlerine bağlıdır. Bu nedenle ürünlerin büyük kapasiteli fırınlarda sürekli üretimlerini mümkün kılan uygulamaların geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş olan hızlı pişirim fırınlarındaki en önemli bileşen pişirilecek olan seramik ürünlerin üzerine yüklenmesiyle fırın içerisinde ilerlemesini sağlayan refrakter seramik rulolardır. Bu rulolu fırınların diğer sürekli fırınlardan farkı bir fırın arabası veya diğer araçlar yerine sadece ürünün hareket etmesidir. Bu özellik çok iyi homojen sıcaklık dağılımı ve hızlı pişirmede uygulanabilirlik sağlamaktadır (Erkmen *et al.* 1999).



Resim 1.1 (a) Hızlı pişirim fırınlarında kullanılan konveyör seramik rulo, (b) Metal döküm işleminde kullanılan seramik köpük filtre.

Diğer yandan metal sanayinde üretimde en sık kullanılan yöntemlerden biri metalik malzemelerin döküm ile üretilmeleridir. Bu işlem esnasında ürün kalitesinde belirleyici olan etkenlerden biri döküm metalinin temiz olmasıdır. Eritilmiş metallerden oluşan alaşımın kalıba dökülmeden bir filtre ile süzülerek ergimemiş metal parçaların kalıba aktarılması engellenerek üretilecek olan ürünün özelliklerinde bir bozulma olması engellenmektedir. Bu işlemde kullanılabilen iki tip filtre bulunmaktadır. Bunlardan biri

bal peteği şekilli (honeycomb) diğeri ise köpük (foam) formdaki filtrelerdir. Köpük filtreler birbirleriyle temas halindeki açık boşlukların sürekli bir seramik bağ ile bağlanmasından oluşan üç boyutlu gözenekli malzemelerdir (Çalışkan *et al.* 2015). Bal peteği şekilli filtreler ise presleme ya da ekstrüzyon yöntemiyle üretilen iki boyutlu gözenekli malzemelerdir (Çalışkan *et al.* 2015).

Bu çalışma kapsamında değelendirilen ürünlerden biri olan seramik rulolar yüksek Al_2O_3 içerikli kaliteli killer ve yüksek saflıkta SiO_2 içerikli hammaddeler kullanılarak düşey ekstrüzyonlu fırınlarda yüksek sıcaklıklarda üretilirler. Bu sıralanan üretim özelliklerinden dolayı ürünlerin maliyetleri yükselmektedir. Kullanım sırasında maruz kaldıkları sıcaklık, mekanik yükler ve kimyasal etkiler zamanla deformasyonların oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan bu deformasyonlar sonucu bu ürünlerin belirli periyotlarla değıştirilmesi gerekmektedir. Bahsedilen durumlar sebebiyle bu çalışma kapsamında yüksek maliyet ve kullanım performansının iyileştirilmesi için rulo malzemelerin farklı hammaddeler ile ve ısı işlem uygulanmaksızın üretilmeleri amaçlanmıştır.

Deformasyonlar sonucu sürekli değışimleri gereken rulolar kullanıcı firmalara yüksek maliyetlere mal olmaktadır. Aynı şekilde hammaddeye ulaşım zorluğu, hammaddelerin pahalı oluşu ve üretim için gerek duyulan yüksek sıcaklık uygulamaları bu ürünlerin üretimlerinin de yüksek maliyete mal olmasına sebep olmaktadır. Bu tez kapsamında üretimi çalışılan ürün hammadde sağlama kolaylığı ve üretimi sırasında ısı işlem gerektirmemesi sebebi ile üretim maliyetlerini düşüreceği ve dolayısıyla hem üreticilerin hem de kullanıcıların mali yüklerini büyük ölçüde azaltacağından büyük önem arz etmektedir.

Benzer şekilde metal sanayinde büyük öneme sahip döküm metalini filtrelemek amacıyla kullanılan filtreler maruz kaldıkları sıcaklık, mekanik yük, kimyasal deformasyon ve gözeneklerinin tıkanması sebebiyle çoğunlukla tek kullanımlık olup filtreleme işlemi gerçekleştirildikten sonra ıskarta ürün haline gelmekte ve işlevini kaybetmektedir. Bu filtreler yüksek saflıkta SiC , Al_2O_3 , $ZrSiO_4$ ve MgO esaslı olarak üretilirler. Özel polimer süngerlere hassas bir şekilde emdirildikten sonra yüksek

sıcaklıklarda sinterlenerek üretilmektedirler. Filtrelerde de rulolarda olduğu gibi hammaddelere erişim zorluğu, hammaddelerin pahalı oluşu ve üretim prosesleri bu ürünlerin üretim maliyetini artırmaktadır. Bahsedilen ürünler, bu çalışmada kullanılan hammadde ve üretim yöntemleri ile birlikte üretim maliyetleri düşürülerek daha geniş kullanım alanlarına sahip olabilir.

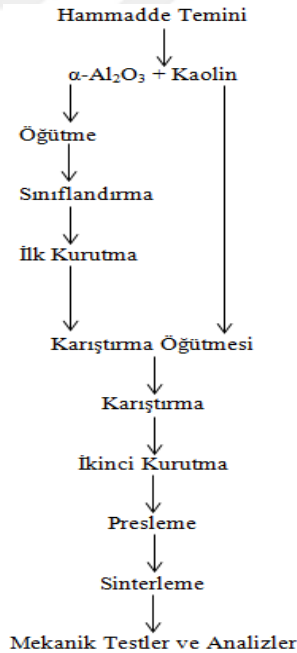


2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Benzer Çalışmalar

Seramik rulo ve seramik köpük filtre ürünler genel olarak belirli hammadde karışımları ve bu hammadde karışımlarına uygulanan belirli teknikler ile üretilmektedir. Yapılan literatür araştırmasında görülmüştür ki; şimdiye kadar yapılmış olan ürün geliştirme çalışmaları standart üretimde kullanılan hammaddelerin bazılarının değiştirilmesi ve/veya oranlarının değiştirilmesi ile ve üretim yöntemlerinde özellikle sinterleme aşamasında farklı sıcaklık ve farklı sinterleme sürelerinin denenmesi ile yapılmıştır.

Serdar Yorulmaz, Ziya Engin Erkmən ve Ferhat Kara tarafından yapılmış “Seramik Sanayi Hızlı Pişirim Fırınlarında Kullanılan Rulo Malzemesi Müllitin Üretimi ve Mekanik Özelliklerini Belirlenmesi” isimli çalışmada $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ve kaolin kullanarak elde edilen müllit matriks ile seramik rulo üretimi çalışılmıştır. Bu çalışma sırasında izlenen üretim şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.



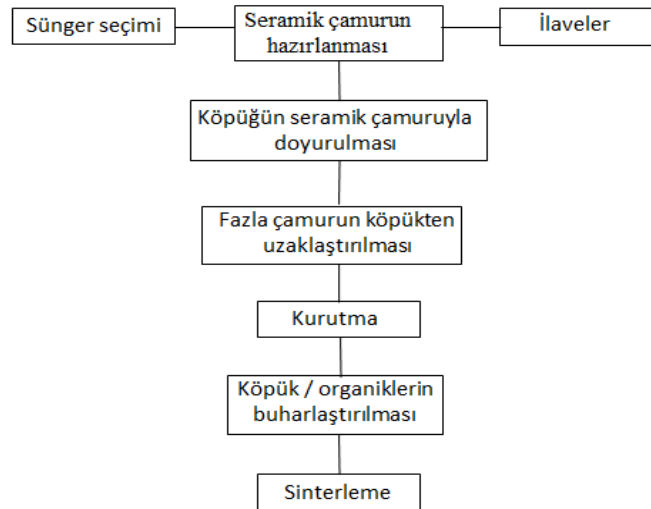
Şekil 2.1 Müllit matriks ile rulo üretim akım şeması.

Presleme aşaması sonrasında farklı sıcaklık ve pişme sürelerinde sinterleme yapılarak bu parametrelerin % görünür porozite ve bulk yoğunluğa olan etkileri incelenmiştir. Bu

aşamada ilk olarak 2 saat süre ile 1500°C, 1550°C, 1600°C ve 1700°C sıcaklıklarda sinterleme yapılarak görünür porozitelerin sıcaklığa bağlı değişimi incelenmiştir. İkinci aşama olarak 1550°C sıcaklıkta 2, 3, 4, 5 ve 6 saat sinterleme yapılarak sinterleme süresinin yoğunluk ve poroziteye olan etkisi incelenmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar laboratuvar koşullarında ticari olarak kullanılan seramik rulo bileşimine yakın ve daha düşük termal genleşme gösteren malzeme üretilebileceğini kanıtlamışlardır. Bulunan başlıca sonuçlar şu şekildedir:

- a. Sıcaklık artışı ile müllit oluşumunun arttığı.
 - b. Başlangıç tane boyutunun müllit oluşumunu önemli ölçüde etkilediği.
 - c. Orjinal rulonun porozite yüzdesine en yakın sonucun 1550°C’ de 5 saat sinterlenerek üretilen numunelerde ulaşıldığı.
 - d. Optimum koşullarda pişirilmiş numunelerin orjinal rulodan daha düşük termal genleşme katsayısına ve daha yüksek mukavemete sahip oldukları.
 - e. Üretilen malzeme ve orjinal rulo örneğinin benzer mikroyapı özellikleri gösterdiği.
- Seramik köpük filtre üzerine yapılmış bir çalışma ise şu şekildedir;

Fatih Çalışkan, Fehmi Yılmaz ve Zafer Tatlı tarafından gerçekleştirilmiş “Silisyum Karbür Esaslı Seramik Köpük Filtre Üretimi” isimli çalışmada poliüretan köpük (PUF) kullanılarak Şekil 2.2’de akım şeması verilen replikasyon yöntemiyle silisyum karbür esaslı seramik filtre üretimi amaçlanmıştır.



Şekil 2.2 Replikasyon prosesi akım şeması.

Farklı toz boyutlarında SiC içeren seramik çamurun reolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla bentonit, bağlayıcılık ve köpük formu destekleyici olarak PMMA, FDL-L5 ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan prekürsörler; 1200-1400°C arasında sinterlenmiş ve optimum sinterleme sıcaklığı olarak 1350°C olduğu gözlenmiştir.

Sinterleme numulerinin karakterizasyonunda Makro Stereo Mikroskop ve Optik Mikroskopla incelemeler yapılmıştır. Sinterleme sonrası numunelerde oluşan optimum gözenek yapısı Makro Stereo Mikroskop yardımıyla incelenerek 460-951 µm arasında olduğu görülmüş. Ağsı yapı ayrıca Otik Mikroskop ile incelenerek gözenek duvar kalınlığı optimum boyutunun 200-250 µm olduğu ölçülmüştür.

Çalışma neticesinde bentonitin filtre üretiminde kullanılabilir bir bağlayıcı olduğu görülmüş, ilave edilen FDL-L5' in PMMA' ya göre daha iyi köpük form yapıcı olduğu belirlenmiştir.

2.2 CA Çimentosu Hakkında Genel Bilgi

Yüksek alüminalı çimentolar, Portland çimentosunun sülfat etkileri sonucunda bozularak ayrışması sorununu ortadan kaldırmak, zayıf asitlere karşı dayanıklı çimento ve beton üretmek amacıyla ilk olarak Fransa'da üretilmiştir (Kavas 2003). Bu çimentolar boksit veya diğer alüminyum ve demir oksit kaynakları ile birlikte az miktarda silis ve yoğunlukla kalsiyum içeren klinkere % 20 alümina ile % 20 kireç eklenmesi ve sonrasında ısıtma işlemi uygulanması ile üretilir.

Yüksek alüminalı refrakter çimentolar olarak da adlandırılan bu çimentolar 1970'li yılların başlarında hızlı bir şekilde ilgi toplamış ve yaygınlaşmıştır (Kavas 2003). Özellikle çelik devrimi ile birlikte refrakter çimentolara duyulan ilgi ve ihtiyaç artmış bunun sonucunda üretim teknolojisinde hızlı bir gelişme yaşanmıştır. Bu gelişme ile daha saf ve % 80 alümina içerikli çimento üretimi gerçekleştirilmiştir. Alüminalı çimentolar ilk geliştirildikleri dönemlerde basit bir çimento karışımı iken günümüze gelindikçe teknolojinin ve ihtiyaçların da çeşitlilik ve artış kazanmasıyla birlikte geliştirilerek ve çeşitli katkılar eklenerek karmaşık bir hal almıştır. Bu gelişme süreci

çeşitli dolgu maddeleri, agregalar ve diğer katkı maddelerinin bünyesine dahil edilmesi ile oluşmuştur.

Ayrıca refrakter çimentolar, hangi tip çimento olursa olsun kolay karıştırılabilme, minimum su ihtiyacı, çalışılabilirlik ve hızlı sertleşme özelliklerine sahip olmalıdır. Bu çimentolar şekillendirildikten sonra yüksek mekanik direnç, aşınma direnci, korozyona karşı direnç ve genleşme direnci gibi temel özellikleri de sunmalıdır.

2.2.1 CA Çimentosu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

CA çimento üretimi, döner fırınlarda boksit cevherinin yüksek sıcaklık uygulanarak fırında kalsine edilmesiyle elde edilen alümina ve bununla birlikte yüksek saflığa sahip kireçtaşıdan oluşan hammadde karışımının birlikte sinterlenmesi sonucunda gerçekleştirilir.

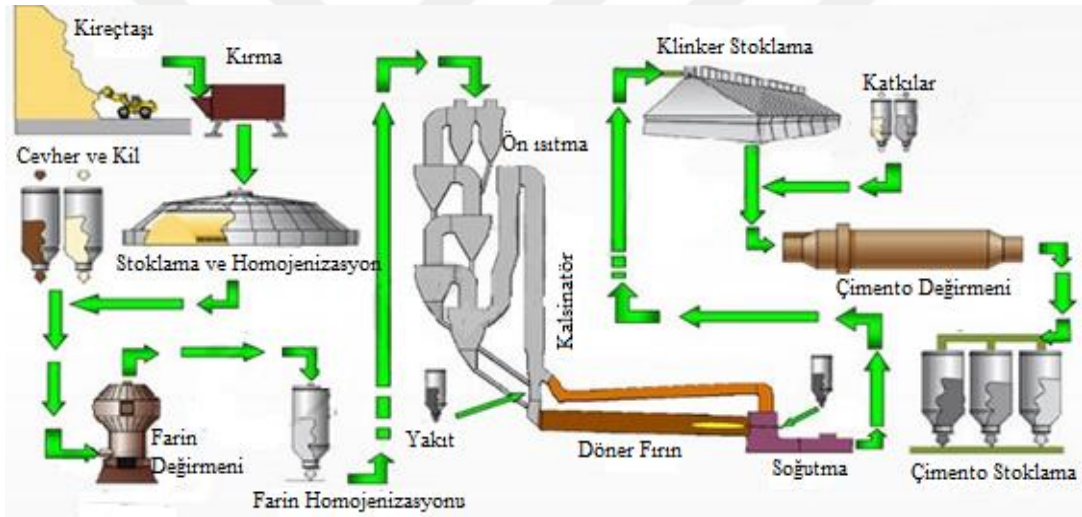
Bu üretim esnasında elde edilecek son ürün kalitesi hammaddelerin içerdiği demir yüzdesine bağlıdır. Demir içeriği yüksek hammaddeler kullanılarak yapılacak üretim sonucu elde edilecek CA çimentosu, düşük kalite olarak nitelendirilen % 40 alümina içerikli CA çimentosu olacaktır. Ayrıca yüksek kalitede CA çimento klinkeri üretimi için, % 2' den fazla silika olması durumunda Gehlenit (C_2AS) minerali oluşmakta ve CA çimento klinkerinin refrakterlik özellikleri ile basma dayanımı özellikleri azalmaktadır (Kavas 2003). Bu nedenle hammadde olarak kullanılacak boksit cevherinden silis miktarının minimum düzeyde olması gerekmektedir. Benzer şekilde kireç taşında düşük miktarlarda demir ve silika içerikli olması çimento kalitesi açısından büyük öneme sahiptir. Bununla beraber diğer oksitler açısından da oldukça temiz olmalıdır.

2.2.2 CA Çimentolarının Üretimi

CA çimentosu üretimi normal Portland çimentosu üretiminden çok farklı bir proses olmamakla birlikte, farkı yaratan kullanılan hammaddelerdir. Üretilen CA çimentosu klinkeri istenen kaliteye bağlı olarak seçilen ve üretimde kullanılan hammaddeler ile ısıtıl

2.2.2.2 Sinterleme Yöntemi

Bu yöntemde füzyon yönteminden farklı olarak kullanılan hammaddeler alumina ve kireçtir. Bu hammaddeler istenen kalite sınıfına göre uygun miktarlarda homojen bir şekilde karıştırılarak bilyeli değirmen aracılığıyla gerekli inceliğe kadar öğütülür. Ardından öğütülen bu karışım bir ara stok olarak depolanır. Depolanan malzeme karışımının depodan döner fırına malzeme beslemesi yapılması ile sürekli bir üretim başlatılmış olur. Döner fırında sinterlenen malzemelerin soğutma ızgaralarına alınması ile malzemelerin bu bölümde bir süre soğumaları sağlanır. Soğuyan klinker çeşitli katkıları ile birlikte çimento değirmeninde öğütüldükten sonra üretim tamamlanmış olur. Şekil 2.4’ te sinterleme yöntemi ile CA çimentosu üretim şeması verilmiştir.



Şekil 2.4 Sinterleme yöntemi ile CA çimentosu üretimi (İnt. Kyn. 9).

2.2.3 CA Çimentolarında Prizlenme

CA çimentoları prizlenme açısından değerlendirildiğinde ortaya çıkan tablo bu çimento tipinin diğer çimento tiplerine kıyasla çok daha hızlı priz aldığı ve çabuk mukavemet aldığı görülür. CA çimentosu klinkerinde bulunan çimento fazlarının miktarlarının çimentonun prizlenme süresi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

CA çimentosu içerisindeki fazlar miktar olarak büyükten küçüğe sırasıyla C_3A , $C_{12}A_7$, CA , CA_2 , CA_6 şeklindedir (Kavas 2003). Bu fazlar arasında prizlenmeye etkisi

olanlardan $C_{12}A_7$ hızlı çökelme, CA orta hızla çökelme ve CA_2 yavaş çökelmeye etkilidir. Bir çimentonun prizlenme süresini tamamlaması akıcılığını kaybetmesi, katılaşması, bünyesindeki su ve çimentonun tepkimelerinin tamamlanması ve sıralanan bu adımlar neticesinde dayanım kazanmaya başlaması anlamına gelmektedir.

2.2.4 CA Çimentolarının Hidratasyonu

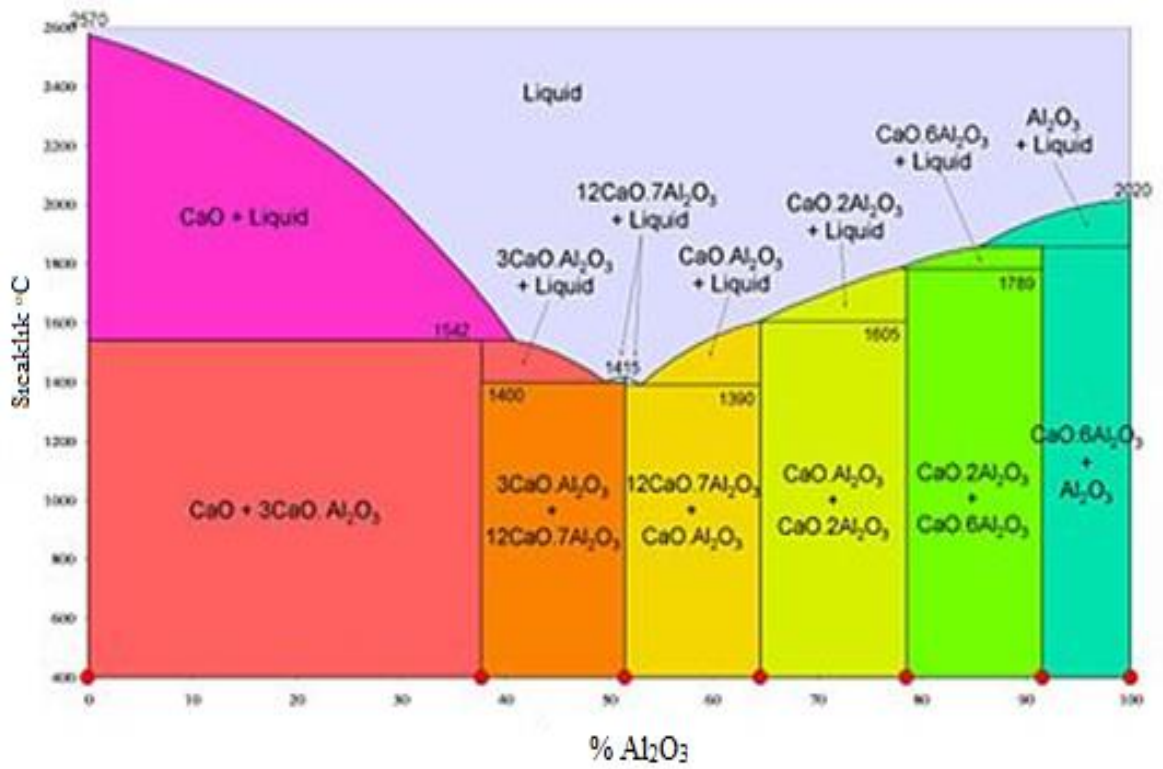
CA çimentolarında $CaO-Al_2O_3$ dengesine bağlı olarak belirli ana fazlar görülmektedir. Bu fazlar CA, CA_2 ve $C_{12}A_7$ şeklinde sıralanabilir. CA çimentosu fazlarının hidratasyon ürünleri olarak ortaya çıkan ve oran olarak daha yüksek miktarlarda bulunan ürünler CAH_{10} , C_2AH_{10} , C_2AH_8 , C_3AH_6 ve AH_3 şeklinde sıralanabilir (Kavas 2003).

Kalsiyum hidrat fazlarının tepkime esnasındaki aktiflikleri kireç içeriği ile doğru orantılıdır. CA çimentolarının ana fazı olan CA fazı dayanımın geliştirilmesi konusunda büyük öneme sahiptir. Bu sebeple öncelikli istenilen fazdır.

CA çimentolarına sertlik kazandıran ve bu sayede basma dayanımının artmasını sağlayan ana fazlar olan CAH_{10} ve C_2AH_8 fazlarının C_3AH_6 fazına dönüşümü sonucu yapıdaki porozite artış gösterir ve bünyedeki suyun ortaya çıkmasına sebep olur (Ludwig *et al.* 2017). Böylelikle basma dayanımı özelliğinde bir kötüleşme meydana gelir. Basma dayanımında meydana gelen bu kötüleşme, yapıdaki porozitenin azalarak daha yoğun bir yapı kazanmasını sağlayarak giderilebilir. CA çimentosundan oluşan bir yapının ideal yoğunluk ve dayanıma sahip olması için su/çimento oranının 0,40 ya da daha aşağısında olması gerekmektedir (Adams and Ideker 2017).

2.2.5 CA Çimentosu Klinker Mineralleri ve Özellikleri

Üretimde yer alan üretim aşamaları olan, sinterleme ve soğutma aşamaları neticesinde klinker oluşur. Oluşan bu klinker içerisinde CA çimentosu özelliklerine direkt olarak etki eden ana fazlar CA çimentosunu oluşturmaktadır. Bu fazlar major ve minor fazlar olarak ayrılmaktadır. Bu fazlar ve soğuma eğrileri Şekil 2.5' te verilen faz diyagramında görülmektedir.



Şekil 2.5 CaO-Al₂O₃ ikili sistem faz Diyagramı (İnt. Kyn. 8).

Majör fazlar;

CA (Monocalcium Aluminate)

C₁₂A₇ (Mayenite)

C₂AS (Gehlenite)

C₄AF (Brownmillerite) şeklinde sıralanabilir.

Minör fazlar;

C₂S (Larnite)

CT (Calcium Titanate)

C₃FT (Tricalcium Titanium Diiron (III) Oxide) şeklinde sıralanabilir (İnt. Kyn. 1). Bu fazlar dışında bazı farklı fazlar da yer almaktadır.

2.2.5.1 CA (Monocalcium Aluminate)

Monocalcium Alüminate fazı CA çimentosu fazları arasında en önemli fazdır. Genel olarak klinkerin % 50-55' lik kısmını bu faz oluşturur. CA fazı hidratasyona sağladığı katkı sebebi ile erken dayanımın sağlanmasında yani 24 saatlik dayanımın

sağlanmasında rol oynar (İnt. Kyn. 3). Ayrıca çimentonun yüksek mekanik dayanıma sahip olmasında da önemli katkısı bulunmaktadır.

2.2.5.2 $C_{12}A_7$ (Mayanite)

Bu bileşik, içerdiği OH iyonunun klorid, florid, sülfat ya da diğer oksitlerle yer değiştirmesi sonucu $C_{11}A_7CA(OH)_2$ olarak bulunduğu yapıdan $C_{12}A_7$ haline dönüşür (Kavas 2003).

Bu faz CA çimento bünyesinde oldukça yaygın olarak oluşur. Priz süresinde etkin rol oynamaktadır. Çimento yapısındaki miktarının belirli bir aşamayı geçmesi halinde kontrolsüz genişlemeye sebep olur ve dayanımın düşüşüne neden olur. Su ile çok istekli ve hızlı reaksiyona girer.

2.2.5.3 CA_2 (Calcium dialuminate)

Zengin alumina içerikli CA çimentolarında bu fazın hidratasyon kabiliyeti oldukça düşüktür. Fakat hidratasyon sıcaklığının artmasıyla bu fazın hidratasyon kabiliyetinde de artış görülebilir (Kavas 2003).

2.2.5.4 CA_6 (Hibonite)

Bu mineral yüksek alumina içerikli çimento tiplerinde doğal hibonite minerali olarak oluşur (Kavas 2003). Düşük sıcaklıklarda su ile reaksiyonu yoktur.

2.2.5.5 C_2AS (Gehlenite)

Yüksek alüminalı çimentolar içerisinde SiO_2 içeren oldukça yaygın fakat yüzde miktar olarak düşük miktarlarda oluşan bir mineraldir.

Bu fazın oluşumu hammadde bünyesinde bulunan SiO_2 oranının % 2' yi geçmesi sonucunda oluşur (Kavas 2003). Çimentonun hidratasyonuna başlangıç aşamasında

katkı sağlamamaktadır. İlerleyen aşamalarda hidratasyona etkisi olabilmektedir. Priz süresi yavaştır ve yalnızca belirli bir periyotta gerilme üzerinde rol oynar. Aşırı miktarlarda olması halinde erken dayanımda olumsuz etkileri olmaktadır (İnt. Kyn. 3).

2.2.5.6 C₄AF (Tetracalcium Alumina Ferrite)

Bu faz katı solüsyon oluşumunun ortalarında C₄AF (Brownmillerite) doğal bir mineral olarak şekillenir (Kavas 2003). Fırın ortamının yükseltgen olması durumunda ortaya çıkan ve Fe⁺³ içeren fazdır (İnt. Kyn. 3).

Hammaddeden sağlanan Al iyonu ile oluşumu arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. CA çimentosu klinkeri içerisindeki ikinci en önemli fazdır. Buna rağmen prizlenme ve gerilme dayanımı üzerinde etkisi yoktur.

2.2.5.7 C₂S (Larnite)

Hammaddelerden gelen SiO₂ ile oluşan bir fazdır (İnt. Kyn. 3).

2.2.5.8 C₃FT (Tricalcium Titanium Diiron (III) Oxide)

Hammadelerde TiO₂ bulunması halinde bu TiO₂ varlığı sayesinde oluşabilen bir fazdır (İnt Kyn. 3).

2.2.6 CA Çimentosuna Uygulanan Test ve Analizler

CA çimentolarının üretim aşamalarında yer alan ara ürünlerin ve üretim sonunda elde edilen son ürünlerin belirli kalite parametrelerini sağlamaları gerekmektedir. Bu ürünlerin bahsedilen kalite parametrelerine uygunluklarının incelenmesi amacı ile üretim proseslerinde bir grup test ve analizler uygulanır.

Ara ürün ve son ürünlere uygulanan bu test ve analizler şu şekilde sıralanabilir; kimyasal kompozisyonun öğrenilmesi açısından kimyasal analizler, katılma süresinin

belirlenmesi için priz başlangıç ve sonunun incelenmesi, ısıtıl işlem sırasında oluşan reaksiyonların cinsini ve ağırlık değişimini görmek açısından ekzotermik reaksiyon deneyi, harcın akıcılığının belirlenmesi için akıcılık deneyi ve dayanım özelliklerinin belirlenmesi için mukavemet testleridir (Evcin *et al.* 2003).

2.2.6.1 Kimyasal Analiz

Bu deney CA çimentosu bünyesinde yer alan CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, SiO₂ ve MgO maddelerinin ve oranlarının belirlenmesi için uygulanır. Bu analizin uygulanması şu şekildedir, ilk olarak çimento numunesi eritilir, elde edilen bu eriyik HCl ile çözülür. Eriyiğin bir kısmı Fe₂O₃ ve SiO₂' nin belirlenmesinde kullanılırken geriye kalan eriyiğe ise lantan-klorid solüsyonu eklenir, elde edilen bu son solüsyon da CaO, Al₂O₃, Na₂O ve MgO' in belirlenmesinde kullanılır (Kavas 2003).

2.2.6.2 Ekzotermik Reaksiyon Deneyi

Bu deney çimentonun hidratasyon sırasında ekzotermik ısı gelişimini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Deneyin yapılışı için 1,5 kg harç kullanılır. Bu harcın ağırlıkça % 20' si CA çimentosu, % 80' i ise tabular alüminadır (Kavas 2003).

Harç iyi kalitede bir analiz gerçekleştirebilmek amacıyla su/çimento oranı 0,5 olacak şekilde hazırlanır. Sonrasında hazırlanan harç vibrasyon uygulanarak deney cihazına dökülür ve ölçüm bu şekilde sağlanır. Hidratasyon tamamlanana kadar ölçüme devam edilir. Böylelikle çimentonun ekzotermik ısı değişimi belirlenmiş olur.

2.2.6.3 Priz Başlangıç ve Sonunun Belirlenmesi (Vicat Deneyi)

Bu deney vicat aleti kullanılarak ve çimentonun uygun bir kalıba dökülmesi ile gerçekleştirilir. Vicat iğnesinin çimento harcının priz başlangıcı ve priz sonu durumlarında harca batırılması ve iğnenin batma derinliğinin ölçülmesi ile uygulanır. Elde edilen derinlik değerleri ile çimento harcının priz özellikleri belirlenmiş olur. Vicat iğnesi kısaltılmış koni şeklindedir (Kavas 2003).

2.2.6.4 Akıcılık Deneyi

Bu deneyde amaç hazırlanan harcın akıcılık özelliklerini belirlemektir. İstenilen standartlarda hazırlanan harç karıştırıcıda 5 dakika karıştırılır. Karışım vicat cihazının haznesine yerleştirilir. Karışım hazırlandıktan sonra vicat cihazının haznesinden titreşimli masa üzerine dökülür. Titreşimli masa üzerinde bulunan harç belirli aralıklarla sarsıntıya maruz bırakılır. Daha sonra titreşimli plakada yayılan harcın oluşturduğu dairenin çapı ölçülerek harcın akışkanlığı hakkında bilgi sağlanmış olur (Kavas 2003).

2.2.6.5 Mukavemet Testleri

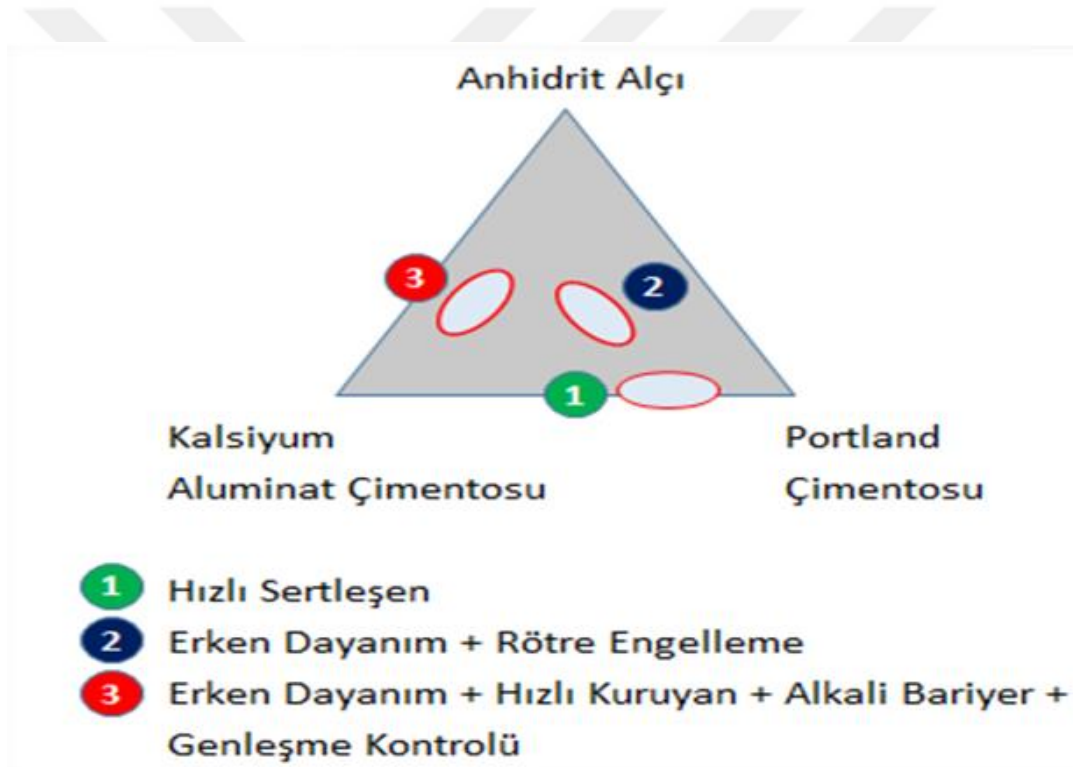
Bu test hazırlanan harcın 40 mm × 40 mm × 160 mm boyutlarındaki kalıba dökülmesi ile elde edilen çubuk numunelerin basma ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla uygulanır (Kavas 2003).

Deney uygulamasında hazırlanan harcın, üç aşamada kalıplara dökümü sağlanır. İlk aşamada harcın üçte biri kalıba dökülerek belirli bir süre titreşim verilmesi ile bünyesinde var olan gözenek minimuma indirilir. Bu işlem aynı şekilde iki kez daha gerçekleştirilir ve sonuçta harcın maksimum yoğunlukla ve minimum miktarda gözenek ihtiva edecek şekilde kalıplara dökülmesi sağlanmış olur. CA çimentosu kullanılarak elde edilen bu çubuk numuneleri 24 saat süreyle kürleme dolabında veya uygun bir atmosfer sağlanarak su ile çimento arasında gerçekleşecek hidrasyonun en uygun şekilde gerçekleşmesi ve böylece çimentonun en iyi şekilde prizlenmesi ve dayanım kazanması sağlanır. Elde edilen değerler standartlar ile karşılaştırılarak üretilen CA çimentosunun kalitesi belirlenmiş olur.

2.2.7 CA Çimentosu Kullanım Alanları

CA çimentoları özellikle sülfat içeren ortam koşullarında sülfata karşı direnci sayesinde bozulmadan kalabilmesi nedeniyle geliştirilen bir çimento tipidir. Portland çimentosuna kıyaslandığında daha pahalıdır. Bu nedenle portland çimentosunun gerekli performansı sağlayabildiği kullanım alanlarında tercih edilmemektedir. Sahip olduğu refrakterlik,

yüksek mekanik dayanım gibi özellikler nedeniyle refrakter sanayinde tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra hızlı prizlenme ve erken dayanım kazanma özellikleri nedeniyle müze, hastane, okul ve baraj gibi özel yapılarda kullanım alanı bulmaktadır (Kavas 2003). Ayrıca kimyasal aşınma direncinin yüksek oluşu sebebi ile asit korozyonunun yoğun olduğu kanalizasyon sistemlerinde de kullanılmaktadır. CA çimentolarının bu kadar farklı kullanım özelliklerine sahip olmasının sebeplerinden biri Şekil 2.6’ da görülen üçlü sistem diyagramında görülebildiği gibi pek çok farklı özelliği bir arada sunabilmesidir. Bu diyagramda üçgen içerisinde yer alan noktalar hangi köşeye daha yakınsa kompozisyon ve karakteristik olarak o köşede yer alan malzemeyi işaret etmektedir (İnt. Kyn. 2).



Şekil 2.6 CA Çimento üçlü sistem diyagramı (İnt. Kyn. 2).

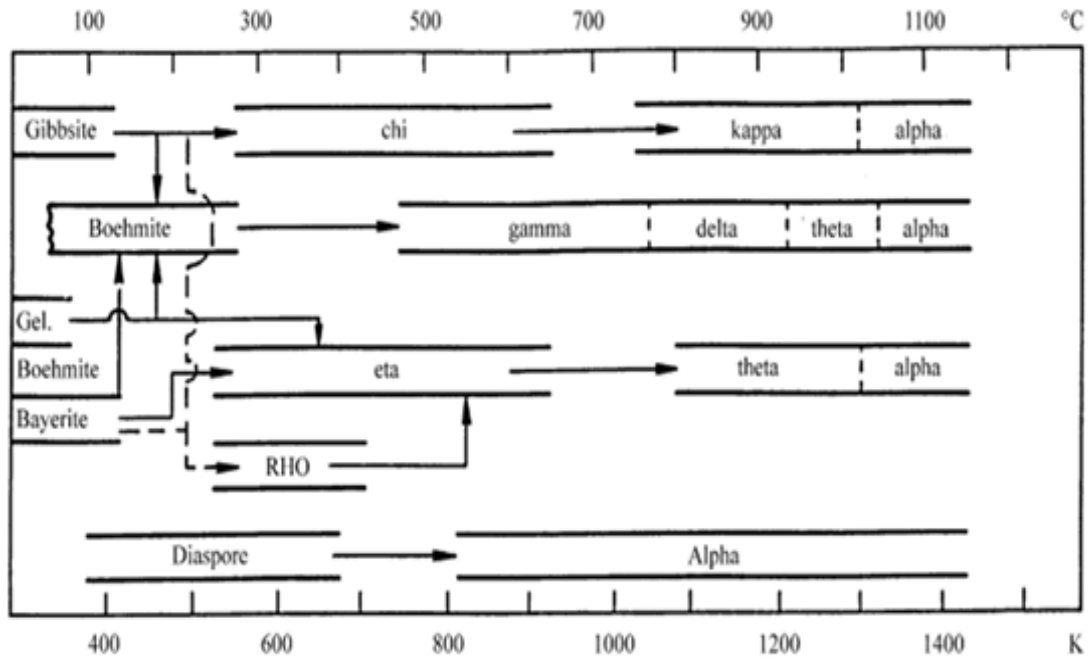
2.3 Alümina (Al_2O_3)

Günümüzde dünyanın en çok kullanım alanına sahip olan ileri teknoloji seramiklerinden biri ısı, optik, mekanik, kimyasal ve nükleer özelliklerinden dolayı alüminadır (Emrullahoğlu *et al.* 2000). Alümina kimyasalları; alüminyum hidroksit, kalsine alümina ve aktif alümina olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Alüminyum hidroksit, çoğunlukla Bayer prosesi ile elde edilen bir ürün olup, farklı özellikte ürün elde edebilmek için çeşitli yöntemler de geliştirilmiştir. Aktif alümina, alüminyum hidroksitlerin 1000°C'nin altındaki aktive etme adı verilen ısı işlemi ile oluşturulmaktadır (İnt. Kyn. 5). Kalsine alüminalar ise soda içeriklerine ve toplam empürilerine göre üç ana gruba ayrılırlar. Normal sodalı ve düşük sodalı (termal reaktif) kalsine alüminalar Bayer Prosesi ile üretilirken, yüksek saflığa sahip alüminalar ise alüminyum esaslı tuzların parçalanmasıyla elde edilirler (Biol ve Sarıdede 2006). Kalsinasyon normal olarak döner fırınlarda veya sabit kalsine edicilerde yapılır.

2.3.1 Alüminanın Yapısal ve Mineralojik Özellikleri

Alüminyum hidroksitlerin ısı işlemi sırasında oluşan fazların genel adı "alümina" olup, 1000°C'nin altındakilere "aktifleştirilmiş alümina" denir. 1150°C'nin üzerindeki ısı işlemlerinde ise kalsine edilmiş α -Al₂O₃ (korundum) oluşmaktadır (Biol ve Sarıdede). Bu iki sıcaklık arasındaki fazların adı "kalsine edilmiş β -Al₂O₃" olarak kabul edilmiştir. Kalsine edilmiş α - alüminaya uygulanan çeşitli işlemleri sonucunda kesme (tabular) alümina ve erimiş (fused) alümina elde edilebilmektedir. Şekil 2.7' de alüminyum hidroksitlerin termal ve hidrotermal değişimleri verilmiştir.



Şekil 2.7 Alüminyum hidroksitlerin termal ve hidrotermal değişimleri (Biol ve Sarıdede 2006).

2.3.2 Alümina Üretim Yöntemleri

Alümina, alüminyum üretiminde başlangıç hammaddesi olarak kullanılır. Alümina üretiminde, boksit ana malzeme olarak kullanılan cevherdir. Boksit, diyaspor, hidrarijit, böhmite ve alümojel minerallerinin bir karışımıdır. Ayrıca boksit silis, demir oksitler ve titanyum dioksit ile birlikte bulunur (Manivasakan *et al.* 2011). Günümüzde asidik, elektrotermik ve bazik yöntemlerle alümina üretimi yapılmaktadır. Asidik yöntemler ile elde edilen alümina saf değildir. Ayrıca, çok pahalı cihazlar gerektiğinden ve kullanılan asidin geri kazanımı çok zor olduğundan ekonomik değildir (İnt. Kyn. 5). Elektrotermik yöntemler ile üretimde çok fazla elektrik enerjisi tüketimi söz konusudur ve alüminanın yeterli saflıkta olmaması nedeniyle henüz uygulama alanı yoktur (İnt. Kyn. 5). Bazik yöntemler ile üretim günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde boksit, ısı ve basınç altında NaOH veya Na_2CO_3 ile reaksiyona sokulur ve sodyum alüminat çözeltisi elde edilir (Palacı 2001). Cevherdeki demir, titanyum ve kalsiyum oksitler bazik çözelti ile reaksiyona girmezler ve kalıntı olarak kalırlar. Silika ise kısmen reaksiyona girerek sodyum alümina silikat bileşiği oluşturur (Birold ve Sarıdede). Dolayısıyla, cevherin silika içeriğine bağlı olarak bir miktar alkali ve alümina kaybı söz konusudur. Bu nedenle bazik yöntemlerde cevherin silis modülü yani $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ değeri çok önemlidir (Birold ve Sarıdede).

2.3.3 Alümina Mineralinin Özellikleri

Alümina mineralinin piyasada saflık derecesine bağlı olarak beyaz, pembe ve kahverengi alümina minerali olarak ayrılmaktadır. Aşağıda verilen özellikler genel olarak alümina mineraline ait genel özellikleri ifade etmektedir.

Moleküler formülü: Al_2O_3

Molar kütle: 101,96 g/mol

Yoğunluk: 3,95 g/cm³

Renk: Beyaz, pembe, kahverengi

Mohs Sertliği: 8,8

Termal İletkenliği: 30 W/mK [3]

Kırılma İndisleri: $n_\omega = 1,768-1,772$, $n_\epsilon = 1,760 - 1,763$

Erime noktası: 2072°C

Kaynama noktası: 2977°C

Bu çalışma kapsamında agrega olarak kahverengi alümina minerali kullanılmıştır. Alüminaya ait verilen yukarıdaki genel özelliklerinin yanı sıra kahverengi alüminaya özgü bazı özellikler de şu şekilde sıralanabilir.

Al₂O₃: % 94,5-95,5

SiO₂: % 0,50-0,80

Fe₂O₃:% 0,30

TiO₂:% 2,60-3,20

CaO+MgO: % 0,30

Sulu ortamda pH: 6,93

Alçıtaşı içeriği: Yok

Rutubet < % 0,50

Klor İçeriği: < 50 ppm

Eriyebilen tuz içeriği: < 100 ppm

Karbonat içeriği: Yok

Metal içeriği serbest Fe, Cu ve diğer metaller eser oranda bulunmaktadır (İnt. Kyn. 4).

2.3.4 Alüminanın Kristal Bilgileri

Alüminyum metalinin oksitlenmesi ile oluşan alümina, çeşitli kristal şekillerde bulunur. Doğada saf halde bulunan alümina α ve γ olarak iki kristal forma sahiptir. Alüminyum hidroksitin 500°C' ye kadar kalsine edilmesi ile γ -alümina, 1000°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile α alümina oluşur. Yüksek sıcaklıklarda kalsine edilen çeşitli safsızlıklar ihtiva eden alüminanın kristal yapısı ise β formundadır (İnt. Kyn. 5).

2.3.5 Alüminanın Kullanım Alanları

İleri teknoloji seramikleri içinde en çok kullanılan hammadde alüminadır. Mukavemet ve ergime sıcaklığının yüksek, elektrik iletkenliğinin düşük oluşu, alüminanın; refrakterlerde, elektrik yalıtkanlarında, kesici uçlarda, ısı motorlarında, aşınmaya maruz kalan parçalarda ve kompozit malzemelerde çok geniş kullanım alanı bulmasını sağlar. Alümina özellikle yüksek aşınma direnci, düşük yoğunluğu ve yüksek sıcaklık dayanımı

ile geniş kullanım alanına sahiptir. Ancak 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda aşınma hızının yükseldiği bilinmektedir. Günümüzde alümina kimyasalları dünyanın birçok bilimsel, teknolojik ve endüstriyel uygulamalarında araştırılmakta ve kullanımı günden güne artmaktadır.

Alüminanın yüksek sertliği ve mekanik dayanımı çalışma esasında aşınmaya maruz kalan makine elemanları ve mühendislik malzemeleri şeklinde olan kullanımını ön plana çıkartmıştır.

Alümina başlıca; makine ve tezgahlarda aşınmaya dayanıklı malzeme olarak, kimya endüstrisinde korozyona dayanıklı malzeme olarak, elektronik ve elektro-teknikte izolasyon malzemesi olarak, ısıtma sistemlerinde yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır (Palacı 2001). Ayrıca optik ve tıp tekniklerinde özel amaçlı kullanım alanları mevcuttur. Alümina kullanımının endüstrideki başlıca alanları Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Alüminanın endüstride başlıca kullanım alanları (Palacı 2001).

Alümina (%)	Uygulama Alanı
85	Elektrik ve mekanik uygulamalarının çoğunda; Yalıtkan, öğütme, nozül, tebeşir pompa daldırmalarında (piston)
90	Daha çok mekanik kullanımlarda
94	Entegre devre, transistör altlık
96	Özellikli elektronik uygulamalarında
98-99,5	İnce film altlık, bilgisayar bant rehberi
99,8	Korozyon ortamlarında kullanılan fırının tüpü, laboratuvar gereçleri
99,9	Kesme uçları, nükleer seramik ve diğer gereksinimler.

Tabloda verilen bu kullanım alanları dışında aktif alümina olarak da özel kullanım alanları bulunmaktadır. Bu kullanım alanları şu şekildedir;

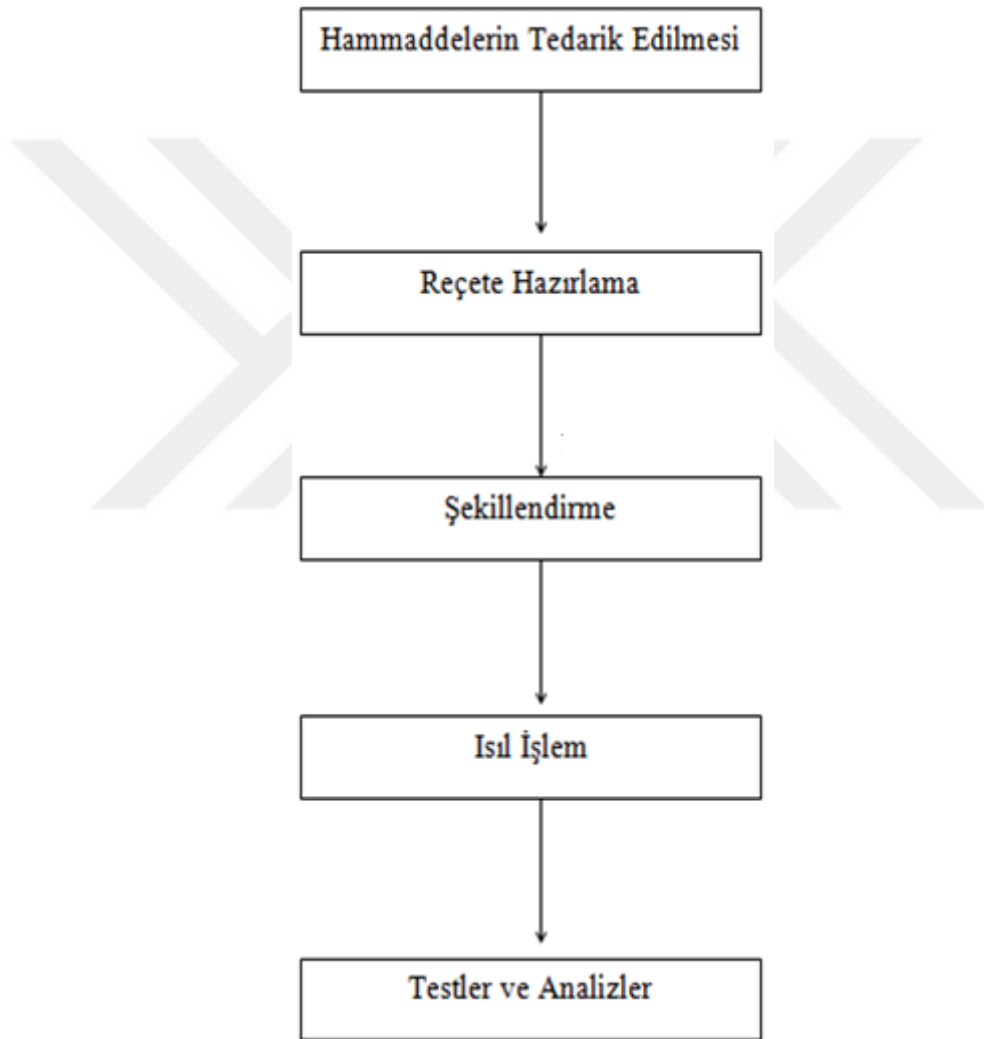
- **Katalizör uygulamaları:** Aktif alüminanın absorban olarak, polietilen ve hidrojen peroksit üretiminde katalizörlerin adsorbsiyonunu kapsayan uygulamalarda geniş bir kullanıma sahiptir (İnt. Kyn. 5).

- **Kurutucu olarak kullanımı:** Absorbsiyon prosesi geçerlidir. Hava içerisinde yer alan nemin alüminaya yapışması ile gerçekleşir. Bu su molekülleri alüminyum bünyesinde hapsedilerek havanın filtreden geçerken kurumasını sağlar (İnt. Kyn. 5).
- **Florür absorbanı olarak kullanımı:** Aktif alümina içme suyunda yer alan florürün giderilmesinde de kullanım yeri bulmuştur. Bu kullanımda filtreler suda bulunan florür seviyesini 5 ppm mertebesinde 1 ppm mertebesine hatta daha fazla düşürebilmektedir. Sudan giderilecek florür miktarı suyun filtre ile temas etme süresine bağlıdır. Aktif alümina florür filtresi olarak kullanıldığında sodyum hidroksit, sülfirik asit ile rejenere edilebilmektedir (Hasanova *et al.* 1995).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deneysel Çalışma Akım Şeması

Bu çalışma kapsamında üretilen ürünlere ait üretim şeması ve bu esnada gerek duyulan uygulamalı deneysel çalışmalar Şekil 3.1’de verilen akım şemasına uyularak ve her adım kendi içerisinde ayrıntılandırılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Deneysel çalışma akım şeması.

Çalışmalar Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve Seramik Üretim Laboratuvarında, yer alan üretim ve analiz proseslerinde kullanılan teknik ekipmanlar aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2 Hammaddeler

Seramik rulo üretimi için ihtiyaç duyulan CA-80 tipi çimento Secar Plenium ve agrega olarak kullanılan toz, 0-1 mm ve 1-3 mm boyutlarındaki BFA (Brown Fused Alumina) tozları EGT Refrakter Gereçler Endüstri ve Ticaret Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan tozların kimyasal analizleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Secar Plenium kimyasal analizi.

Bileşen	% Miktar
Al ₂ O ₃	79,00
SiO ₂	0,38
CaO	17,10
Fe ₂ O ₃	0,28
Na ₂ O	0,55
K ₂ O	0,55

Çizelge 3.2 BFA (Kahverengi Ergimiş Alümina) kimyasal analizi.

Bileşen	% Miktar
Al ₂ O ₃	95,10
SiO ₂	1,50
CaO	0,60
Fe ₂ O ₃	0,30
TiO ₂	3,00

Seramik köpük filtre üretiminde, seramik rulo üretiminde de kullanılan CA-80 tipi çimento kullanılmıştır. Filtrelerin şekillendirilmesi için ihtiyaç duyulan poliüretan süngerler 10 ppi, 20 ppi ve 30 ppi yoğunluklarında olmak üzere İstanbul Arslan Sünger firmasından temin edilmiştir.

3.3 Reçete Hazırlama

Reçete hazırlanması esnasında hammadde oranları elde edilmek istenen ürünlerde yeterli basma mukavemeti elde edilmesi, şekillendirme olanağı sağlayabilmesi, karışımın çalışılabilir olması gibi kriterler dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu anlamda seramik rulo üretiminde su/çimento oranı 0,40 olacak şekilde ve Çizelge 3.3’ te

belirtilen oranları ile RD 1 reçetesi hazırlanmıştır. Bu karışımdaki su/çimento oranı literatürden bilinen CA çimentosunun basma dayanımında önemli katkısı olan CAH_{10} ve C_2AH_8 fazlarının C_3AH_6 fazına dönüşümü sırasında porozitenin artarak su açığa çıkması ve basma dayanımını kötüleştirmesini engellemek amacıyla 0,40 şeklinde belirlenmiştir. Böylece yapıdaki porozite azaltılarak daha yoğun bir yapı kazanılmış ve basma dayanımındaki kötüleşme engellenmiştir. Hazırlanan bu reçete ile elde edilen üründe beklenenden fazla sayı ve boyutta gözenekler olması nedeniyle farklı bir reçete belirlenmiştir. Yeni belirlenen reçete gözenekliliğin daha da azaltılması amacıyla hava itici yani gözenek giderici ajanlar da eklenerek oluşturulmuştur. Bu reçete su/çimento oranı yine 0,40 olacak şekilde ve Çizelge 3.3’ te oranları belirtilen RD 2 reçetesi hazırlanmıştır. Hazırlanan reçetelere ait bilgiler Çizelge 3.3’ te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Rulo denemelerine ait reçeteler.

Reçete Adı	Secar Plenium (%)	Toz BFA (%)	0-1 mm BFA (%)	1-3 mm BFA (%)	Mikrosilika (%)	Refrac 100 (%)
RD 1	30	15	35	20	-	-
RD 2	30	45	22,5	-	1,5	1

Seramik köpük filtre üretimi için kullanılan reçeteler sadece su ve CA çimentosu içermektedir. Optimum su/çimento oranı belirlenirken karışımın poliüretan süngerleri kaplaması ve uygun gözenek açıklığına olanak sağlaması dikkate alınmıştır. Bu anlamda 0,24-0,25-0,30-0,35-0,40- 0,45 ve 0,50 su/çimento oranlarına sahip su-çimento karışımları kullanılmıştır. Bu karışımlara ait numune isimleri ve yüzde oranları Çizelge 3.4’ te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Seramik köpük filtre reçeteleri.

Reçete Adı	Su (%)	Çimento (%)
FD 1	19,35	80,64
FD 2	20	80
FD 3	23,08	76,92
FD 4	25,93	74,07
FD 5	28,58	71,42
FD 6	31,04	68,96
FD 7	33,34	66,66

3.4 Şekillendirme

Seramik rulo ürünlerin deney numunelerinin şekillendirme işlemi hazırlanan harcın 35 mm çap ve 60 mm boya sahip silindir kalıplara dökümü ile gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden sonra gözeneklerin giderilmesi amacı ile titreşim uygulanmıştır.

Döküm işlemi tamamlandıktan sonra verimli bir hidratasyon olabilmesi için çimento kütleme dolabında nemli bir ortama alınmış ve 24 saat priz alması sağlanmıştır. Prizlenen numuneler kalıplardan çıkartıldıktan sonra üst ve alt yüzeyleri zımparalanarak düzgün yüzeylerin elde edilmesi sağlanmıştır. Bu ürünler kullanılan reçetenin ismi olan RD 2 olarak adlandırılmıştır.

Sonrasında seramik rulo ürünlerin şekillendirilmesinde aynı reçete ile birinin çapı 45 mm diğerinin çapı 50 mm olan iki adet silindir kalıp iç içe geçirilip yüzeye sabitlenerek 5 mm et kalınlığı olacak şekilde iki kalıbın arasına döküm yapılmıştır.

Yapılarda oluşabilecek gözenekliliğin giderilmesi amacıyla titreşim uygulanmıştır. Kalıp uygun hidratasyon şartlarının sağlanabilmesi için kütleme dolabına yerleştirilmiş ve 48 saat süreyle prizlenmesi sağlanmıştır.

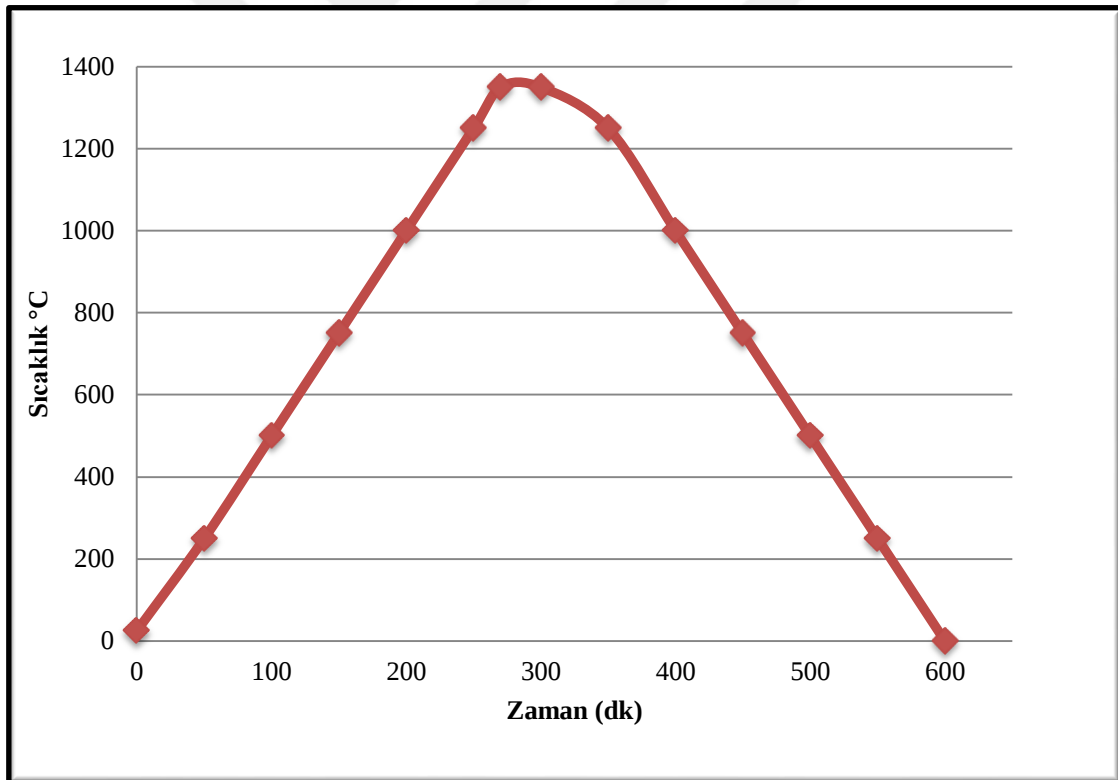
Seramik köpük filtrelerin üretiminde farklı su/çimento oranlarına sahip karışımlar hazırlandıktan sonra 10 ppi ölçekli süngerler hazırlanan bu karışımlara daldırılarak harcın sünger yüzeyini kaplaması sağlanmıştır. Ardından merdane yardımıyla % 80 oranında sıkıştırma sağlanmıştır. Bu sıkıştırma işlemi ile gözenekleri dolduran harçların yapı dışına itilmesi sağlanırken diğer yandan da harcın ağ yapıya daha sıkı tutunması sağlanmıştır.

Filtre numuneleri çevre ile temas etmeyecek şekilde asılarak 24 saat süreyle kurumaları sağlanmıştır. Kuruyan ürünler ikinci bir kat kaplama elde etmek amacı ile tekrar çamura daldırılmış fakat bu kez merdane ile sıkıştırma uygulanmamıştır. Bu ikinci daldırma işleminden sonra ürünler asılarak kurumaları beklenmiştir. Bu prosesteki birinci daldırma işlemi FD 1 kodlu reçete ile ikinci daldırma işlemi ise FD 7 kodlu reçete ile

gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen ürüne KFD kodu verilmiş ve çalışmanın devamında da bu şekilde anılmıştır.

3.5 Isıl İşlem

Seramik rulo numuneleri şekillendirildikten sonra 2, 7 ve 28 gün süreler ile suda bekletilerek kürlenmesi ve dayanım kazanmaları sağlanmıştır. Ürünler gerekli üretim yöntemleriyle son hallerine getirildikten sonra kullanılması amaçlanan fırınlardaki kullanım sıcaklığı 1350°C olduğundan ve bu sıcaklıktaki özelliklerini incelemek amacıyla Şekil 3.2’ de verildiği gibi 5°C/dk ısıtma hızı ile 1350°C’ ye ısıtılmıştır. Bu ürün RD 2 ısıl işlem olarak adlandırılmıştır. Sonrasında fırın kapatılarak soğumaya bırakılmıştır.

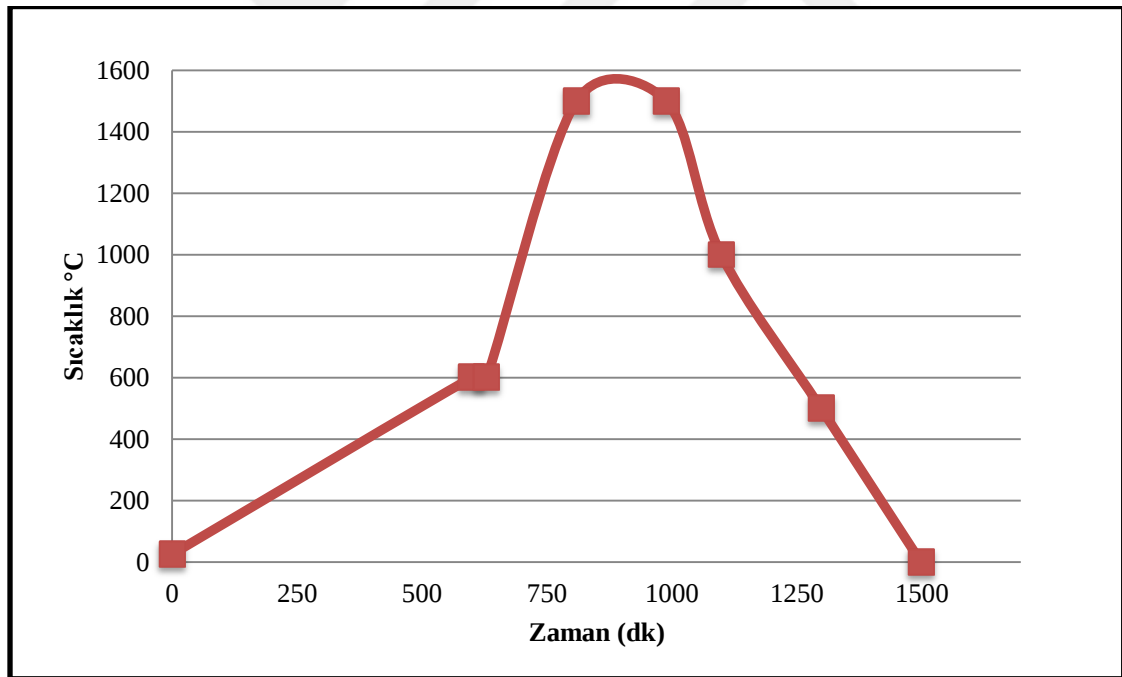


Şekil 3.2 Seramik rulo sıcaklık-zaman grafiği.

Seramik köpük filtre numuneleri hazırlandıktan sonra çeşitli ısıl işlem prosesleri denenmiştir. Bu denemeler poliüretan süngerlerin ve CA-80 çimentosunun DTA-TG analiz sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu denemeler şu şekilde sıralanabilir:

- 2°C/dk ısıtma hızı ile 700°C' ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 1 saat beklenmiştir.
- 2°C/dk ısıtma hızı ile 1100°C' ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 3 saat beklenmiştir.
- 2°C/dk ısıtma hızı ile 1300°C' ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 3 saat beklenmiştir.
- 2°C/dk ısıtma hızı ile 1500°C' ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 3 saat beklenmiştir.
- 1°C/dk ısıtma hızı ile 600°C' ye kadar ve ardından 5°C/dk ısıtma hızı ile 1500°C' ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 3 saat beklenmiştir.

Son maddede ve Şekil 3.3' te verilen sıcaklık prosesi en iyi sonucu vermiştir. Isıl işlemin tamamlanması ile fırın kapatılarak soğuma sağlanmıştır. Bununla beraber denenen tüm ısıtma işlemleri sonrasında seramik köpük filtre numunelerinin 1500°C sıcaklığa ısıtılmaları sonucu dayanım kazandığı diğer sıcaklık değerlerinde dayanım kazanmadıkları görülmüştür.



Şekil 3.3 Seramik köpük filtre ısıtma işlemi grafiği.

4. BULGULAR

4.1 Uygulanan Test ve Analizler

Seramik rulo numunelerinin mekanik dayanım değerlerini test etmek amacıyla mukavemet testi, ısıtılma işlem süreçlerindeki davranışlarının belirlenmesi amacıyla DTA-TG analizi, gözenek oluşumlarının ve boyutlarının belirlenmesi amacı ile SEM analizi, sıcaklık etkisiyle bünyesinde meydana gelen faz değişimlerinin belirlenmesi amacıyla XRD analizi uygulanmıştır.

Seramik köpük filtre numunelerinin üretiminde kullanılan çimento ve süngerlere ısıtılma işlem davranışlarını incelemek amacı ile DTA-TG analizi, üretilen numunelerin ısıtılma işlem sonrası gözenek boyutları ve ağ yapısının kalınlığının incelenmesi amacı ile SEM analizi ve basma mukavemetlerini belirlemek amacıyla basma mukavemeti testi uygulanmıştır.

4.1.1 Mukavemet Testi

Mukavemet testi yapılacak numunelerde, üniform bir gerilme durumu elde edilmesi amacıyla genellikle yuvarlak kesitli numuneler tercih edilir. Fakat kare veya dikdörtgen kesitli numuneler de kullanılabilir.

Bu tip numunelerde önemli olan özelliklerden biri numunenin çapı (d_0) ile yüksekliği (h_0) arasındaki orandır. Bu oranın (h_0/d_0) çok büyük olması, numunenin deney sırasında bükülmesine ve gerilmelerin numune üzerinde homojen olarak dağılmamasına sebep olur, dolayısıyla yanlış sonuçlar elde edilir. Bu sebeple pratikte üst limit olarak (h_0/d_0) <10 oranı tavsiye edilir (Kavas 2003).

Test numunesinin yüksekliğinin çapa göre çok kısa olması da istenmez, alt limit olarak da (h_0/d_0) >1,5 oranı tavsiye edilir. Genel olarak, test numunelerinde (h_0/d_0) >2 oranı en fazla kullanılan orandır. Bununla beraber, farklı malzemeler için farklı (h_0/d_0) oranı kullanılmaktadır.

Bu çalışmada numunelerin mekanik dayanımını ölçmek amacıyla seramik silindir numunelerinden ve seramik köpük filtre numunelerinden seçilen ve Resim 4.1’ de gösterilen her bir numuneye mukavemet testi yapılmıştır.



Resim 4.1 Mukavemet testi öncesi numuneler. (a) Rulo deneme numunesi (b) köpük filtre deneme numunesi.

Test uygulaması Resim 4.2’ de verilmiştir. Test uygulanmadan önce seramik rulo numunelerin çap ve yükseklik değerleri ölçülmüş, üst ve alt yüzeyleri ölçüm sonuçlarının hatalı olmasını engellemek amacıyla zımparalanarak düzeltilmiştir.



Resim 4.2 Seramik rulo ve seramik köpük filtre mukavemeti testi.

RD 2 ısıtıl işlem ve RD 2 numunelerin çap ve yükseklik ölçümleri Çizelge 4.1’ de gösterildiği şekildedir.

Seramik köpük filter numuneleri kare şekilli olduklarından mukavemet testi uygulanmadan önce en, boy ve yükseklik değerleri ölçülmüştür. Bu değerler Çizelge 4.2’ de gösterildiği şekildedir.

Çizelge 4.1 Seramik rulo numuneleri çap ve yükseklik değerleri.

RD 2		RD 2 Isıl işlem	
Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Çap (mm)	Yükseklik (mm)
33,8	56,2	33,9	56,7
33,7	56,6	33,8	56,4
33,9	55,6	33,8	50,6

Çizelge 4.2 Seramik köpük filtre numuneleri en, boy ve yükseklik değerleri.

KFD		
En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
54,5	54,0	24,2
53,8	53,0	24,0
53,4	54,5	23,8
54,0	54,0	23,8
54,1	53,9	24,5
53,8	53,7	24,5

Mukavemet testleri Shimadzu AG-IS model 100kN kapasiteli mekanik test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu test sonucunda seramik rulo numunelerinde elde edilen mukavemet değerleri Çizelge 4.3’ te gösterildiği şekildedir.

Çizelge 4.3 Seramik rulo numuneleri mukavemet değerleri.

RD 2 Mukavemeti (N/mm ²)		RD 2 Isıl işlem Mukavemeti (N/mm ²)	
No 1:	57,08	No 1:	67,88
No 2:	51,68	No 2:	67,44
No 3:	50,69	No 3:	62,81
Ortalama	53,15	Ortalama	66,04

Seramik köpük filter numunelere uygulanan mukavemet testinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4' te gösterildiği şekildedir.

Çizelge 4.4 Seramik köpük filter numuneleri mukavemet değerleri.

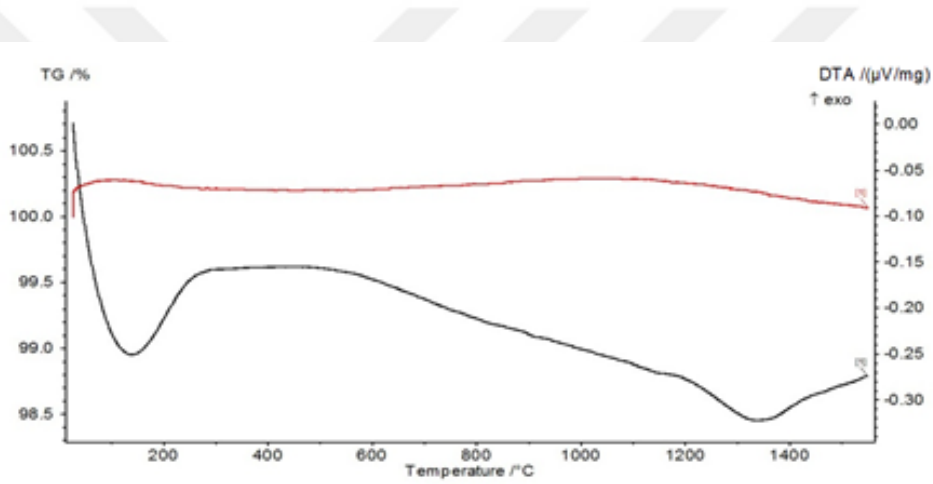
KFD Mukavemeti (N/mm ²)	
No 1:	0,44
No 2:	0,61
No 3:	0,61
No 4:	0,59
No 5:	0,85
No 6:	0,98
Ortalama	0,68

4.1.2 DTA-TG Analizi

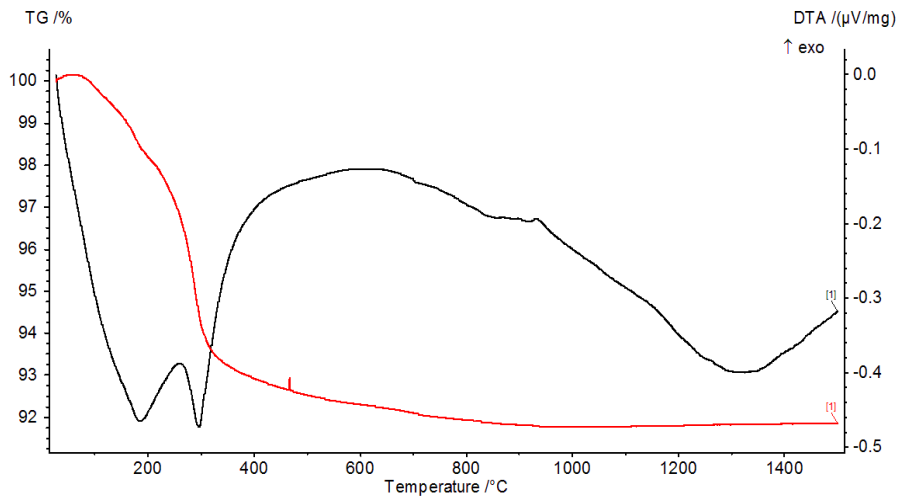
DTA analiz yönteminde, termal olarak inert bir malzeme ile analize tabi tutulan numuneye aynı sıcaklık prosesi uygulanır. Lineer bir şekilde artırılan sıcaklık ile birlikte aynı anda ısıtılan iki malzeme arasında oluşan fark DTA grafiğini verir.

TG analiz yöntemi, analize tabi tutulan numunenin farklı koşullarda kütlesini koruyabilme kabiliyetini ölçen bir yöntemdir. Bu analizin esası, analiz numunesinin sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen reaksiyonlar sonucunda kütlesinde meydana gelen değişimlerin özel bir terazi ile sürekli ölçülmesine dayanır.

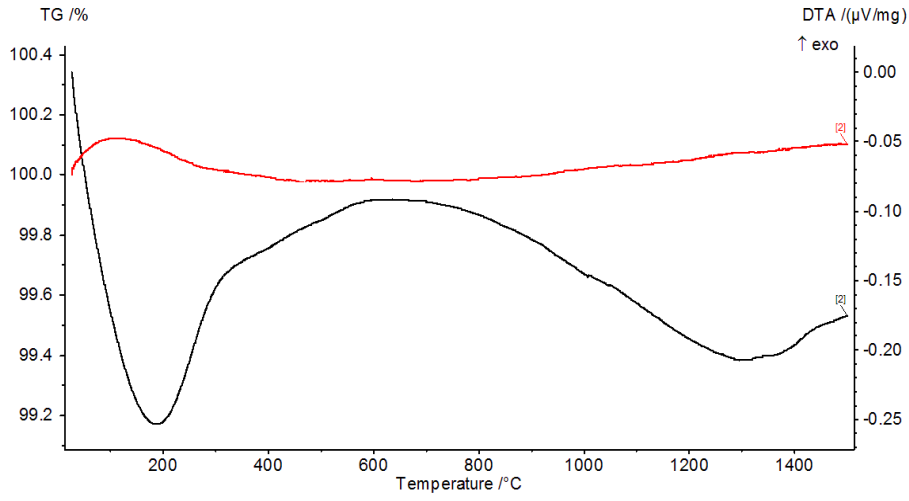
Bu çalışma kapsamında çalışmaya referans olabilmesi açısından Kale Seramik'ten alınan seramik rulo örneğine DTA-TG analizi uygulanmıştır analiz sonucu Şekil 4.1' de görülmektedir. Bununla birlikte çalışma kapsamında üretilen seramik rulo numunelerinden RD 2 Şekil 4.2' de ve RD 2 Isıl işlem Şekil 4.3' te sonuçları görünen DTA-TG analizleri uygulanmıştır.



Şekil 4.1 Kale Seramik referans numune DTA-TG analiz sonucu.

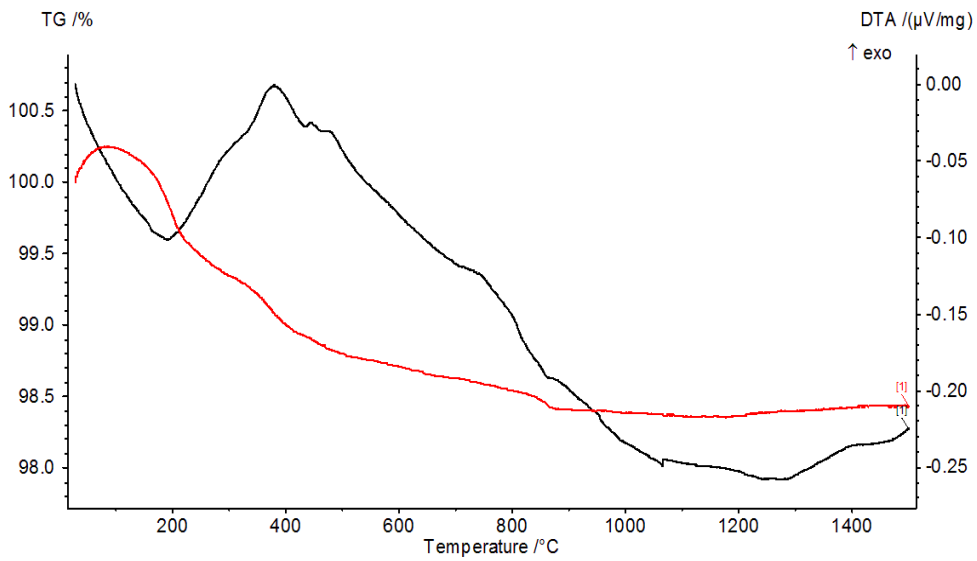


Şekil 4.2 RD 2 kodlu seramik rulo numune DTA-TG analiz sonucu.

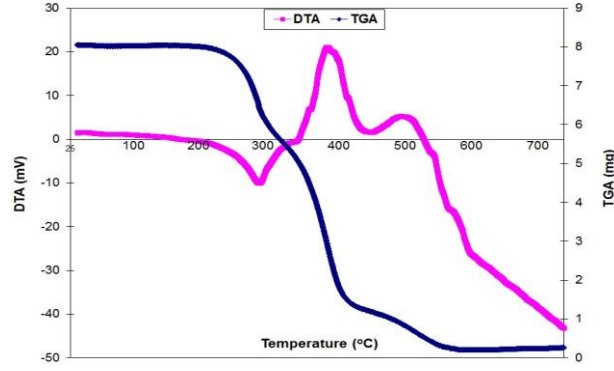


Şekil 4.3 RD 2 Isıl işlem kodlu seramik rulo numune DTA-TG analiz sonucu.

Seramik köpük filtre numunelerin ısıtılma süreçleriyle ilgili bilgi edinmek amacıyla ürünlerin üretilmesinden önce, üretimde kullanılacak olan polietilen süngere ve CA-80 tipi çimento DTA-TG analizleri uygulanmıştır. Isıl işlem prosesi bu analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında belirlenmiş ve uygulanmıştır. Ticari olarak üretilen seramik köpük filtrelerde 1200°C sıcaklığa dayanım gerekmektedir (**İnt. Kyn. 7**). Bu ürünlere ait analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ te verilmiştir. Bu analiz sonuçlarından hareketle numunelerin ihtiyaç duyulan sıcaklık dayanımı sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.4 CA-80 tipi çimento DTA-TG analiz sonucu.

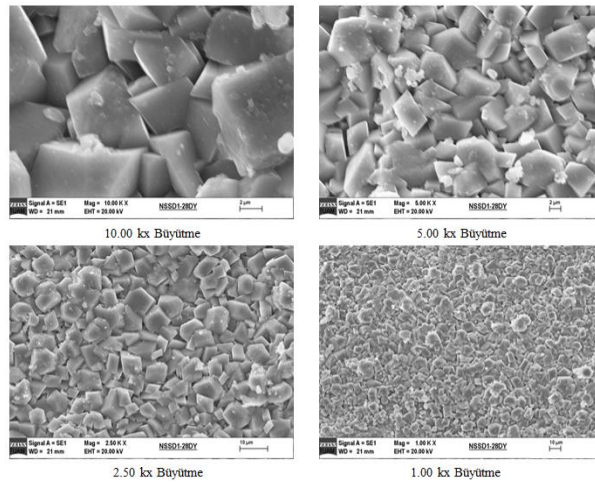


Şekil 4.5 Poliüretan sünger DTA-TG analiz sonucu.

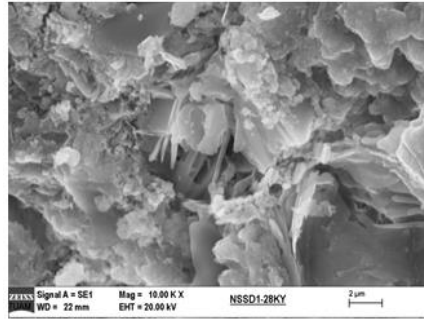
4.1.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi

Bu çalışma kapsamında üretilen rulo deneme numunelerinin dış ve kırık yüzeylerinin SEM analizi yapılmıştır. Bu analizde amaç, kullanılan karışım ve üretim metotları sonucunda elde edilen ürünün uygun gözenek yapısına sahip olup olmadığını, yapıda yer alan bileşenlerin homojen bir dağılıma sahip olup olmadıklarını ve mikro çatlaklar olup olmadığını incelemektir.

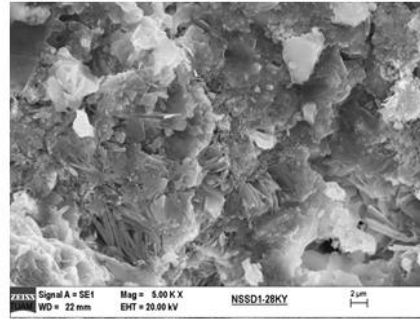
Benzer şekilde, seramik köpük filtre numunelerine de SEM analizi uygulanmıştır. Bu analizde amaç ürünün ağ yapısının kalınlığını ve gözenek çaplarını ölçmek ve ayrıca mikro çatlakların olup olmadığını görmektir. Seramik rulo numunelerine uygulanan SEM analizlerinden RD 2 kodlu numuneden elde edilen görüntüler Resim 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.



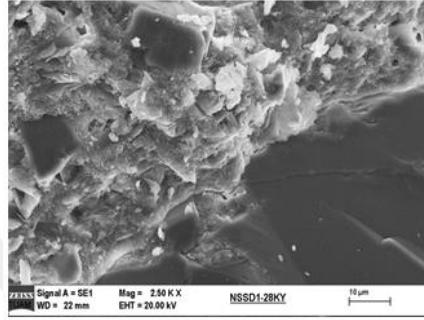
Resim 4.3 RD 2 dış yüzey SEM görüntüleri.



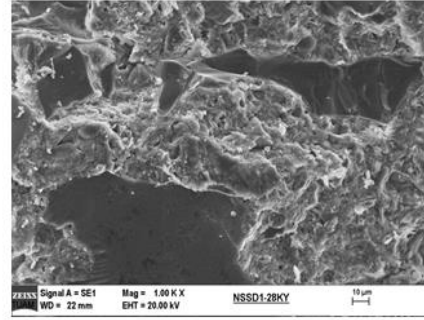
10.00 kx Büyütme



5.00 kx Büyütme



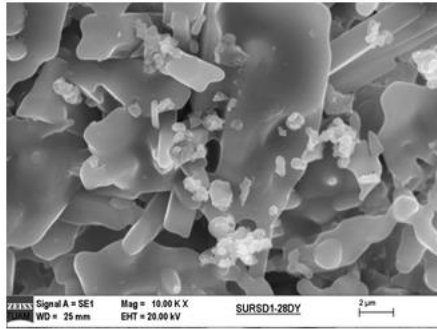
2.50 kx Büyütme



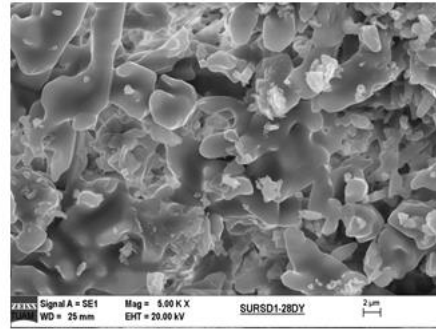
1.00 kx Büyütme

Resim 4.4 RD 2 kırık yüzey SEM görüntüleri.

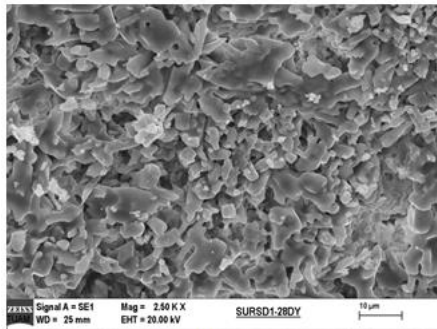
RD 2 Isıl işlem kodlu numuneden elde edilen görüntüler 4.5 ve 4.6’ da verilmiştir.



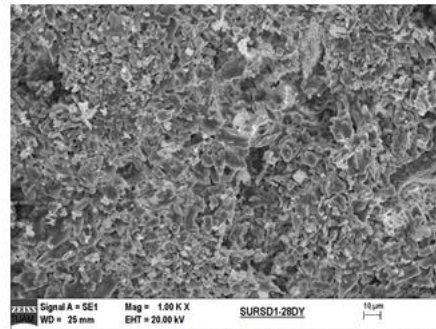
10.00 kx Büyütme



5.00 kx Büyütme

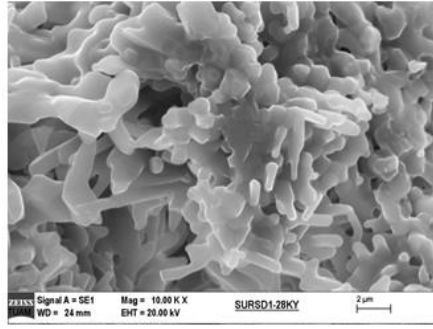


2.50 kx Büyütme

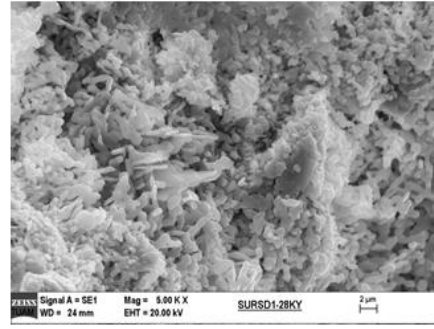


1.00 kx Büyütme

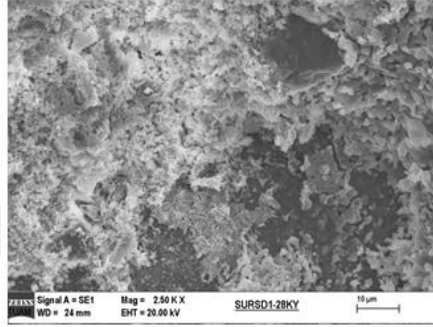
Resim 4.5 RD 2 Isıl işlem dış yüzey SEM görüntüleri.



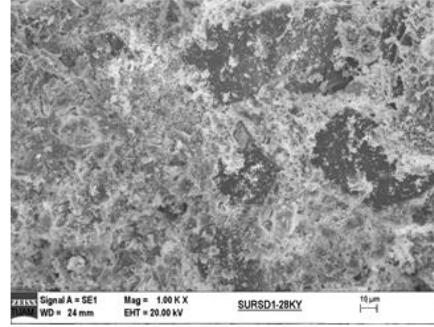
10.00 kx Büyütme



5.00 kx Büyütme



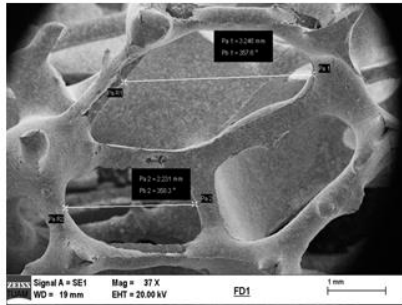
2.50 kx Büyütme



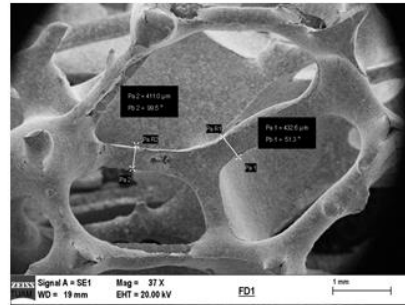
1.00 kx Büyütme

Resim 4.6 RD 2 Isıl İşlem kırık yüzey SEM görüntüleri.

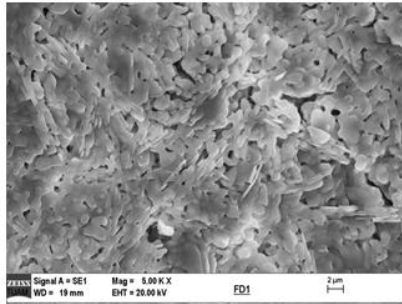
Seramik köpük filtre numunelerine uygulanan SEM analizinden elde edilen gözenek çapları, ağ yapı kalınlıkları ve iç yapıya ait görüntüler Resim 4.7’ de verilmiştir.



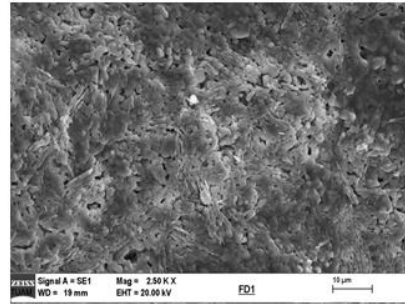
Gözenek Çapı



Ağ Kalınlığı



5.00 kx Büyütme İç Yapı

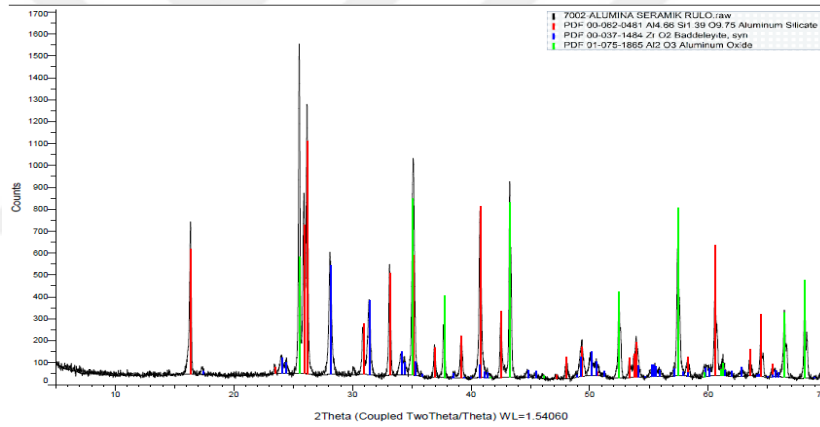


2.50 kx Büyütme İç Yapı

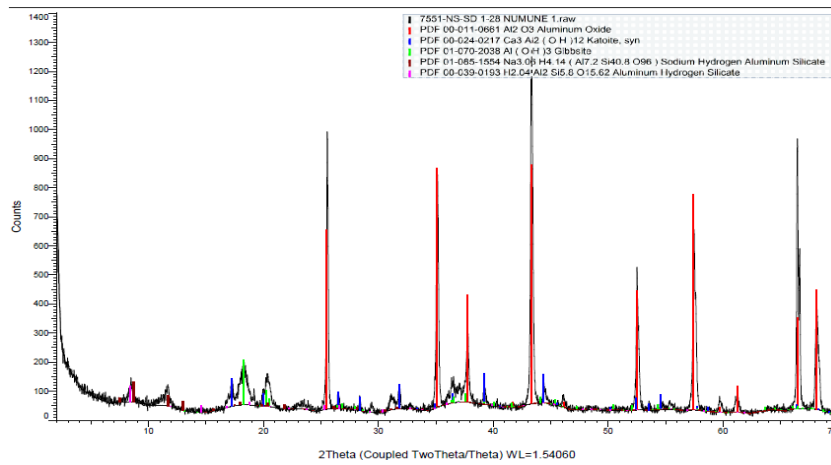
Resim 4.7 KFD gözenek çapı, ağ yapı ve iç yapı SEM görüntüleri.

4.1.4 XRD (X-Ray Diffraction) Analizi

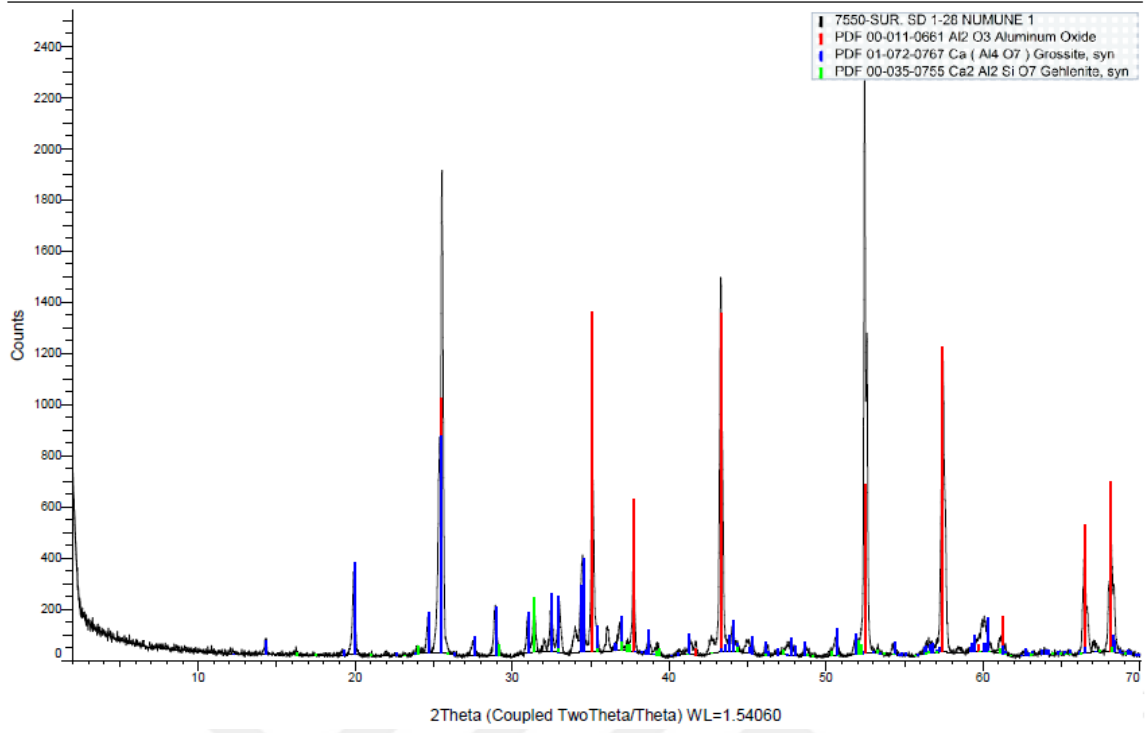
Bu çalışma kapsamında, Kale Seramik firmasından alınan referans ürüne, üretilen seramik rulo numunelerinden normal şartlarda muhafaza edilen örneklerle ve 1350°C sıcaklığa maruz bırakılan örneklerle XRD analizi uygulanmıştır. Kale Seramik referans numunesine uygulanan XRD analizine ait sonuç Şekil 4.6’ da verilmiştir. Şekil 4.7’ de çalışma kapsamında üretilen seramik rulo numunelerinden normal şartlarda muhafaza edilen numunelerin XRD analiz sonucu Şekil 4.8’ de ise 1350°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerden elde edilen XRD analiz sonucu verilmiştir. Bu analizdeki amaç, ticari olarak kullanılmakta olan ürünlerdeki faz yapılarını belirlemek ve üretilen ürünlerin normal şartlarda ve sıcaklık etkisi altında sahip oldukları faz yapılarını belirlemek ve sıcaklık ile oluşabilecek farklılıkları belirlemektir.



Şekil 4.6 Kale Seramik seramik rulo numunesi XRD analiz sonucu.



Şekil 4.7 RD 2 kodlu seramik rulo numunesi XRD analiz sonucu.



Şekil 4.8 RD 2 Isıl işlem kodlu seramik rulo numunesi XRD analiz sonucu.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 Ticari Ürünler ile Deney Numunelerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Bu bölüm kapsamında endüstride kullanılmakta olan seramik rulo ürünlerin ve seramik köğük filter ürünlerin bilinen çeşitli özellikleri, çalışma kapsamında üretilmiş olan deney numunelerine yapılan analiz ve testlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada amaç ticari ürünlerin üretiminde kullanılan hammadde ve tekniklerden farklı yöntemler kullanılarak ticari ürünlere benzer özellikler sağlayabilen ürünlerin üretilmesi olduğundan karşılaştırma esnasında ticari ürünlerin satışlarında belirtilen genel özellikleri esas alınmıştır.

5.2 Mukavemet Değerleri

Seramik rulo ürünler pek çok farklı üretim prosesinde yer almaktadır. Bununla birlikte yüksek sıcaklık fırınlarında taşıyıcı olarak kullanıldıklarından sürekli olarak yüke maruz kalmaktadırlar. Sıcaklık ve sürekli yük etkilerinden dolayı seramik rulo ürünlerden istenen ve ticari ürünlerin sahip olduğu mukavemet değerleri, üretiminde kullandıkları ürün ve proseslere bağlı olarak 45 N/mm^2 ile 65 N/mm^2 değerleri arasında değişmektedir (İnt. Kyn. 6). Bu çalışma kapsamında üretimi yapılan seramik rulo numunelerinin mukavemet değerleri Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Isıl işlem yapılmaksızın üretilmiş olan RD 2 kodlu deney numunelerinde elde edilen mukavemet değerleri ticari ürünlerden beklenen mukavemet değerlerini karşılamaktadır. Bu ürünlerin kullanılması amaçlanan 1350°C sıcaklıktaki ortama maruz bırakılan RD 2 Isıl işlem kodlu deney numunelerinde sıcaklık etkisi ile yapı daha yoğun bir hal almış ve sonucunda mukavemet değerleri artmıştır. Böylece elde edilen mukavemet değerleri ticari ürünlerden beklenen mukavemet değerlerinin üst limitine ulaşmıştır.

Seramik köpük filtre ürünlerde esas önemli olan kriter sıcaklık dayanımıdır. Bununla birlikte filtreleme işlemi esnasında metal eriyiğin sahip olduğu ağırlıktan dolayı belirli bir mukavemet değerine sahip olması gerekmektedir. Bu mukavemet değeri ticari olarak

kullanılan seramik köpük filtre ürünlerde 1 N/mm² ile 1,5 N/mm² arasında değişiklik göstermektedir (İnt. Kyn. 7). Bu çalışma kapsamında üretilen seramik köpük filtre numunelerine ait mukavemet değerleri Çizelge 4.4' te verilmiştir.

CA-80 çimentosu ve su kullanılarak 1500°C sıcaklıkta 3 saat süre ile ısıtılarak son hale getirilen seramik köpük filtre numuneleri gerekli sıcaklık dayanımını karşılamalarına rağmen beklenen mukavemet değerlerini karşılayamamıştır.

Bunun sebebi yapıda oluşan mikro çatlakların mukavemet değerini olumsuz etkilemesi ve tek başına CA-80 çimentosundan elde edilen mukavemetin yetersiz olmasıdır. Mukavemeti artırabilecek çeşitli katkıları kullanarak ve poliüretan süngerlerin farklı metodlar kullanılarak daha homojen ve yoğun bir şekilde kaplanması ile daha yüksek mukavemete sahip ürünler üretilir.

5.3 Sıcaklık Etkisinde Davranışlar

Ürünlerin sıcaklık etkisi altında gösterdikleri davranışları gözlemlemek ve karşılaştırmak amacıyla Kale Seramik firmasının üretim proseslerinde kullanmakta olduğu seramik rulo ürüne ve bu çalışma kapsamında laboratuvarında üretilen seramik rulo numunesine DTA-TG analizi uygulanmıştır. Bu analizlerin sonuçları Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3' te verilmiştir.

Şekil 4.1'de verilen Kale Seramik firmasında üretim proseslerinde kullanılan seramik rulo ürün, üretimi esnasında ısıtılarak tabi tutulmaktadır. Bu sebeple bünyesinde mevcut olan su ve kirliliklerden arınmıştır. Böylece DTA-TG analiz sonucunda kütle kaybı görülmemektedir. Benzer şekilde ekzotermik tepkime eğrisi kısa bir aralıkta ve düşük şiddetlidir.

Şekil 4.2' de bu çalışma kapsamında üretilen ve normal şartlarda muhafaza edilen ısıtılarak işlem görmemiş RD 2 kodlu numuneye ait DTA-TG analiz sonucu görülmektedir. Kale Seramik firmasına ait ürünle kıyaslandığında yüksek miktarda ağırlık kaybı görülmektedir. Bunun sebebi numunenin üretimi esnasında ısıtılarak işlem uygulanmamış

olmasıdır. Bunun sonucu olarak DTA-TG analizi sırasında uygulanan sıcaklık ile numune bünyesinde yer alan su ve oksitler yapıdan ayrılmış ve şekilde görüldüğü gibi bir TG eğrisine sebep olmuştur. Uygulanan sıcaklık ile birlikte yapıda var olan bir takım bileşenlerin yapıyı terketmesi şiddetli bir ekzotermik eğrini oluşmasına sebep olmuştur. Buna karşın, Kale Seramik numunesi ile deney numunesi şekilleri birbirlerine benzer bir oluşum göstermektedir.

Şekil 4.3' te verilen 1350°C sıcaklığa maruz bırakılan RD 2 Isıl işlem kodlu deney numunesinden elde edilen DTA-TG grafiğinde görüldüğü gibi TG eğrisi Kale Seramik numunesi ile çok benzer bir çizgiye sahiptir. Isıl işleme tabi tutulmuş olması sebebiyle DTA eğrisi Şekil 4.2' de verilen eğriye benzemekle birlikte daha stabil bir hal almıştır.

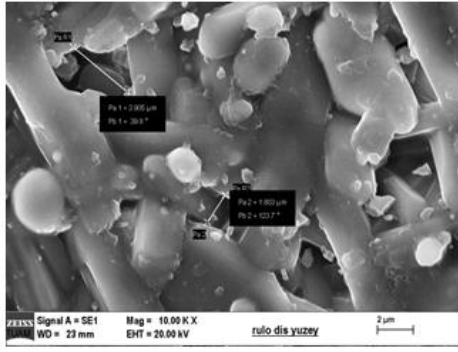
Sonuç olarak Kale Seramik numunesi ve çalışma kapsamında üretilen numuneler arasında benzer grafikler görülmektedir. RD 2 kodlu normal şartlarda muhafaza edilmiş olan numunenin 300°C sonrasında bir ağırlık kaybı olmadığından ticari ürünler ile benzer performansı sergileyebileceği düşünülmektedir.

5.4 Mikroyapı İncelemeleri

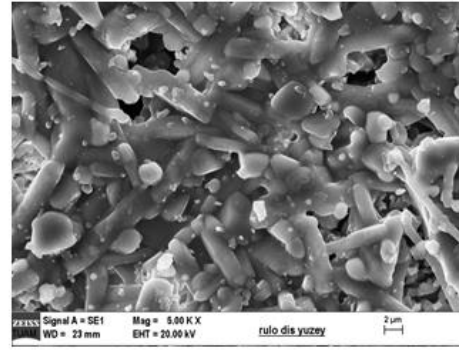
Bu çalışma kapsamında üretilen seramik rulo numunelerinin ve Kale Seramik firmasından temin edilen ticari ürünün mikroyapılarını karşılaştırmak ve böylece diğer bazı özellikler hakkında da fikir sahibi olmak amacıyla bu ürünlerin dış yüzeyleri ve kırık yüzeyleri SEM cihazı ile incelenmiştir.

Bu incelemede yapıların homojenliği, gözenekliliği, mikro çatlak oluşumları kontrol edilmiştir. Kale seramik'ten temin edilen rulo üzerinde yapılan SEM incelemelerinin görüntüleri Resim 5.1' de dış yüzeyi Resim 5.2' de kırık yüzeyi olarak gösterilmiştir.

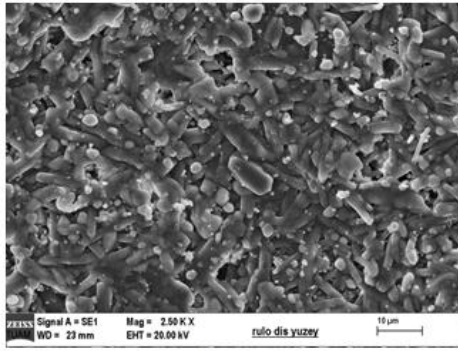
Benzer şekilde, bu çalışma kapsamında üretilen seramik köpük filtre numunelerinin gözenek boyutlarının, ağ yapılarının kalınlıklarının ve mikroçatlak oluşumlarının incelenmesi ve böylelikle sahip olduğu özellikler ile ilgili bir takım fikirler edinmek amacı ile SEM analizi uygulanmıştır.



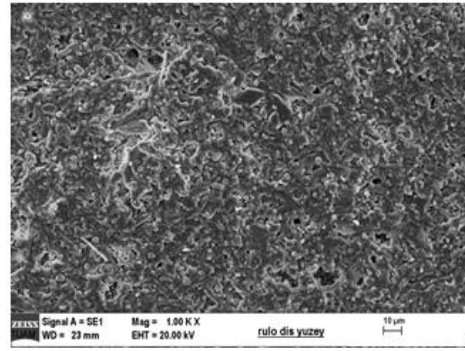
10.00 kx Büyütme



5.00 kx Büyütme

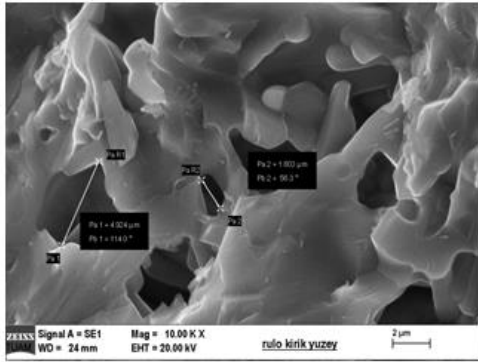


2.50 kx Büyütme

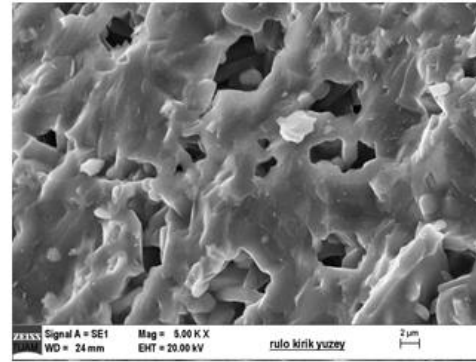


1.00 kx Büyütme

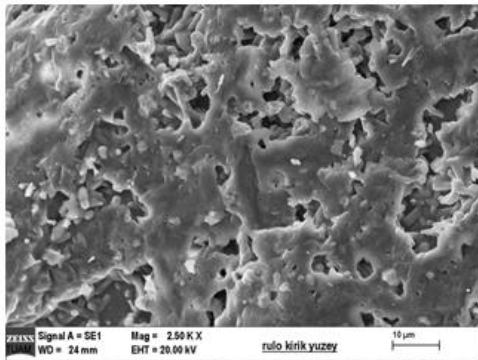
Resim 5.1 Kale Seramik rulo numunesi dış yüzey SEM görüntüleri.



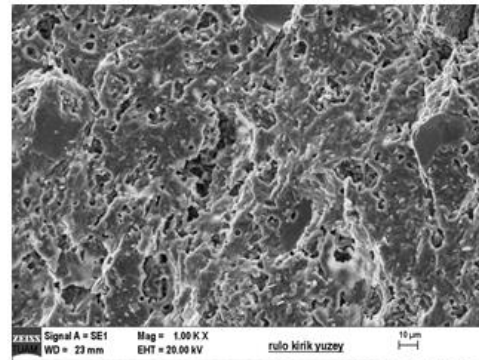
10.00 kx Büyütme



5.00 kx Büyütme



2.50 kx Büyütme



1.00 kx Büyütme

Resim 5.2 Kale Seramik rulo numunesi kırık yüzey SEM görüntüleri.

Çalışma kapsamında üretilmiş olan seramik rulo numunelerinden biri normal şartlarda muhafaza edilmiştir, diğeri ise ortam koşullarında oluşacak etkileri gözlemleyebilmek amacıyla 1350°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Normal şartlarda muhafaza edilen RD 2 kodlu numuneye ait SEM incelemelerinin görüntüleri Resim 4.3’ de dış yüzey, Resim 4.4’ te kırık yüzey olarak gösterilmiştir.

1350°C sıcaklığa maruz bırakılan seramik rulo numunesi RD 2 Isıl işleme ait SEM incelemelerinin görüntüleri Resim 4.4’ te dış yüzey ve Resim 4.5’te kırık yüzey olacak şekilde gösterilmiştir.

Resim 5.1’de yer alan 10,00 kx ve 5,00 kx büyütmelerde de görüldüğü gibi Kale Seramik’ten temin edilen ticari seramik rulo dış yüzeyinde gözenekler bulunmaktadır. Bu gözenekler dayanımı olumsuz yönde etkilemekte ve ruloların kimyasal saldırılara karşı daha zayıf olmasına sebep olmaktadır.

Bunun aksine Resim 4.3’te yer alan 10,00 kx ve 5,00 kx büyütmelerde görüldüğü üzere bu çalışma kapsamında üretilmiş ve ısıtıl işleme tabi tutulmamış olan RD 2 kodlu numunede gözenek bulunmamaktadır. CA-80 çimentosunun hidratasyonu ile yoğunlaşan ve sıkışan yapı gözeneksiz bir form kazanmıştır. CA-80 çimentosunun yapıya kazandırdığı bu yoğun hal sayesinde, üretilen rulo uygulamaya esnasında dışarıdan gelecek ve bünyeye girerek yapısal bir bozulmaya sebep olabilecek olan kimyasal saldırılar yapıya giremeyecek ve bünyede hasara sebep olamayacaktır.

Fakat Resim 4.5’ te yer alan görüntüde seramik rulo numunesinin 1350°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra yapıda bir yumuşama olduğu görülmektedir. Sıcaklık ile oluşan bu yumuşama yapının yoğunlaşarak ısıtıl işlem öncesinde varolan mikroçatlakların kaybolmasını sağlamıştır. Böylelikle ürünün mukavemet değerinin artması sağlanmıştır.

Bununla birlikte kırık yüzeyler incelendiğinde olursa, dış yüzeyinde olduğu gibi Kale Seramik numunesinin kırık yüzeyinde yani Resim 5.2’de gözenekler net bir şekilde görülmektedir.

Buna karşın Resim 4.4’ te görülen normal şartlarda muhafaza edilmiş RD 2 kodlu seramik rulo numunesinde gözenek bulunmamaktadır. Yapıda bulunan bazı agregaların çevrelerinde yer yer mikro çatlak oluşumlarına rastlanmıştır. Fakat Resim 4.6’ da görülen 1350°C sıcaklığa maruz bırakılan RD 2 Isıl işlem kodlu numunede sıcaklık etkisiyle yapı kaynaşmış ve mikro çatlak oluşumları ortadan kalkmıştır.

SEM incelemelerinden elde edilen bu sonuçlar ışığında bu çalışma kapsamında üretilmiş olan seramik rulo numunesinin Kale Seramik’ten temin edilen ticari ürüne benzer mekanik özellikler sağlayabileceği görülmüştür.

Bu durum, bu çalışma kapsamında üretilen seramik rulo numunelerinin yapıda bulunan gözenekler bakımından daha üstün bir ürün olduğunu göstermektedir.

Fakat mikroçatlak oluşumlarını önleyecek uygulamalar kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Mikroçatlak oluşumunun engellenmesi ile ve sıcaklık karşısında daha stabil bir yapı sunabilecek benzer karışımlar ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Bununla birlikte seramik köpük filter numunelerine üretimleri sonrasında gözenek boyutlarını görebilmek ve ağ yapının kalınlığını görebilmek amacıyla SEM analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen görüntüler Resim 4.7’ de gösterilmiştir.

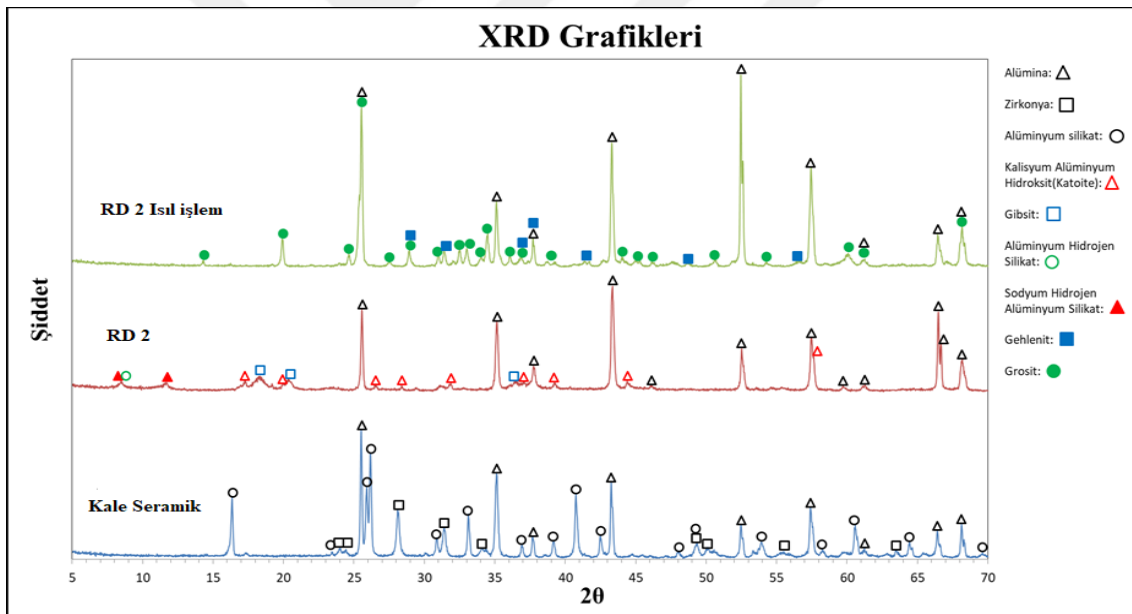
Yapılan literatür araştırmaları sonucunda seramik köpük filtrelerde optimum gözenek boyutlarının 460-950 μm aralığında olduğu ve ağ yapının kalınlığının 200-250 μm olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında üretilen seramik köpük filtre numunelerinde gözenek boyutları 2,2-3,2 mm arasındadır. Ağ yapılarının kalınlığı ise 410-430 μm aralığındadır.

Fiziksel olarak benzer özellikleri sunması ve ağ yapısının kalınlık ölçüsünün yüksek olmasına karşın beklenen 1-1,5 N/mm² mukavemet değerini karşılayamamıştır. Bunun sebebi olarak Resim 4.6’ da 5,00 kx ve 2,50 kx büyütmelemlerde alınan görüntülerde yer alan gözenekli yapı düşünülmektedir.

Daha düşük boyutlarda gözeneklere ve daha yoğun, yüksek dayanıma sahip bir ağ yapıya sahip olabilmesi için bu filtrelerin üretimlerinde homojen bir ikinci kaplama yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bununla birlikte üretimde kullanılan harcın kaplama sonrasında gözeneksiz bir hal almasını sağlayacak yöntemlerin uygulanması gerektiği düşünülmektedir.

5.5 XRD Analiz Sonuçları

Bu çalışma kapsamında laboratuvarında üretilen seramik rulo numunelerinin faz yapılarını belirlemek ve bu faz yapılarından yola çıkarak diğer bazı özellikler hakkında fikir sahibi olabilmek adına yapılan XRD analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 5.4' te verilmiştir.



Şekil 5.1 Ticari seramik rulo ve laboratuvarında üretilen seramik rulo numuneleri XRD analiz sonuçları

Kale Seramik firmasından temin edilen ticari ürüne ait XRD sonucu ticari ürünün üretiminde kullanılan hammaddelerin oluşturduğu faz yapılarını belirlemek ve bu ürünün fiziksel özelliklerinin oluşmasında bu fazların etkileri hakkında bilgi edinmek amacı ile ve çalışma kapsamında laboratuvarında üretilen seramik rulo numunelerindeki bazı fiziksel özelliklerin temellerini aldıkları faz yapıları ile eşleşme sağlamak amacı ile sunulmuştur.

Şekilde görüldüğü gibi Kale Seramik numunesi alüminyum silikat, alümina ve zirkonya fazlarına sahiptir. Bu fazlarda alümina ve alüminyum silikat ürününü genel yapısını oluşturan fazlar olmanın yanı sıra mekanik dayanımında rol oynamaktadır. Aynı zamanda alümina fazı yüksek sıcaklık dayanımında etkilidir. Zirkonya fazı ürünün tokluğunu artırarak termal şok direnci kazandırmaktadır. Bunula birlikte yüksek sıcaklık dayanımına katkı sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında laboratuvarında üretilen seramik rulo numunelerinden RD 2 kodlu normal şartlarda muhafaza edilmiş olan ürüne ait XRD sonucunda görüldüğü gibi bu ürün sodyum hidrojen alüminyum silikat, alüminyum hidrojen silikat, gibsit, kalsiyum alüminyum hidroksit ve alümina fazlarından oluşmaktadır. Bu ürünün genel yapısını alümina ve kalsiyum alüminyum hidroksit oluşturmaktadır.

Alümina fazı CA çimentosundan ve yapıya agrega olarak eklenen BFA tozundan meydana gelmektedir. Bu faz, üretilen seramik rulo ürünün 1350°C sıcaklıkta kullanılabilmesi için gerekli olan termal dayanım özelliğini sağlarken bir yandan da kullanılacağı üretim proseslerinde üzerinde taşınarak fırınlarda hareket ettirilecek olan ürünlerin ağırlıklarından dolayı oluşturacakları yüklere karşı mekanik dayanım kazanmasını sağlamıştır.

Çalışma kapsamında laboratuvarında üretilen ve ısıtma işlemi tabi tutulan RD 2 Isıl işlem kodlu ürün 1350°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Bu sıcaklık uygulaması bu ürünün kullanılması hedeflenen ortam sıcaklığında yani 1350°C sıcaklıkta sergileyeceği mekanik ve termal dayanım performansını gözlemlemek bir yandan da sıcaklık etkisi ile yapısında oluşabilecek faz oluşumu, faz değişimi ve kaybolan fazları gözlemleyebilmek adına yapılmıştır.

Sıcaklık uygulaması sonrasında uygulanan XRD analizi sonucu Şekil 5.4'te görülmektedir. Elde edilen sonuçta da görüldüğü gibi bu numune, grosit, alümina ve gehlenit fazlarından oluşmaktadır. Sıcaklık uygulanması sonucunda yapıda yer alan bazı fazlar yapıdan ayrılmıştır. Oluşan yeni fazlar ise grosit ve gehlenit fazlarıdır. Bu faz farklılıklarının sebebi sıcaklık etkisi ile yapıdan ayrılan sodyum ve hidrojenidir.

6. KAYNAKLAR

- Adams, M. P. and Ideker, J. H. (2017). Influence of aggregate type on conversion and strength in calcium aluminate cement concrete. *Cement and Concrete Research*, **100**: 284-296
- Birol, B. ve Sarıdede, M.N. (2005). Özel alüminalar-1, kalsine alüminalar. *Metallurji*, **141**: 15-30.
- Birol, B. ve Sarıdede, M.N. (2006). Özel alüminalar-2, Alüminyum hidroksit ve aktif alüminalar. *Metallurji*, **144**: 15-20.
- Çalışkan, F., Yılmaz, F. ve Tatlı, Z. (2015). Silisyum karbür esaslı seramik köpük filtre üretimi. *Isites, Valencia, Spain*, 3-5 Haziran, 2620-2626.
- Kavas, T. Evcin, A., ve Önce, G. (2003). Afyon bölgesi mermer atıklarının (şlam) kalsiyum alüminalı refrakter çimento üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Türkiye IV Mermer Sempozyumu Bildiriler kitabı*, 363-370.
- Kavas, T. (2003). Atık Mermer ve Alüminyum Hidroksit Kullanarak Refrakter Çimento Üretimi. *Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir*.
- Leblebiciler, Y., Yüzer, H. ve Emrullahoğlu, Ö.F., (2000). Sol-jel metodu ile mikronaltı incelikte alümina üretimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **2**: 1-12.
- Manivasakan, P., Rajendran, V., Rauta, P.R., Ranjan, P. R., Bandhu, B. B. and Krushna, P. B. (2011). Effect of mineral acids on the production of alumina nanopowder from raw bauxite. *Powder Technology*, **211**: 77-84.
- Palacı, Y. (2001). Alüminanın Özelliklerine, Şekillendirme Yönteminin, Katkıların ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

- Xu, L., Wu, K., R b ler, C., Wang, P. and Ludwig, H.M. (2017). Influence of curing temperatures on the hydration of calcium aluminate cement/portland cement/calcium sulfate blends. *Cement and Concrete Composites*, **80**: 298-306.
- Yorulmaz, S., Erkmen, Z. ve Kara, F. (1999). Seramik sanayii hızlı pi iririr firinlarında kullanılan rulo malzemesi müllitin üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Turkey Journal of Engineering and Environmental Science*, **23**: 273-285.
- Yüzer, H., Hasanova, S. ve K  ro  lu, H.J. (1995). Seydişehir Gibsit Orijinli Kabuktan Aktif Alüminalı Absorban Eldesi. 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, TMMOB, Metalurji Mühendisleri Odası,   stanbul, 6-9 Haziran, 2620-2626.

  nternet Kaynakları

- 1) <http://www.cimsa.com.tr/ca/docs/71DDECEE521E470BA4ADA95A091840/26AE8B458E734F289C75EC90DBF3CC9B.pdf> 28.07.2018
- 2) <https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/4FE58AA58E3A4B7B85FA9E4EE011A8/4CB4AB8E1EB74220AB72D7B93589476E.pdf> 28.07.2018
- 3) <https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/71DDECEE521E470BA4ADA95A091840/08A3F1686F434950A997270398A76C51.pdf> 28.07.2018
- 4) https://www.saykar.net/aluminyum_oksit 05.08.2018
- 5) <http://inovatifkimyadergisi.com/aktif-alumina> 07.08.2018
- 6) <http://www.teknotherm.com.tr/seramik-firin-rulolari-91> 15.08.2018
- 7) <https://turkish.alibaba.com/product-detail/ceramic-foam-filter-silicon-carbide-ceramic-foam-filter-for-decontaminate-the-melting-1838609211.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.409177d47EL9He&s=p> 15.08.2018
- 8) https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_aluminates 25.12.2018
- 9) <http://www.nkfu.com/cimento-elde-edilir-uretim-asamalari/> 25.12.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Caner KUMRU

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara/Altındağ - 30.03.1994

Yabancı Dil : İngilizce

Telefon : 0553 426 45 19

E-posta : caner.kumru@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Ankara Celal Yardımcı Lisesi (2008-2012)

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (2012-2017)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi İş Güvenliği (2017-2018)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (2017-2019)

İş Tecrübesi : İzmir Senkromeç San. Tic. Şti. (2013). Kalite Kontrol Laboratuvar Stajyeri

Uşak Seramik (2014). Proses Kontrol Laboratuvar Stajyeri