

**ANDEZİT KESİM ATIĞININ SERAMİK KARO BÜNYESİNE OLAN
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ATAGÜN

Danışman

Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANDEZİT KESİM ATIĞININ SERAMİK KARO BÜNYESİNE
OLAN ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Merve ATAGÜN

Danışman
Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Merve ATAGÜN tarafından hazırlanan “Andezit Kesim Atığının Seramik Karo Bünyesine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

Başkan : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

Üye : Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ERGÜN
Uşak Üni. Müh. Fak.

İmza

Talaş

Başpinar

Ergün

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 çalışmasında;

- 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.

10/07/2019

İmza

Merve ATAGÜN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

ANDEZİT KESİM ATIKLARININ SERAMİK BÜNYESİNE OLAN ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Merve ATAGÜN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

Bu araştırmada, andezit kesim atıklarının granit massesinde kullanımı incelenmiştir. Andezit, nötr magmadan meydana gelmektedir. İnşaat sektöründe kullanımı çok fazla olan andezitler, kesim esnasında toz atık oluşturmaktadır. Bu toz atıklar hem atık depolama maliyeti düşünülerek hem de doğaya verebileceği zararlar göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Hammaddelerin kimyasal analizleri XRF cihazında tayin edilmiştir. Andezit kesim atıkları, granit karo massesinde feldspat görevi görecektir şekilde sırasıyla %11.5, %21.5, %31.5 ve %41.5 oranlarında kullanılmıştır. Tüm numunelere pişirim küçülmesi, tortu analizi, yoğunluk tayini, renk ölçümleri, su emme ölçümü ve mukavemet ölçümleri testi uygulanmıştır. Numunelerin sinterleme davranışı ısıtıcılı mikroskop ile genleşme katsayıları ise optik dilatometre, minerolojik ve faz analizleri X-ışınları difraktometresi (XRD), mikroyapı incelemesi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. Ortaya çıkan test sonuçlarıyla beraber, andezit kesim atıklarının seramik karo massesinde kullanımıyla beraber seramik karoların mekanik özelliklerde iyileşme görülmüştür. Bu sebeple seramik masselerinde alternatif bir hammadde olarak, seramik sektörüne kazandırılabilirliği görülmüştür.

2019, ix + 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Andezit, atık, seramik karo, özellikler

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

INVESTIGATION ON THE EFFECT OF ANDESITE CUTTING WASTES ON
CERAMIC TILE BODY

Merve ATAGÜN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Material Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa Serhat BAŞPINAR

In this research, the use of andesite cutting wastes in granite body was investigated. Andesite consists of neutral magma. Andesites, which are often used in the construction sector, generate dust waste during cutting. These dust wastes were evaluated considering both the cost of waste storage and the damages to nature. Chemical analyzes of raw materials were determined in XRF apparatus. Andesite cutting wastes were used as feldspar in granite tile bodies as 11.5%, 21.5%, 31.5% and 41.5% respectively. Firing shrinkage, sediment analysis, density determination, color measurements, water absorption measurement and resistance measurements were applied to all samples. The sintering behavior of the samples was determined by the microscope, the expansion coefficients by optical dilatometer mineralogical and phase analysis of samples were analyzed by X-ray diffraction (XRD), microstructure analysis were analyzed by Scanning electron microscope (SEM). With the results of the test, the mechanical properties of ceramic tiles were improved with the use of andesite cutting wastes in ceramic tile body. For this reason, it has been seen that ceramic bodies can be added to ceramic sector as an alternative raw material.

2019, ix + 60 pages

Keywords: Andesite, waste, ceramic tile, properties

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolaylı tez danışmanım Sayın Do. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR'a, alışma sresince imkanlarından faydalandığım Ege Seramik San. Ve Tic. A.Ő.'ye, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Girdi Kontrol Laboratuvarı ekibi Sayın Erkan TINAZ'a, Sn. Emre ÖZTÜRK'e, Yönetim Sistemleri Yöneticisi Sn. Derya TEN'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolaylı sevgili eşim Egemen NAL'a ve bu günlere gelmemi sağlayan sevgili aileme teşekkür ederim.

Merve ATAGÜN
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Seramik Karolar	3
2.2 Seramiklerin Sınıflandırılması	4
2.2.1 Geleneksel Seramikler	4
2.2.2 İleri Teknoloji Seramikleri	5
2.3 Geleneksel Seramiklerde Kullanılan Hammaddeler	6
2.3.1 Özlü Seramik Hammaddeleri	6
2.3.2 Özsüz Seramik Hammaddeleri	8
2.3.3 Kuvars.....	8
2.3.4 Alkali Oksit İçeren Hammaddeler	11
2.4 Sinterleme İşlemi	12
2.4.1 Katı Hal Sinterleme Mekanizması.....	14
2.4.2 Sıvı Hal Sinterleme Mekanizması	15
2.4.3 Reaktif Sıvı Sinterleme Mekanizması	15
2.4.4 Buhar Faz Sinterleme Mekanizması.....	15
2.5 Seramik Karolar ve Üretim Prosesi	16
2.5.1 Hammadde ve Masse Hazırlama	17
2.5.2 Şekillendirme – Presleme – Kurutma.....	17
2.5.3 Sırlama.....	18
2.5.4 Baskı	19
2.5.5 Fırınlama-Pişirme	19
2.5.6 Kalite Ayırımı ve Paketleme	19
2.5.7 Nihai Ürün Kalite Kontrol Testleri.....	19

2.6 Maden Atıkları ve Ekolojik Çevreye Etkileri	21
2.6.1 Andezit Atığı	23
3. MATERİYAL VE METOT	27
3.1 Kullanılan Cihazlar	27
3.2 Seramik Karo Numunelerinin Hazırlanması.....	28
3.3 Çamur Halindeyken Yapılan Testler	30
3.3.1 Yoğunluk Kabı ile Ağırlık Tartımı.....	30
3.3.2 Akış Hızı Tayini	31
3.3.3 Yaş Elek Analizi Tayini	32
3.4 Nihai Ürüne Uygulanan Test Yöntemleri.....	32
3.4.1 Pişirim Küçülmesi Tayini.....	32
3.4.2 Su Emme Tayini	33
3.4.3 Mukavemet Tayini.....	34
3.4.4 Renk Ölçüm Tayini	36
3.4.5 Black Core Kontrolü.....	37
3.4.6 Isıtcılı Mikroskop ile Sinterleme Davranışı Tayini	39
3.4.7 Lineer Genleşme Katsayısının Tayini	40
3.4.8 Andezit Atığı İçeren Numunelerin Faz Analizi.....	40
3.4.9 Andezit Atığı İçeren Numunelerin Mikroyapı Karakterizasyonu	40
4. BULGULAR.....	41
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	54
6. KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\text{Na}_2\text{O}_3.\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$	Albit
Al_2O_3	Alüminyum oksit
Bar	Basınç birimi
L*	Beyazlık siyahlık oranı
Fe_2O_3	Demir oksit
gr/lt	Gram/litre yoğunluk
l1	Ham numunenin boyutu (mm)
CaO	Kalsiyum oksit
$\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$	Kaolen
a*	Yeşillik kırmızılık oranı
m1	Karonun kuru tartım kütlesi
m2	Karonun su emme tayini sonucu kütlesi
F	Kırılma kuvveti
kPa	Kilopaskal basınç birimi
MgO	Magnezyum oksit
b*	Mavilik sarılık oranı
L	Mesnetler arasındaki mesafe
μ	Mikrometre
σ	Mukavemet değeri (kg/cm^2)
d	Numune karoda kırılan yüzeydeki kalınlık
b	Numune karoda kırılan yüzeyin boyutu
l2	Pişmiş numune boyutu (mm)
K_2O	Potasyum oksit
°C	Santigrat derece
SiO_2	Silisyum oksit
Na_2O	Sodyum oksit
TiO_2	Titanyum oksit

Kısaltmalar

gr	Gram
TO	Kaolinit mineralinin birim şeklinde gösterilen tabakası
mm	Milimetre
cm	Santimetre
cm^3	Santimetre küp
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X ışını difraktometresi
XRF	X-Işını floresansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kuvarsın kristal yapısının polimorfik değişimi.	10
Şekil 2.2 Sinterleme mekanizmaları (Haussonne 2005).	13
Şekil 2.3 Sinter parçalarının genel oluşum modeli.	14
Şekil 2.4 Katı hal sinterleme mekanizmasının gösterimi.	14
Şekil 2.5 Sıvı hal sinterlemesi mekanizması.	15
Şekil 2.6 Madencilik atık türleri (Çetiner 2006).	21
Şekil 3.1 Seramik karo üretim akış şeması.	27
Şekil 3.2 Seramik karo fırını pişirim sıcaklık eğrisi.	30
Şekil 3.3 Spektrofotometre analizi renk ölçüm değeri anlamı.	36
Şekil 4.1 Toplam Alkali - Silika diyagramı (Le Bass <i>et al.</i> 1992).	42
Şekil 4.2 Reçete bazında sinterleşme görselleri.	43
Şekil 4.3 Şahit numune karo ile 4 farklı andezit atıklı numunelerin sinterleme davranışlarının kıyaslanması grafiği.	44
Şekil 4.4 Andezit atık miktarı artışına bağlı olarak tortu miktarı grafiği.	45
Şekil 4.5 Andezit atığına bağlı olarak pişme boyut küçülmesi grafiği.	47
Şekil 4.6 Andezit atık miktarıyla orantılı su emme oranı grafiği.	48
Şekil 4.7 XRD analiz sonuçları.	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Hammaddelerin seramik bünyesinde oluşturacağı tesirler (Sacmi 2002)...	12
Çizelge 2.2 Seramik Karoların EN 14411 Standardına göre Sınıflandırılması.....	16
Çizelge 2.3 Yıllar bazında toplam andezit üretim tonajları (İnt.Kyn.1).....	25
Çizelge 3.1 Andezit atığı içeren seramik karo masse reçete çalışmaları.....	29
Çizelge 4.1 Andezit kesim atığının XRF analiz değerleri.....	41
Çizelge 4.2 Seramik massesinde kullanılan hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları.	42
Çizelge 4.3 Andezit atığı elek analizi.....	44
Çizelge 4.4 Andezit atık oranına göre reçeteler arası tortu analizi kıyaslaması.	45
Çizelge 4.5 Andezit atığı miktarına göre yoğunluk ve viskozitenin tayini.	46
Çizelge 4.6 Pişme boyut küçülmesinin andezit atık oranına göre değişimi.	46
Çizelge 4.7 Andezit atık oranına bağlı olarak ham ve pişmiş mukavemet değerleri.	47
Çizelge 4.8 Atık miktarına bağlı olarak değişen su emme oranı.	48
Çizelge 4.9 Andezit atık miktarına göre spektrofotometre ile tayin edilmiş değerler. ..	49
Çizelge 4.10 Şahit numune ve hazırlanan numunelerin genleşme katsayıları.	50

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Andezit kesim makinesi.....	25
Resim 3.1 Densite kabı kontrolü, fordcup ve kronometre ile akış hızı kontrolü.....	31
Resim 3.2 Fordcup ile akışkanlık tayini.....	32
Resim 3.3 Ham karo numuneleri.....	33
Resim 3.4 Ham karo numunelerinin mukavemet tayinin yapıldığı test cihazı.....	35
Resim 3.5 Pişmiş karo numunelerinin mukavemet tayinin yapıldığı test cihazı.....	35
Resim 3.6 Spektrofotometre cihazı.....	37
Resim 3.7 Black core örnek görüntüsü.....	38
Resim 3.8 Black core görüntüsü.....	39
Resim 3.9 Isıtıcıli mikroskopta sinterleme davranış tayininde kullanılan numune örneği.	39
Resim 4.1 Pişmiş karo numuneleri.....	49
Resim 4.2 Şahit reçete SEM görüntüsü.....	52
Resim 4.3 Reçete 2 SEM görüntüsü.....	52
Resim 4.4 Reçete 4 SEM görüntüsü.....	53

1. GİRİŞ

Seramik sektöründe ucuz hammadde ile üretim yaparak kaliteli ürün üretmek adına ciddi bir rekabet vardır. Son yıllarda kaliteli hammadde rezervlerindeki hızlı tükenme geleneksel seramiklerin üretiminde özellikle ekonomik, sanatsal ve çevresel faktörler dikkate alındığında alternatif hammadde arayışı vardır.

Doğadan elde edilen kil, kaolen, kuvars ve feldspat maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen malzemeye seramik denilmektedir. Bu maddeler hamur haline getirilerek preslenir ve yüksek sıcaklıkta fırınlanır. Seramiklerin ön yüzü genellikle sır dediğimiz koruyucu bir tabaka ile kaplanır. Seramikler karolar su emme oranlarına göre üç gruba ayrılır. Su emme değeri %0,5'ten küçük ise granit, %0,5 - %3 arasında ise yer karosu, %10'dan fazla ise duvar karosu sınıfına girmektedir. Seramik karolar geleneksel seramikler sınıfına girmektedir. Geleneksel seramikler doğada bulunan hammaddeler kullanılarak üretilir. Geleneksel seramikler üç temel hammadde kullanılarak elde edilir. Bunlar kil, kuvars ve feldspattır. Bu temel hammaddelerden kil bağlayıcılık, kuvars sertleştirici ve feldspat ise ergitici özellik göstermektedir.

Andezit atığı, andezit doğal taşının fabrikalarda işlenmesi sırasında ortaya çıkan bir malzemedir. Andezit kimyasal yapısı feldspat ile neredeyse aynıdır ve bundan dolayı masse reçetesine feldspat yerine andezit atığı eklenerek ergitici olarak kullanılabilir. Aynı zamanda atıkların geri kazanımı ile tabii kaynakların tükenmesine bir nebze de olsa engel olunabilir. Ülkemizde gerçekleşen hızlı ekonomik büyüme, teknolojik gelişme, sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve refah seviyesinin yükselmesi üretilen atık miktarında artış yaşanmasına neden olmaktadır. Artan atık miktarı nedeniyle karşılaşılan zorluklar atıksız veya olabildiğince az atıklı üretimi ve tüketimi amaçlayan "atık yönetimi yaklaşımını" gerektirmektedir. Seramik endüstrisinde ciddi bir rekabet söz konusudur. Ekonomik olarak bu rekabeti çözmek adına atıkların kullanılması son derece önemlidir. Andezitler nötr (ne koyu- ne açık) magma ürünlerinden oluşmaktadır. Kuvars miktarı % 5-20 arasında ise kuvars andezitleri meydana getirmektedirler. Silis toplamları % 52-66 arasında bulunmaktadır (Önenç 2002). Andezitlerdeki plajyoklazlar, andezin, labrador ve oligoklas mineralleridir. Mafik mineralleri ise; olivin, piroksen, hornblend ve biyotitten oluşmaktadır. Çoğunlukla bunlardan bir mineral andezitte

egemen olmaktadır. Andezit kayacının mineralleri; andezin+ hornblent+ kuvars 'tır. Andezitteki kuvars % 5'den azdır (Kaya 2013). Andezit Türkiye'de sık kullanılan bir malzemedir. Hem iç hem de dış mekanlarda kullanımı uygundur ve oldukça da yaygındır. Bu nedenle atık probleminin artması ve depolama sorununa çözüm olması adına bu tez çalışması yapılmıştır. Atığa katma değer katacak çözüm yollarından birisi ise pişmiş seramik bünyelerde kullanımınıdır.

Dünyada gelişen teknoloji ile birlikte var olan malzemelerin teknik performansı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yeni malzemeler geliştirilmesi veya var olan malzemelerin iyileştirilmesi mühendisler ve araştırmacılar için önemli bir bilimsel çalışma alanı oluşturur. Gelişen sanayiyle birlikte üretim atıkları oluşmaktadır. Bu atıklar çevreye ve ekolojik sisteme zarar verebilmektedir. Bu atıklar diğer sanayi kollarında değerlendirilerek zararlı etkileri ortadan kaldırılabılır (Boltakova 2017).

Bu çalışmada depolanan andezit atıkların miktarını azaltmak, atıkların oluşturduğu çevre kirliliğini önlemek ve atığı ekonomiye kazandırmak amacıyla seramik karolar bünyesinde alternatif malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Seramik Karolar

Seramikler, bir veya birden fazla metalin, metal olmayan elementler ile birleşmesi ve sinterlenmesi sonucu oluşan inorganik bileşikler olarak adlandırılabilir. Seramik malzemeler farklı bileşimlerde kristal ve cam yapıları fazlarla birlikte belirli oranlarda porozite barındırmaktadır. Seramik bünyesindeki bu bileşenlerin oranları ve dağılımları seramik malzemelerin özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Örneğin; yapıda bulunan fazların yerleşim bölgelerini değiştirmek, yalıtkan olan bir seramik malzemeyi iletken şekle sokabilir.

Seramik endüstrisi birçok diğer endüstrinin yapı taşı olması sebebiyle malzeme mühendisliği açısından önemli bir yere sahiptir. Örneğin refrakterler, seramikler, metalurji endüstrisinin; aşındırıcılar, makina-takım endüstrisinin; cam ise inşaat, elektronik ve oto endüstrisinin temelini oluşturur. Ayrıca son yıllarda geliştirilen ileri teknoloji seramikleri bilgisayar, elektronik, havacılık ve uzay endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Seramiklerin kimyasal yapıları, basit bileşiklerden karmaşık fazlara kadar geniş bir ölçekte değişir. Bileşimlerinde doğada yaygın olarak bulunabilen metal oksitler, silikatlar, karbürler, nitrürler, borürler ve camlar içerebilir. Bu sebeple kristal yapıları karmaşıktır. Seramiklerde amorf yapılar bulunabileceği gibi amorf/kristalin karma yapılar da gözlenebilir. Seramiklerin özellikleri kimyasal bağ yapıları ile doğrudan ilgilidir. Seramik malzemelerin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık,
- Düşük tokluk ve süneklilik,
- Elektriksel ve ısı yalıtkanlık,
- Yüksek kimyasal kararlılık ve oksidasyon direnci,
- Yüksek sertlik,
- Düşük yoğunluk
- Hammadde kaynaklarının dünyada bol olması,

- Pahalı ve stratejik metallere duyulan ihtiyacı azaltması,
- Sürtünme katsayılarının düşük olması,
- Basma dayanımlarının yüksek olması.

Seramiklerin en büyük dezavantajları gevrek ve kırılgan bir yapıya sahip olmalarıdır. İçerdikleri poroziteler sebebiyle çekme dayanımları düşük, basma dayanımları yüksektir.

2.2 Seramiklerin Sınıflandırılması

Seramikler temelde iki sınıfa ayrılırlar.

- Geleneksel seramikler
- İleri teknoloji seramikleri

2.2.1 Geleneksel Seramikler

Geleneksel seramikler doğada bulunan hammaddeler kullanılarak hazırlanır. Temellerinde üç farklı bileşen barındırırlar. Bunlar kil, kuvars ve feldspattır. Porselen, tuğla, cam, çimento, kiremit ve çanak-çömlekler geleneksel seramiklere örnek olarak verilebilir.

Killer doğa da yaygınca bulunabilir. Killer yeterince ince ve yaşken plastik, kurduğunda ise sert özellik gösterirler. Uygun sıcaklığa eriştiklerinde sertleşirler. Kaolen saf bir kil olup, $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ bileşimi ile gösterilmektedir. Silika, feldspat ve diğer minerallerin birleşimi ile farklı seramik ürünleri elde edilir. Bu tarz karışımlarda, kuvars sertleştirici, feldspat ise ergitici rol almaktadır.

Geleneksel seramiklerin mikroyapıları karmaşıktır. Yapılarında bulunan fazlar bölgeden bölgeye farklılık gösterebilir. Bu sebepten dolayı seramiklerin sergilemiş olduğu özelliklerde birbirlerinden farklılık gösterebilir.

2.2.2 İleri Teknoloji Seramikleri

İleri teknoloji seramikleri mühendislik seramikleri, modern seramikler, teknik seramikler şeklinde farklı biçimlerde de adlandırılabilir. İleri teknoloji seramikleri geleneksel seramiklere kıyasla daha yüksek saflık derecesine ve daha kararlı bir bileşime sahiptir. İleri teknoloji seramiklerinin üretiminde kullanılan hammaddeler çoğunlukla yapay olarak yada doğal hammaddelerin saflaştırılması ile elde edilir. Saf veya saflık derecesine çok yakın alüminyum oksit (alümina), zirkonya, magnezya, berilya, silisyum karbür ve silisyum nitrür gibi bileşenlerden oluşur.

İleri teknoloji seramiklerini geleneksel seramiklerden ayıran en temel özellik, ileri teknoloji seramikleri tek veya iki fazdan oluşurlar. Geleneksel seramikler ise büyük bir kısmı birden fazla fazdan oluşmaktadır. Bu iki tür seramiğin üretiminde kullanılan hammaddeler bunun gibi farklılıklara sebep olmaktadır. Bir ileri teknoloji seramiğinin;

- Kristal yapısı genellikle basittir,
- Ortalama tane boyutu geleneksel seramiklere göre küçüktür,
- İçerdikleri yabancı madde oranları çok düşük olduğundan saflık dereceleri yüksektir,
- Özellikleri daha iyi belirlenebilir.

İleri teknoloji seramikleri, aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Elektrosramikler
 - Elektronik substrat paket seramikleri
 - Kapasitör, dielektrik, piezoelektrik seramikler
 - Magnetik seramikler
 - Optik seramikler
 - İletken seramikler
- İleri teknoloji yapısal seramikler
 - Nükleer seramikler
 - Biosramikler

- Tribolojik (aşınmaya karşı dayanıklı) seramikler
- Otomotiv seramikleri

2.3 Geleneksel Seramiklerde Kullanılan Hammaddeler

Geleneksel seramik üretim prosesinin en mühim hammaddesi, suyla birleştiğinde plastik özellik gösteren killer, biçimlendirmede plastiklik göstermeyen ve pişerken ergime özelliği gösteren feldspat, ergimeye dirençli ve massede temel çatı fonksiyonunu gerçekleştiren silisyumdur (Kayacı 2007).

Seramik sektöründe kullanılan hammaddeler ürün kalitesini ve fiyatını doğrudan etkilemektedir. Kaliteli hammadde kullanıldığı takdirde nihai ürünün kalitesi ve buna bağlı olarak fiyatı da o yönde olumlu olarak değişecektir.

Seramikte kullanılan hammaddeler özlü ve özsüz olacak şekilde iki grupta sınıflandırılabilir.

2.3.1 Özlü Seramik Hammaddeleri

Su ile yoğurularak basitçe şekil verilebilen, nemini yitirip sertleştikten sonra şeklini koruyan hammaddelere özlü seramik hammaddeleri adı verilmektedir. Killer ve kaolenler bu sınıfa girmektedirler.

Killer ve kaolenler, içeriğinde feldspat olan granitik veya volkanik kayaçların doğal koşullarında, kimyasal ve fiziksel değişikliğe uğramasından oluşmuşlardır. Kaolinitin kristal yapısı tam şekillidir, kilde ise köşelerinden kırılmalar mevcuttur. Aynı zamanda boyu fazlaca kısadır. Kaolinitin bünyesindeki bilinmeyen maddelerin seyrekliğinden dolayı pişirim rengi beyazdır. Kaolinitin kristali, kilin kristaline göre daha iridir. O sebeple kil hammaddesinin plastikliği yüksek ve aynı zamanda kuru direnci daha çoktur. Kaolinitin kristal olarak iriliği ve arılığı ateşe karşı direncini fazlaca artırır ve pişikten sonra oluşan ufalmalar kile oranla daha düşüktür (Tanışan 1998, Binal 2013).

Kaolen ve kil grubundaki mineraller tabakalı silikatlar olarak adlandırılmaktadırlar. İki

ayrı biçimde meydana gelen bu geometrik yapıların birincisi, düzgün sekizyüzlü oktahedral yapıda olan, merkezinde alüminyum, (içerisinde Mg ve demir atomları olan atom şeklinde olabilir.) köşesindeyse hidroksil iyonları mevcuttur. Geometrik yapıların ikincisi ise, düzgün dörtyüzlü tetrahedral yapıda olan ve merkezinde silisyum atomu, köşelerindeyse merkezde bulunan atomdan eşit mesafede oksijen ve hidroksil iyonları mevcuttur (Reed 1995, Binal 2013). Silika tabakasındaki tetrahedraların tepesi ve oktahedral tabakada bulunan oktahedraların yüzeyinde bulunan birtakım oksijen iyonlarının ortak kullanılmasıyla, kaolinit mineralinin tetrahedral oktahedral biçiminde gösterilen birim tabakası ortaya çıkmıştır (Freeman 2006, Binal 2013). Birden çok birim katmanın üst üste durmasıyla kaolinit parçacıkları ve bu parçacıkların rastgele yayılarak toplanmasıyla kaolinit minerali meydana gelir (Karakaya 2006, Binal 2013). Tabakaları gereğince kil minerallerinin bölümlendirilmektedir.

- Kristal yapıda olmayan (amorf) kil mineralleri
- Kristal yapıda olan kil mineralleri

Kristal yapıda olan kil mineralleri dört grupta incelenebilir:

İki Tabakalı Olanlar (1:1 Tipi): Eşit boyutta olanlara Kaolinit Grubu adı verilir. Uzun çubuk şeklinde olanlara Halloysit grubu adı verilir.

Üç Tabakalı Olanlar (2:1 Tipi): Genişleyen kafes yapısına sahip olanlara montmorillonit adı verilir. Genişlemeyen kafes yapısına sahip olanlara illit grubu adı verilir.

Karışık Tabakalı Olanlar: Karışık tabakaya sahip olan kil minerallerine, klorit grubu adı verilir.

Zincir Yapıda Olanlar: Zincir yapıya sahip olan kil minerallerine, attapulgit, sepiolit adı verilir.

Killer, yakın boyuttaki başka tozlarla birleştirildiğinde, tabakalı yapıları sebebiyle, çok

daha fazla kendilerine has yüzey alanlarına sahiptirler. Bu durum kil ile su birleşiminin plastik olmasını sağlar. Kilin plastiklik oranı, içeriğinde bulunan su ile doğru orantılıdır. İçerisindeki su miktarı ne kadar fazla ise kilin plastikliği o kadar fazladır. Killerin içerisinde bulunan nem azaldıkça kil, sert bir yapıya bürünerek, kırılabilirliği artar ve buna bağlı olarak da mukavemette azalma gözlemlenir.

Taneler ne kadar ince ise killer o kadar plastik özelliğe sahip olurlar. Kaolinitin yapısı, 0,1-2 mikron plaka halindeki kristaller bütününden meydana gelen aynı zamanda genellikle belirtilen kristaller, kendi üzerinde tabaka şeklinde dizilidir. Kaolinitte bulunan kristaller suyla beraber dağıtıldığında her plaka kolayca serbest olur (Uçar 2008).

Killerdeki su ile şekillendirme işlemi elde edilmesi istenilen seramik malzemenin tipine bağlı olarak değişiklik gösterir. Suyun oranının değişmesi, kilin ve hamurun kıvamını etkiler. Killerde su oranı azaldığı takdirde killerde katılaşma gözlemlenir. Eğer ki su miktarı artarsa, kilin akıcılığı sağlanır. Bu duruma kıvam denilmektedir.

Soğurma özelliği, killer içeriklerindeki mineraller sebebiyle gözeneklidirler (Grim 1975).

2.3.2 Özsüz Seramik Hammaddeleri

Taneleri ufak olacak biçimde öğütülse dahi, suyla birleştiğinde basit biçim verilemeyen, verilse de biçimini kaybeden hammaddelere özsüz seramik hammaddeleri adı verilmektedir. Feldspat, manyezit, dolomit, kuvars bu sınıfa girmektedirler (Kayacı 2006, Kayacı 2007). Genel olarak özsüz seramik hammaddeleri, seramik çamurunun kuru ve pişme küçülmesi, kuru mukavemet gibi değerleri aşağıya çekerek pişme sıcaklığı aralıklarını ve pişirim özelliklerini etkiler (Arcasoy 1983, Binal 2013).

2.3.3 Kuvars

Kuvars yeryüzünde en fazla olan hammaddelerdendir. Seramik bünyesinin iskeleti

görevindedir. Kuvars yeryüzünde en fazla olan hammaddelerdir. Seramik bünyenin güçlü sıcaklık derecelerinde sağlam durmasını sağlar. Ergime sırasında genleşme değerini azaltır. İstenilen şekilde erimemesi durumunda bünyenin genleşme değerini fazlalaştırır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı fazladır.

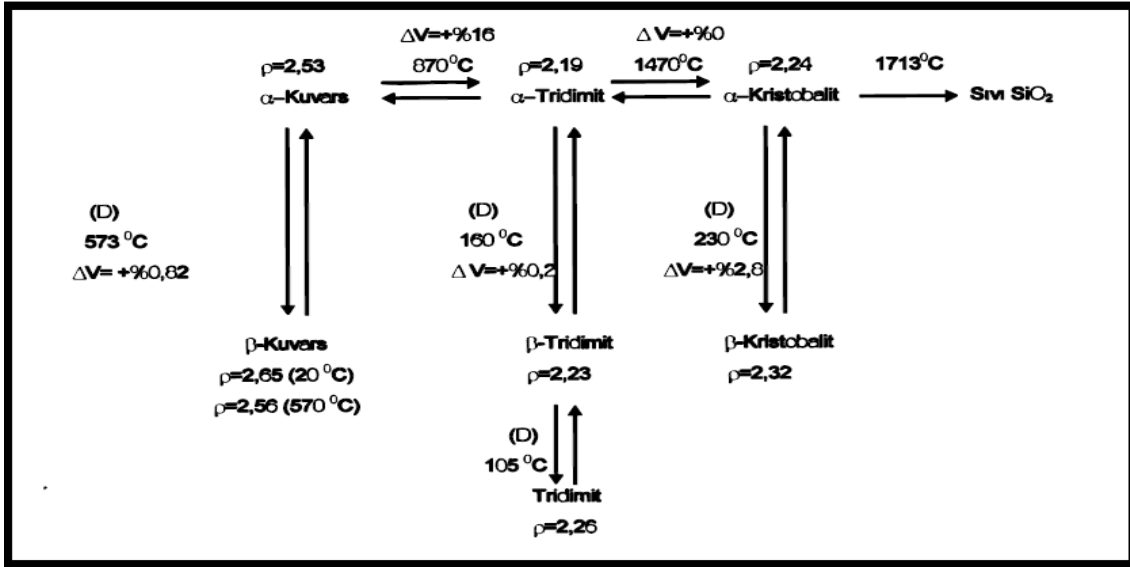
Kuvars, pişirim küçülmesini indirger ve plastiklik özelliklerinin düzenlenmesine yarar sağlar. Pişirim sırasında deformasyonsuz bir şekilde gazın çıkmasına olanak verir (Arcasoy 1983). Küçük tane boyutundaki kuvars mukavemet artışını sağlar. Ek olarak tane boyutundaki büyüklük, mikro boyuttaki çatlakların oluşmasına eğilim göstererek mukavemeti azaltır. Bunun sebebi hacim değişikliğine sebep olan kuvarsın allotropik dönüşümüdür (Vieira 2006).

EN101 test standardına göre mohs sertlik ölçüm değeri 7 Mohs, özgül ağırlığı 2,65'tir. Kuvarsın kırılım yüzeyi midyenin kabuk yapısı şeklindedir. Görünüşü ise cam ve yağ gibidir. Rengi olmayan bir biçimde ya da içerisindeki farklı maddelerin renklerinde kuvarslar mevcuttur. Bileşimi % 46,7 Si, % 53,3 O'dur (Sacmi 2002).

Kuvars kristalleri doğada üç farklı polimorf yapıda bulunur:

- Kuvars
- Tridimit
- Kristobalit

Belirtilen üç kristal yapı ısı değişikliklerinde yekdiğerine ve kendi içlerinde başka kristal şekillere dönüşmektedirler (Temur 1994). Polimorfik değişiklikler Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kuvarsin kristal yapısının polimorfik değişimi.

Seramikteki tüm hammaddeler sıcaklığa maruz kaldıktan sonra hacim olarak küçülme göstermektedirler. Ancak yalnızca kuvars, polimorfik dönüşümler sonucunda hacim olarak büyür. Kuvarstaki bu özel durumdan ötürü seramiklerin pişmesindeki dönüşümlerin sıcaklığında mühim derecelerde ısıtmadaki ve soğutmadaki şiddetine özen gösterilmelidir (Cornelius ve Hurlbut, 1982). Normal şartlar altında dengeli yapıda olan α -kuvars 573°C 'de β -kuvarsa dönüşmektedir. Yer değişimi sistemiyle devam eden bu dönüşüm için ek bir maddeye ya da fazla bir süreye ihtiyaç yoktur. Bu sebeple ısıtma ve soğutma safhasında, dönüşümün olmasına engel olunamaz. Ortaya çıkan iç gerilmelerden minimum zarar görme için sıcaklık değeri fırın içerisinde yavaşça geçilmektedir.

870°C 'de kuvars çok yavaş bir biçimde kararlı tridimit haline geçer. Belirtilen dönüşme, tekrar yapılaşma sistemi ile ilerlediğinden yüksek aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyar. Bu sebeple, seramiklerin pişirimi sırasında dönüşme meydana gelmediğinden dolayı bunun gibi diğer dönüşümlerde sorun olarak görülmez.

Seramik bünyesinde kuvars kuruma sırasında oluşan boşlukları kapatabilmek adına dolgu görevi görür. Bu işlem ile beraber kuruma daha da kolaylaşarak kuruma küçülmesini ve plastikliği düzene sokar. Pişirilmiş seramik bünyenin beyazlık seviyesinin kontrolü kuvars ile sağlanabilmektedir.

Kuvarsın en mühim özelliği ise seramik bünyedeki termal genleşmeyi kontrol altında tutmasıdır (Kayacı 2007).

2.3.4 Alkali Oksit İçeren Hammaddeler

Alkali oksit içeren hammaddeler bileşiminde K_2O , Na_2O , CaO gibi alkali ve toprak alkali oksit bileşiklerini bulundurmaktadırlar. Bu hammaddelerin esas kaynakları feldspatlardır. Feldspatlar, doğada farklı mineraller ile birlikte bulunurlar. Asla doğada saf bir şekilde bulunmamaktadırlar. Feldspatlar düşük ergime dereceleri olduğundan bünyede hemen eriyerek camsı faz oluştururlar. Gözenekliliği kontrol edebilmek adına, bünyenin pişirim sıcaklıklarını düşürüp pişme küçülme oranını artırır. Seramik karolarda potasyum feldspat ve sodyum feldspat mevcuttur. Seramik testlerinden olan su emme testinde de, bünyede oluşan gözenekliliği kapatarak su emme düşürücü görevi üstlenmektedirler (Kayacı 2006).

Genel olarak özetlenmek istenilirse, hammaddelerin seramik bünyesinde oluşturacağı etkiler Çizelge 2.1’de belirtilmiştir. Çizelgeye göre olumlu etkiler (+), olumsuz etkiler (–) ile belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Hammaddelerin seramik bünyesinde oluşturacağı tesirler (Sacmi 2002).

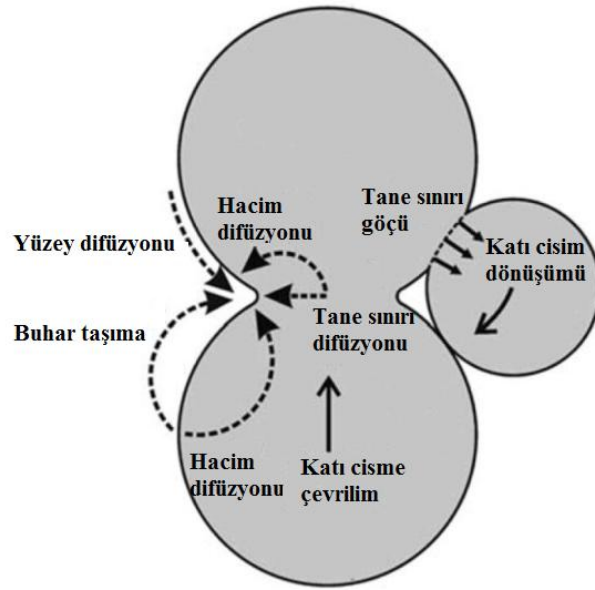
<i>Değerlendirmeler</i>	<i>Killer</i>	<i>Kaolenler</i>	<i>Mermer Alkali</i>		<i>Kuvars</i> <i>- Kum</i>	<i>Talk</i>
			<i>Dolomit</i>	<i>Oksit Hammaddeler</i>		
Sertlik	1	1-2	3	4-6	7	1
	Mohs	Mohs	Mohs	Mohs	Mohs	Mohs
Öğütme	+	+	-	-	-	-
Viskozite	-	-	+	+	+	-
Plastiklik	+	+	-	-	-	+
Ham	+	+	-	-	-	-
Mukavemet	-	-	+	+	+	-
Kurutma	-	-	+	+	+	-
Kuru Küçülme	-	-	+	+	+	+
Kuru Mukavemet	+	+	-	-	-	+
Erime	+	-	+	+	-	-
Pişme	-	-	-	-	+	+
Küçülme	-	-	-	-	+	+
Su Emme	+	-	-	+	-	+

2.4 Sinterleme İşlemi

Sinterleme, erime sıcaklığının altında yüksek bir sıcaklıkta bir toz veya tozun ısıl işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kuru preslenmiş seramik karonun ergime sıcaklığının altındaki yüksek sıcaklıklarda hammaddelerin difüzyon ile birbirleri ile kaynaşması ve bu sayede yapının oldukça yüksek dayanıklı bir yapı haline getirilmesi işlemidir. Sinterleme esnasında poroziteler küçülür veya yok olur. Sinterleşme işleminin daha verimli olması açısından izostatik presler kullanılır. Bu sayede şekillendirilen tozlar, gaz basıncı altında sinterlenmektedir. Sinterleme işleminin asıl amacı, toz yoğunluğunu arttırmaktır. Seramik malzeme üretiminde uygulanan şekillendirme yöntemlerinde

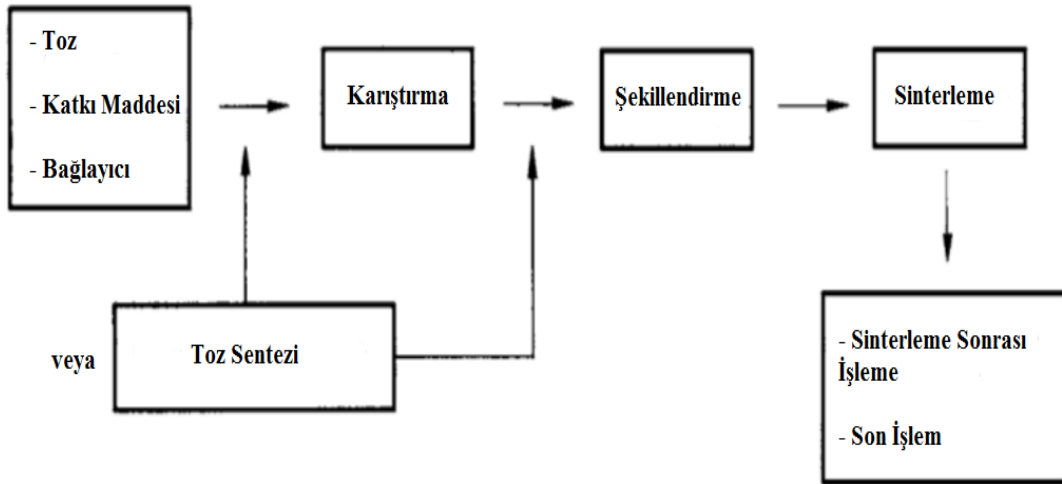
genellikle farklı boyutlarındaki tozların en iyi biçimde birleşmesi istenmektedir. Sinterleme malzemenin özelliklerinde birçok değişime neden olur.

Sinterleme işlemi ile beraber mukavemet, yoğunluk, ısı iletkenlik, opaklık gibi teknik özelliklerde artış gözlemlenir. Şekillendirme sırasında sıkıştırılan tozlar kurutulmuş birbirlerine değeri. Ancak hala içerisinde gözeneklilik mevcuttur. Teknik özelliklerde iyileştirme yapılabilmesi adına bu gözenekliliğin minimum oluşması engellenmelidir. Pişirim safhasında difüzyon hızlandığından dolayı birbirlerine değeri tozlar yüzeydeki difüzyon sebebiyle kendi aralarında boyun oluşturarak bağlanırlar. Bu şekilde gözeneklilik azalır ve yoğunluk artar. Aynı anda taneler küre haline gelir ve gözeneklilik tamamıyla ortadan kalkar. Sinterleme mekanizmaları, şekil 2.2’de belirtilmiştir (Krell 2003).



Şekil 2.2 Sinterleme mekanizmaları (Haussonne 2005).

Sinterlemenin genel oluşum modeli Şekil 2.3’de belirtilmiştir.

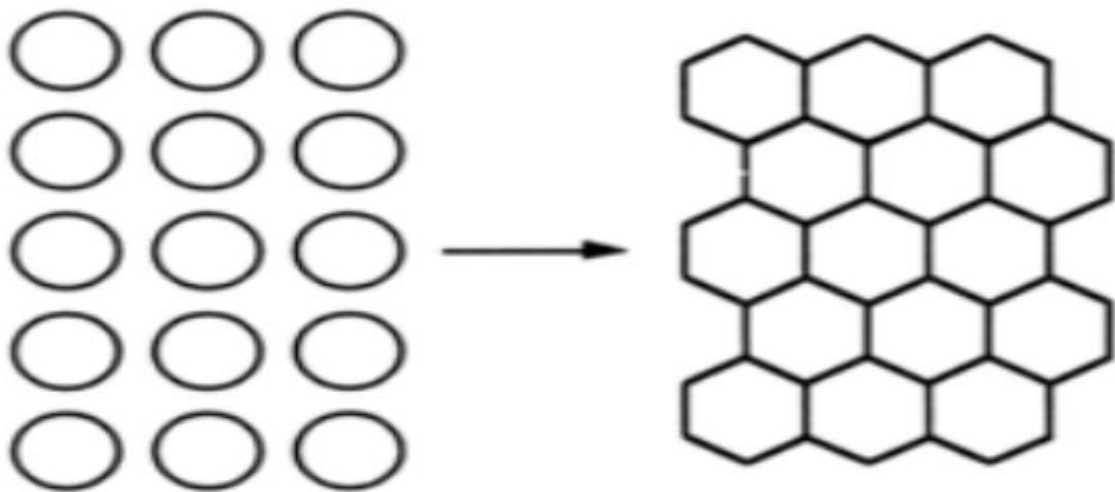


Şekil 2.3 Sinter parçalarının genel oluşum modeli.

Seramik malzemelerde görülen sinterleme mekanizmaları dört adettir. Bunlar; katı hal sinterlemesi, sıvı hal sinterlemesi, reaktif sıvı sinterlemesi ve buhar faz sinterlemesidir.

2.4.1 Katı Hal Sinterleme Mekanizması

Ergime sıcaklıklarının aşağısında olacak şekilde sıkıştırılan toz malzemelerin ısıyla beraber aktifleşmesi işlemidir. Bu sinterleme türü, sadece atomik boşlukların difüzyonu ile oluşmaktadır. Şekil 2.4'te katı hal sinterlemesi mekanizması mevcuttur.

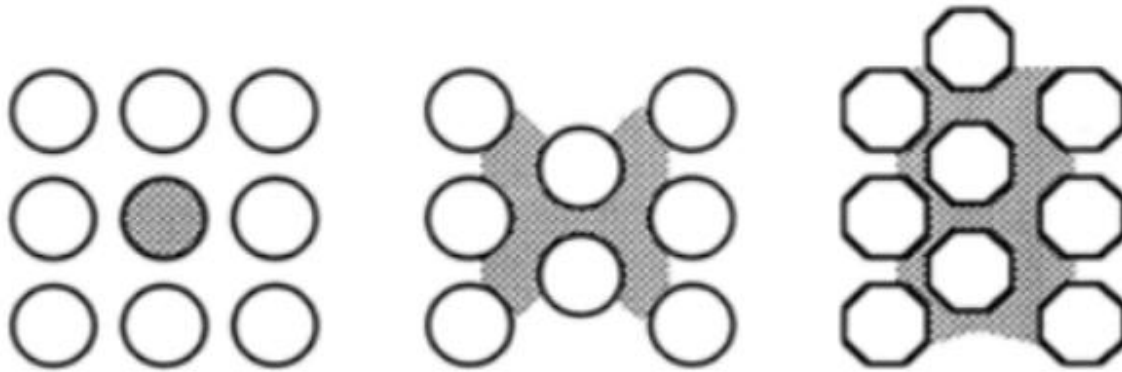


Şekil 2.4 Katı hal sinterleme mekanizmasının gösterimi.

2.4.2 Sıvı Hal Sinterleme Mekanizması

Sıvı hal sinterleme mekanizmasında, sinterleme sıcaklığı sırasında fazların bir tanesi sıvı halde bulunmaktadır. Ergime sıcaklıkları arasında büyük farklılık olan malzemelerde görülmektedir. Katı fazdaki tozlar sıvı hal ile ıslatılarak tozlar arasında kalan ince boşluklarda kapiler kuvvet oluşur. İnce taneli tozlarda kapiler kuvvetin basınç değeri daha yüksek olduğundan sinterleme işlemi daha hızlı gerçekleşir.

Sıvı hal sinterlemesinde şekillendirilmiş olan tozlar, sıvı faz oluşum sıcaklığının alt sıcaklığında sinterlenir. Sıvı hal oluşurken aniden bir büzülme meydana gelir. Bu sırada da katı taneler sıvı hal içerisinde nizami bir düzene girer. Sıvı hal sinterleme mekanizması şekil 2.5'te belirtilmiştir.



Şekil 2.5 Sıvı hal sinterlemesi mekanizması.

2.4.3 Reaktif Sıvı Sinterleme Mekanizması

Ergime sıcaklığı yüksek seramik malzemelerde veya oksitlerde sinterleme işleminin kolaylaşması adına düşük sıcaklıklarda ergiyen reaktif bir malzemenin ilavesi ile gerçekleşir. Sıvı hal sinterlemesiyle benzerlik gösterir.

2.4.4 Buhar Faz Sinterleme Mekanizması

Bu sinterleme mekanizması yalnızca bir kaç mekanizmada önemlidir. Süreç, itici güç ve

yüzey eğimi sebebiyle buhar basıncında oluşan farklılıktır. Bu sistemde, yüksek olan buhar basıncından (yüzey alanından) daha az buhar basıncına taşınım olur. Bu şekilde taneler şekil itibari ile değişim gösterirken istenilen yoğunluk sağlanmaktadır (Çalışkan 2015).

2.5 Seramik Karolar ve Üretim Prosesi

Seramik karolar iç ve dış mekanlarda kullanılan kaplama malzemeleridir. Seramikler; sırlı, sırsız olarak sınıflandırılır. Aynı zamanda şekillendirme yöntemine göre kuru preslenmiş karolar, EN 14411 standardına göre su emme gruplarına göre granit, yer karosu ve duvar karosu olmak üzere 3 gruba ayrılırlar. Bu ayırım ürünlerin ISO 10545-3 test metoduna göre yapılan su emme testine göre belirlenir. Bu sınıflandırmaya göre iç ve dış mekan olarak karoların döşeneceği alanlar tayin edilir. Seramiklerin su emme grubuna göre dağılımı Çizelge 2.2’de mevcuttur.

Çizelge 2.2 Seramik Karoların EN 14411 Standardına göre Sınıflandırılması.

<i>EN 14411 Kuru Preslenmiş Karo Sınıflandırması</i>	<i>ISO 10545-3 Standardına Göre Su Emme Oranı</i>
Granit Karolar (BIa)	$\leq 0,5 \%$
Yer Karosu (BIb)	$0,5 \% < Eb \leq 3,0 \%$
Duvar Karosu (BIII)	$> 10,0 \%$

Duvar karoları su emme derecesi 10,0%’nin üzerinde yalnızca duvar döşemesine uygun karolardır. Yer karoları $0,5\% < Eb \leq 3,0\%$ değerleri aralığında olup iç ve dış mekan yer döşemelerine uygundur. Granit ise mukavemeti, dona dayanıklılığı iyi olan ve 0,5%’den küçük su emmeye sahip karolardır. Granit ürünler hem iç mekan hem de dış mekan olmak üzere yer ve duvar döşemelerine uygundur.

Granit karoların pişirim sıcaklıkları 1170 – 1200 °C, pişirim süreleri ise ortalama olarak 40-60 dakika arasında değişmektedir. Granit karolara genellikle monoporoza tek pişirim

yapılmaktadır.

Seramik karoların üretimleri, genelde kırma/öğütme, püskürtmeli kurutucuyla masse granüllerinin elde edilmesi, kuru presleme, sırlama ve pişirme aşamalarını içerir.

- Hammadde ve Masse Hazırlama
- Presleme
- Kurutma
- Sır Uygulaması
- Baskı İşlemi
- Fırınlama ve Pişirim
- Ambalajlama ve Paketleme

2.5.1 Hammadde ve Masse Hazırlama

Yurtiçi ve yurtdışı tedarikçilerinden alınan hammaddeler hammadde depolama bölgesinde depolanır. Fabrikaların üretim planına göre hammaddeler masse hazırlama bölümünde reçeteye göre hazırlanır. Masse hazırlama departmanın asıl amacı önce çamur hazırlamak sonrasında bu çamurdan granül elde etmektir.

Masse hazırlama bölümünde üç tip karo sınıfı için oluşturulan reçetelere göre masse oluşturulur. Masse hazırlama prosesi reçetedeki tüm malzemelerin değirmende öğütülmesi ile başlayarak sonrasında çamur havuzunda dinlendirildikten sonra sprey kurutucuda kurutulmasıyla sonlandırılır. Sprey kurutucuda çamur kurutularak granül haline getirilir. Bu granüllere masse adı verilir. Hazırlanan masse sonraki işlem olan preslere doğru konveyör bantlar yardımıyla iletilir.

2.5.2 Şekillendirme – Presleme – Kurutma

Hidrolik presler ile kuru presleme, karoların biçimlendirilmesinde en çok kullanılan karoların biçimlendirilmesi metottur. Biçimlendirme kalıp içindeki massenin mekanik şekilde preslenmesi ile gerçekleştirilir. Presleme işleminin asıl amaç yüksek nemli

karonun yoğunluğunu elde edebilmektir. Kuru şekillendirilmiş karolardaki gözeneklilik doğal maddelerin yükseltgenmesine ve pişme aşamasındaki gaz çıkışına izin vermelidir. Üretimi yapılan ürünlerin belirlenen özelliklerine göre (kalınlık, rölyef tipi, şekil, ebat vb.) hazırlanan kalıplar prese bağlanır. Masse Hazırlama bölümünden gelen masse, ürün grubuna bağlı belirli bir basınçta preslenerek şekillenir. Yüzeyin yağ olmasından dolayı meydana gelen Van der Waals kuvveti ile adezyon masseyi kalıba yapıştırabilir. Yapışmayacak şekilde kusursuz bir yüzey ile iri taneli masse en iyi akışa sahip olacaktır. Eş yoğunlukta seramik karo olması için kalıplara massenin doldurulma işlemi nazikçe olmalıdır (Reed 2000).

Şekillendirilen ham karo (bisküvi) ebada göre değişken sürede nemini dışarı atmak için kurutmada tutulur. Neme sahip olan bir ham karo daha az mukavemete sahip olacaktır. Bu sebeple sırlama işlemine geçmeden önce bisküvi üzerinden nemin denetimli olacak şekilde buharlaştırılması gerekmektedir (%4-7).

Kuruma işlemi ilk olarak yüzey kısmından başlar, gözeneklerdeki su buharlaşır. Gözeneklerdeki suyun buharlaşması sırasında kurutma sıcaklığı arttırılırsa yüzey daha önce kuruyarak gözenekler kapanacaktır. Bu durumda gözeneklerden çıkacak olan suyun çıkmasına engel olacaktır. Gözeneklerdeki suyun dışarı atılamaması kuruma çatlağı ve deformasyona sebep olacaktır (Arcasoy 1983).

2.5.3 Sırlama

Kurutmadan çıkan mukavemetli karo sırasıyla, yağmurlama, engoplama ve sırlama işlemlerinden geçer. Yağmurlama işleminin sebebi, ham karoya kurutma sırasında uygulanan sıcaklıktan dolayı, nihai ürün olduktan sonra oluşabilecek deliklenme gibi bir sorunun önüne geçilmesidir. Bu sebeple ürün grubuna göre, belirlenen oranlarda yağmurlama işlemi yapılır. Preslenmiş ham karoya engop atılmasının sebebi ise masse ve sır arasındaki genleşme katsayısının yakın olması gerekliliğidir. Engoplama işleminde viskozite, gramaj ürün grubuna göre değişmektedir.

Nihai üründe; camsı bir görünümün oluşması ve seramik karonun dayanımının arttırılması için (çizilmelere karşı) sır uygulaması yapılmaktadır. Sırlama işleminde

gramaj, yoğunluk gibi değerler ürün grubuna (yer karosu, granit, duvar karosu) göre değişmektedir.

2.5.4 Baskı

Engop, sır uygulamalarından çıkan pişmemiş karoya dijital baskı veya Rotocolor cihazı ile baskı uygulanmaktadır. Baskı işlemi nihai ürünün üzerinde bulunan tasarım olacak şekilde yapılır. Dijital baskıda, bilgisayarda bulunan desenler sırasıyla seramik karonun yüzeyine uygulanır. Rotocolor makinesindeyse daha öne hazırlanan pasta ve elek ile desenler basılır.

2.5.5 Fırınlama-Pişirme

Şekillendirme, kurutma, yağmurlama, engoplama ve sırlama işlemleri uygulandıktan sonra baskı yapılan ham karolar, fırınlarda pişirim işlemine tabi tutulur. Fırınlarda sıcaklığı fırın girişi kademeli olarak artar sonrasında cehennem bölgesi denilen en sıcak bölüme ulaşır ve yine kademeli olacak şekilde sıcaklık düşerek çıkar. Pişirme sırasında, sıcaklık, süre ürün grubuna göre değişir.

2.5.6 Kalite Ayrımı ve Paketleme

Fırınlama sonunda nihai ürün haline gelen karolar, görsel özellik için kalite ayırımına tabi tutulur. Görsel kalite ayırımı sonrası karolar, boyut aralıklarına göre, kaliber cihazı vasıtasıyla ayrı sınıflandırılır.

Kalite ayırımı yapılan karolara, kalite ve kaliber özelliğine göre paketleme işlemi gerçekleştirir. Paketlenmiş karolar istiflenerek shrinkleme işlemine tabi tutulur.

2.5.7 Nihai Ürün Kalite Kontrol Testleri

Kuru preslenmiş seramik karolar EN 14411 Avrupa Standardında belirtilen test metotlarına göre teste tabi tutulur. Standartta yer alan bazı test metotları şu şekildedir:

ISO 10545-2 test standardına göre ürünün geometrik ve yüzeysel özellikleri kontrol edilir. Standarda göre duvar karosu, yer karosu ve granit olacak şekilde boyut ölçümü gerçekleştirilir. Boyut ölçümleri kumpas ile gerçekleştirilir. ISO 10545-2 test standardına göre yapılan boyut ölçümü neticesinde karolar EN 14411 standardında belirtilen sınırdaysa standart içi olduğu belirtilir.

EN 14411 standardında boyut için granit ve yer karosu ürünler $\pm 0,6$ mm toleransa sahiptir. Duvar karosu $\pm 0,5$ mm'lik toleransa sahiptir.

Eğim ölçümü, kenar eğim ve çarpıklık tayini, gönyeden sapma ve kenar düzgünlüğünden sapma mm cinsinden ölçülür.

ISO 10545-3 test standardına göre ürünlerin su emme oranları tayin edilir. Su emme oranı seramik karonun yer karosu, duvar karosu ve granit ayrımının sağlanması adına yapılan bir test metodudur. Bu test metodu ile birlikte ürünün kuru tartımı alınır ve sonrasında vakum hücresine yerleştirilir. Vakumla birlikte gözenekleri açılır, gözeneklere su nüfuz ettirilir ve belirli bir süre bekletilir. Bekleme işlemi sonucunda son tartım alınarak yüzde olarak su emme oranı tayin edilerek EN 14411 standardına göre sınıflandırılır.

ISO 10545-4 test standardına göre ürünlerin kırılma ve eğilme dayanımları tayin edilir. Bu test metodu karoya göre ayarlı genişlikteki mesnetlerin üzerine karo yerleştirilerek orta noktadan kuvvet uygulanması ile tayin edilir.

ISO 10545-7, sırlı karo yüzey aşınma standart test metodudur. Bu test metodu ile sırlı yüzeylerin belirli devirde aşındırıcı kimyasal ile aşınma derecesi tayin edilir.

ISO 10545-9, ısı şoka dayanıklılık test standardıdır. Bu standart test metodu ile beraber seramik karoların termal şok dayanımı tayin edilir.

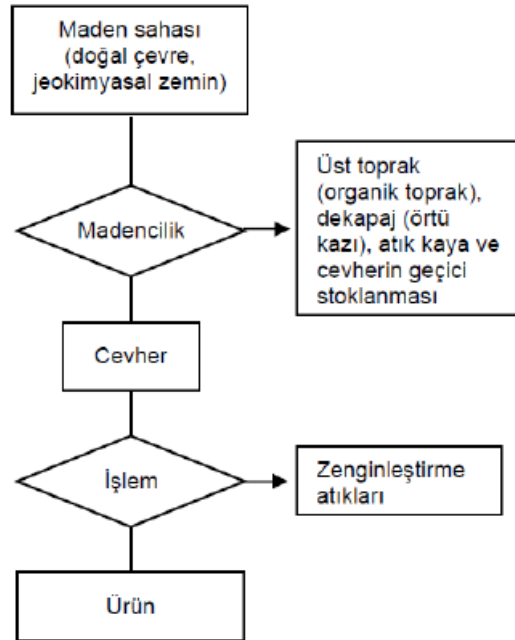
ISO 10545-13, kimyasallara dayanım test metodudur. Bu standart ile seramik karoların standartta belirtilmiş olan kimyasallara belirli zaman diliminde dayanıklılığı test edilir.

ISO 10545-14, lekelenmeye dayanım test metodudur. Lekelenmeye dayanıklılık standardıyla seramik karoların, kimyasallar dışında standartta belirtilen lekelenme ajanlarına dayanıklılığı tayin edilerek EN 14411 standardına göre sınıflandırılır.

2.6 Maden Atıkları ve Ekolojik Çevreye Etkileri

Dünya ekonomisinde madencilik endüstrisinin önemi yalnızca işlenmiş materyallerin miktarından değil ayrıca oluşan atıkların miktarından da kaynaklanmaktadır. Maden atıkları endüstriyel prosesler de oluşan atıkların büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Madencilik endüstrisinin ekolojik çevresel etkisi iki farklı bölümde hissedilir. Bunlardan ilki katı atıklar, atık sular, tortular ve çamurlardır. İkincisi ise karbondioksit emisyonu ve sera gazlarıdır (Menezes 2012).

Maden atıkları; üst toprak, dekapaj, atık kaya ve zenginleştirme atıklarından oluşmaktadır. Madencilik proseslerinin farklı aşamalarında ortaya çıkan maden atık türleri Şekil 2.2.'de gösterilmektedir (Çetiner 2006).



Şekil 2.6 Madencilik atık türleri (Çetiner 2006).

Üst toprak veya bir diğerk adıyla organik toprak yüzeydeki veya yüzeyden 20 cm derinlikte olan verimi yüksek toprak tabakasını ifade eder. Madencilik prosesleri tamamlandıktan sonra arazi iyileştirme çalışmalarında kullanılabilmesi amacıyla bir alanda depolanır.

Dekapaj ve atık kaya ise; toprak içerisindeki mineral kaynağına veya maden cevherine ulaşmak için yapılan örtü kazı işlemi anında ortamdaki uzaklaştırılan kayalar ve yan taşlardır. Bu atık kayalar başka proseslerde dolgu malzemesi olarak veya inşaat yapım işlerinde kullanılmaktadır. Fakat madencilik uygulaması sırasında çıkartılan bu atık kayaların birçoğu maden kazı alanının etrafına kurulan pasa harmanlarında büyük yığınlar şeklinde depolanır.

Zenginleştirme atıkları, çeşitli yöntemlerle çıkartılan cevherin zenginleştirilme prosesi sonrası atık olarak çıkan ve değeri olmayan bölüm olarak adlandırılabilir.

Cevher, maden kazı alanından çıkartıldıktan sonra, cevher hazırlamada ilk proses, genellikle kırma ve öğütmedir. Daha sonra ince boyutlu cevhere, serbest haldeki değerli minerali değersiz mineralden ayırmak için zenginleştirme prosesi uygulanır. Zenginleştirme prosesi; fiziksel, fizikokimyasal ve/veya kimyasal ayırma yöntemlerini bünyesinde barındırır. Zenginleştirme işlemleri atıklara birçok kimyasal maddenin karışmasına sebep olmakta ve atıkların ekolojik çevreye olan olumsuz etkilerini büyük ve etkili bir biçimde arttırmaktadır. Zenginleştirme işlemi sonrası zenginleştirme tesisinden çıkan ve çöktürme havuzlarına iletilen atık sular, ekonomik değer taşımayan mineraller ve değerli mineralleri bünyesinde barındıran askıda katı tanecikleri, çözünmüş katıları, metal iyonlarını, radyoaktif maddeleri, ağır kimyasal sıvıları, kimyasal reaktifleri ve taşınma esnasında ortamda oluşan tepkime çıktılarını içerebilir. Çöktürme havuzlarında bulunan atık su, tekrar zenginleştirme proseslerinde kullanılmak için tesise geri gönderilir veya bir arıtma işlemi uygulanmadığı durumlarda doğaya boşaltılmaktadır (Çetiner 2006).

Günümüzün teknolojik ilerlemeleri bağlı olarak yeni yöntem ve kullanılan makinaların geliştirilmesi ile cevherlerin ekonomik tenor değerleri oldukça aşağılara inmekte ve atık olarak adlandırılan birçok depolanmış yığın da bu sayede tekrar kullanılabilir.

Atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesinde elde edilecek faydalar aşağıda belirtilmiştir (Bentli 2002).

- Atıkların depolamadan kaynaklanan problemleri ve depolama gider miktarları azalacaktır.
- Ekolojik çevreye verilen zarar minimum ölçülere inecektir.
- Atıkların değerlendirilmesi sonrası elde edilen ürün sayesinde gelir elde edilecektir.
- Kimyasal atıkların yer üstünde ve yer altında bulunan suları kirletmesi önlenecektir.

2.6.1 Andezit Atığı

Doğal taş rezervi ve doğal taşların türleri anlamında Türkiye dünya üzerinde fazlaca önemli bir yere sahiptir. Dünya üzerinde bulunan doğal taş rezervlerinin %40'nın Türkiye'de bulunduğu bilinmektedir (Gencel 2012). Türkiye'den çıkartılan yaklaşık 250 çeşit doğal taşın yine yaklaşık 100 çeşidi doğal taş pazarında iyi bilindiği ve her geçen gün taleplerinin arttığı tahmin edilmektedir (Karakuş 2011). Doğal taşların maden ocaklarından çıkartılması, taş işleme fabrikalarında kesilmesi ve parlatılması proseslerin de çeşitli boy ve ebatlarda, büyük miktarlarda atık meydana gelmektedir. Doğal taşların bir hammadde olduğunu varsayarsak bu proses atıklarının başka bir deyişle hammadde kaybı olduğu düşünülebilir. Bu atık miktarının genellikle % 20-30 civarında olduğu bildirilmektedir (Gencel 2012). Fakat bazı durumlarda doğal taş bloklarında çatlak, süreksizlik ve kesilememe durumlarına göre yukarıda belirtilen oran %50-60'ları bulmaktadır.

Doğal taş üretim proseslerinde ortaya çıkan bu atıkların tekrar değerlendirilerek kullanılması hem endüstriyel açıdan gelir olduğu gibi ayrıca ekolojik çevrenin de korunması konusunda oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Bu sebeple doğal taş üretim proseslerinde meydana çıkan bu atıkların tekrar kullanılabilmesi konusunda bulunacak alternatif kullanım alanları, doğal taş işletmelerinin atık bertaraf problemlerine çözüm olmanın yanında ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte diğer bir önemli nokta ise ekolojik çevrenin kirlenmesi sonucu doğacak problemlerinde önüne geçilmiş olacaktır (Ceylan 2000).

Andezit yer kürede bulunan magma tabakasına yakın bir doğal taştır. İnşaat sektöründe çeşitli yapılarda kullanılmaktadır. Genellikle Türkiye ve dünya da merdiven basamağı, tretuvar taşları ve bordür, denizcilik yapılarında ve engelli rampaların yapımında uzun süredir kullanılmaktadır. Andezit taşının renk çeşitleri gri, koyu gri, siyah, kırmızı, kahverengi ve pembe şeklindedir (Sarıışık 2011). Andezit taşları solmaya karşı dirençli renkleri, homojen yapıları ve yüzey şekilleri ile son zamanlarda yurt içinde ve yurt dışında doğal taş sektöründe tercih edilmektedirler. Andezit taşlarının diğer tercih edilme sebepleri ise tarihi dokuyu hatırlatan tarzı, durgun ve pastel renkleri içermesidir. Bu sebeple birçok yapıda kaplama taşı olarak kullanılmaktadır (Davraz 2006). Bunların yanında andezitin dekoratif olmasının dışında aşınmaya ve kaymaya karşı önemli derecede direnci bulunmaktadır. Kaplama olarak uygulanan yapıyı yazın serin, kışın sıcak tutma gibi özelliği olduğu için yalıtım malzemesi olarak da kullanılabilir. Kaymama özelliği ile özellikle ıslak zeminlere uygulanır. Sıcak ve soğuk gibi mevsim şartlarından etkilenmez, bakım gerektirmez. Tüm bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda özelliklere belediyeler ve inşaat sektörü için çok önemli bir doğal taştır. Düşük su emme özelliği, suda dağılmama, dokusunun sıkı olması ve koyu kırmızı renkli olmasıyla birlikte kırıldığında ve disk kesicilerle kesildiğinde düzgün bir yüzey oluşması andezitlerin endüstriyel özellikleridir. Andezit kesilerek fabrikasyon olarak üretilir ve 1000 mm'lik kesicilerle kesilmektedir. Bu sebepten dolayı kesim sırasında 100 µ altında kesim tozları ortaya çıkmaktadır.

Bu andezit atıkları işletmeler için depolama sorunları teşkil etmektedir. Bunun yanında bu kesim tozlarının çevreye olumsuz etkileri de oldukça fazladır. Büyük ölçekte andezit üretimi göz önüne alındığında, madencilik prosesleri, işleme ve parlatma aşamaları sonrası işlenen andezitin %70'i atık olarak çıkmaktadır.

Aşağıda bulunan Çizelge 2.3’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ndan alınan verilere göre Türkiye’de andezit üretimi yapılan illerin yıl bazında toplam andezit üretim tonajları verilmiştir. Türkiye sınırları içerisinde yer alan Afyon, Ankara, Uşak, Çankırı, Konya ve Isparta illerinde andezit üretimi yapılmaktadır.

Çizelge 2.3 Yıllar bazında toplam andezit üretim tonajları (İnt.Kyn.1).

<i>Yıl</i>	<i>Miktar (ton)</i>
2004	81 900
2005	517 831
2006	2 485 956
2007	4 115 184
2008	3 307 107
2009	1 908 544



Resim 2.1 Andezit kesim makinesi.

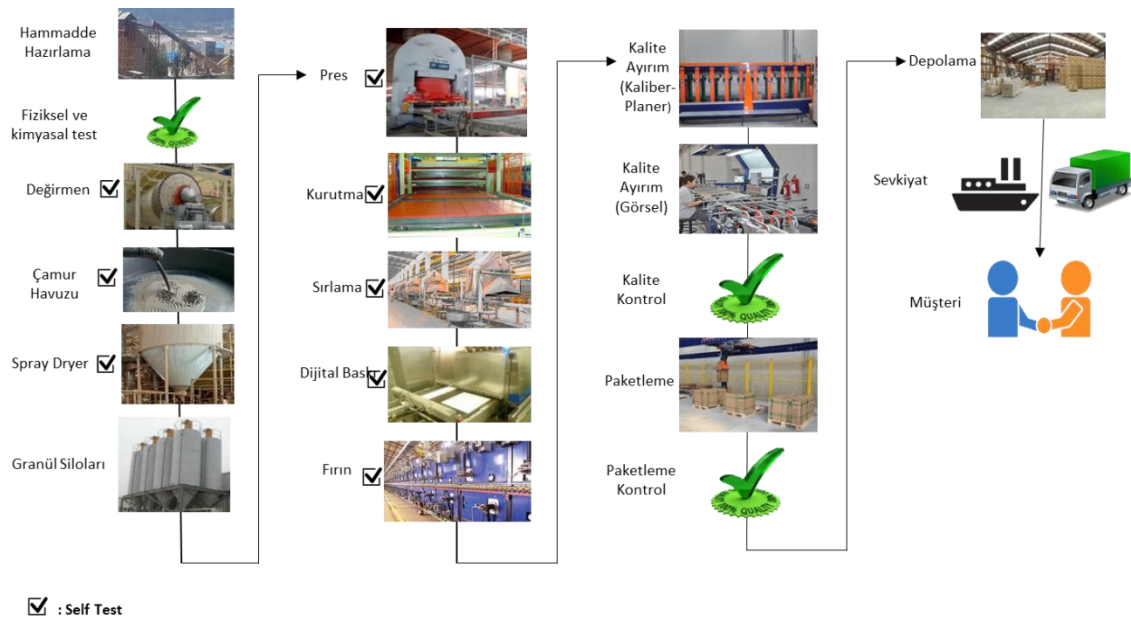
Andezit kesme makinesi ST dikey katarlar daha büyük çaplı (80-200cm), yatay katarlar ise daha küçük (40–50 cm) çaplıdır. Katarlar elmas uçlu soketler yardımı ile

kesim işlemi yapmaktadır. Güçlü elektrikli motorlar yardımıyla yüksek devirlerde dönen kataraklara kesim anında bol su pompalanır ve andezit blokları aşındırılarak yani toz çıkararak kesilir. Önce dikey testere kesime başlar. Yatay testerenin durumuna göre ikinci ve üçüncü plakalara geçildiğinde yatay testere devreye girer.

Andezit kesimi sulu olarak kesildiği için, kesim sırasında çıkan çamurlar çöktürme havuzlarına alınarak çöktürme işlemi yapılarak depolanır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada andezit kesim atıklarının değişik seramik karo üretimindeki etkileri incelenmiştir. Ege Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş. fabrikasındaki seramik reçetesine feldspat görevi gören kimyasal formülü, $\text{Na}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ olan albit yerine belirli oranlarda andezit atığı eklenmiştir. Böylece, andezit atığı içeren 4 farklı granit reçetesi çalışılmış, atığın seramik bünyesine olan etkileri değerlendirilmiştir. Resim 3.1’de seramik karo üretim akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Seramik karo üretim akış şeması.

3.1 Kullanılan Cihazlar

Hammaddelerin kimyasal analizleri XRF cihazı ile yapılmıştır. Yapılan reçetenin tartımları Santorious markalı terazide gerçekleştirilmiştir. Reçetenin öğütülmesi, 500 gr kapasiteye sahip bilyeli porselen değirmende yapılmıştır. Şekil verme işlemi hem Nannetti (10x15 ebadında) hem de Sacmi markalı (5x10 ebadında) kuru preste gerçekleştirilmiş olup şekil verilen numuneler Memmert markalı etüvde 105°C’de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. 5x10 ebadında olan ham karolar Gabbrielli marka mukavemet cihazı ile ham mukavemet kontrolüne tabi tutulmuştur. Numunelerin boyut ve kalınlık ölçümleri Mitutoyo Absolute markalı dijital kumpas ile yapılmıştır. Ham karo numuneleri fabrika tipi fırında pişirilmiştir. Çıkan karolara Gabbrielli markalı

mukavemet cihazında mukavemet tayini yapılmıştır. Numunelerinin renk ölçüm değerleri, X-Rite markalı spektrofotometre ile L*, a*, b* değerinde olacak şekilde renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gabbrielli markalı vakumlu su emme test cihazında su emme tayini yapılmıştır. Sıcaklığa bağlı değişim için Misura marka ısıtıcı mikroskop kullanılmıştır. Isıl genleşme katsayısı tayininin yapılabilmesi adına DIL801L model dilatometre ile analiz gerçekleştirilmiştir. X-ışınları difraktometresi (XRD) analizinde, Shimadzu markalı, XRD6000 model cihaz ve Cu-K α X ışını tüpü kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemesi adına, LEO markalı 1430 VP model taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleme çalışması yapılmıştır.

Andezit atığının yaş elek analizi Merck marka elek ile 100 μ m, 63 μ m, 45 μ m ve 32 μ m için yapılmıştır.

Hammaddelerde yüksek sıcaklık sırasında ortaya çıkan genleşme değerleri ve ergime davranışları ısıtıcı mikroskop ile tayin edilmiştir.

3.2 Seramik Karo Numunelerinin Hazırlanması

Andezit atığının 0.6 gr andezit kesim atığı, 4.6 gr lityum tetraborat, 2 damla lityum bromür karışımı ile kimyasal analizine bakılarak, seramik bünyede ergitici görevi gören feldspat yerine kullanılmasına karar verilmiştir. Andezit atığı reçeteye eklenirken aynı oranda albit reçeteden çıkartılmış diğer hammaddelerin miktarları sabit tutulmuştur. Reçetede kuvars kullanılmamasının sebebi, kuvars fırın süresini arttırarak pişmeyi geciktiriyor. Bu sebeple boyut büyüyor ve su emme derecesi artıyor. Aynı zamanda genleşme miktarında da artış göstermektedir. Hammaddelerin içerisinde bulunan kuvarstan dolayı reçeteye ekstra bir kuvars ilavesi yapılmamıştır. Reçete içerisinde, 2 modül 42 bome cam suyu kullanılmıştır. Bunun sebebi ise akışkanlığın istenilen şekilde ayarlanmasıdır. Her bir kilin farklı bir özelliği olması sebebiyle reçete içerisinde farklı killeri kullanılmıştır. Killerin farklılaşan özellikleri renk tonu, pişirim küçülmesi - büyümesi, mukavemet oranındaki artış, dolgu malzemesi amacıyla kullanım gibidir...

Hazırlanan reçeteler, Çizelge 3.1'de andezit atığı içeren seramik karo masse çalışmalarının reçete içerikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Andezit atığı içeren seramik karo masse reçete çalışmaları.

<i>Hammaddenin Adı</i>	<i>Şahit Reçete</i>	<i>Reçete Denemesi 1</i>	<i>Reçete Denemesi 2</i>	<i>Reçete Denemesi 3</i>	<i>Reçete Denemesi 4</i>
Kil 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Albit	41.50	30.00	20.00	10.00	-
Kaolen	750	7.50	7.50	7.50	7.50
Kil 2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Kil 3	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Kil 4	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Andezit Atığı	-	11.50	21.50	31.50	41.50
Camsuyu	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
TOPLAM	101.00	101.00	101.00	101.00	101.00

Kullanılan hammaddelerin tümü etüvde kurutulduktan sonra, ağırlığı toplamda 350 gr olacak şekilde tartılmıştır. Tartılmış olan hammaddeler, laboratuvar tipi alümina bilyeye sahip değirmende 20 dakika boyunca öğütülmüştür. Çamurun yoğunluğa karşı direnci, fordcup viskozimetreye kontrol edilmiştir. Hazır hale gelen çamurdan 100 gr alınarak 63 mikron elekten geçirilmiş, elek üstü katı madde oranı tayin edilmiştir. Geri kalan çamur, etüvde kurutulmuş ve değirmende toz şekline getirilmiştir. Toz şekline getirilmiş olan masse nemlendirilerek preslenecek olan masse haline gelmiştir. Belirli bir neme sahip masse, 5x10 cm ebadında 100 bar, 10x15x0,7 cm ebadında 300 bar altında preslenmiştir. Preslenen karodan nemin uzaklaşabilmesi adına etüvde bekletilmiştir. Etüvde kurutulan karolar endüstriyel fırında 1198 °C 43 dakika boyunca pişirilmiştir. Endüstriyel seramik fırınlarının pişme sıcaklık rejimleri Şekil 3.2'deki gibi beş bölgeye bölünmektedir:

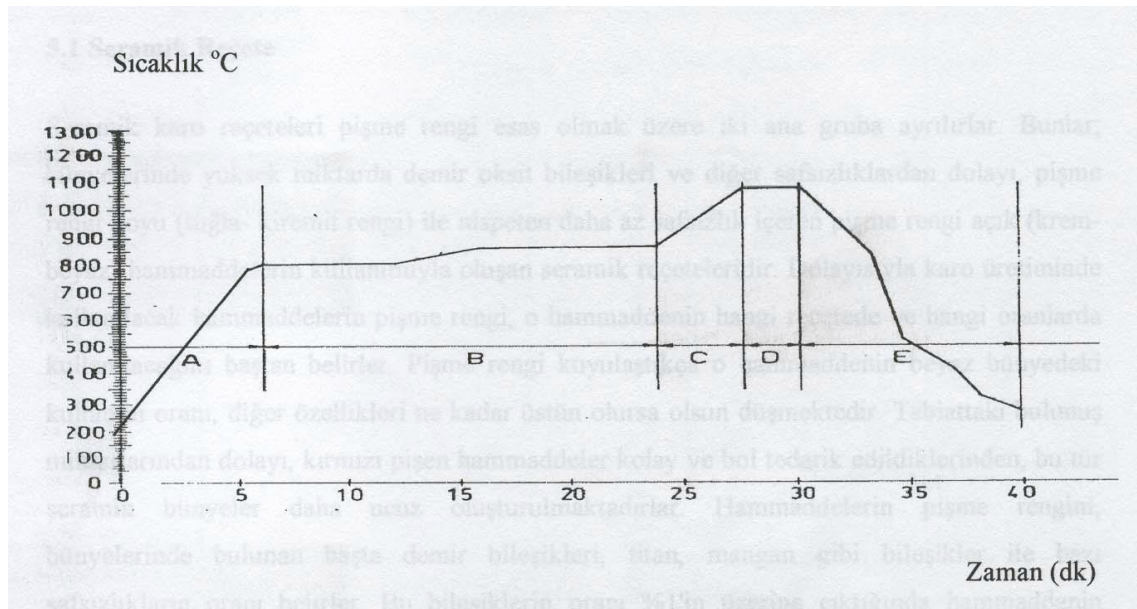
A Bölgesi: Ön ısıtma aşamasıdır. Sıcaklık artışı hızlı uygulanır. Karolar, fırına girdikten 6 - 8 dakika içerisinde yaklaşık 800°C'ye kadar ulaşırlar.

B Bölgesi: Gaz çıkışını tam olarak bitirerek, karoların yüzeyine eşit ısı dağılımı sağlamak amacıyla yaklaşık 18 - 20 dakika 800°C’de tutulur.

C Bölgesi: 3 – 5 dakikalık süre içerisinde maksimum sıcaklığa ulaşır. Bu sıcaklığa ulaştığı bölgeye cehennem bölgesi adı verilir.

D Bölgesi: Karolar yaklaşık 4 – 6 dakika cehennem bölgesinde tutulur.

E Bölgesi: 9 dakika içerisinde karo sıcaklığı 620 – 640 °C’ye düşürülür. Karolar doğal soğutmaya bırakılır.



Şekil 3.2 Seramik karo fırını pişirim sıcaklık eğrisi.

3.3 Çamur Halindeyken Yapılan Testler

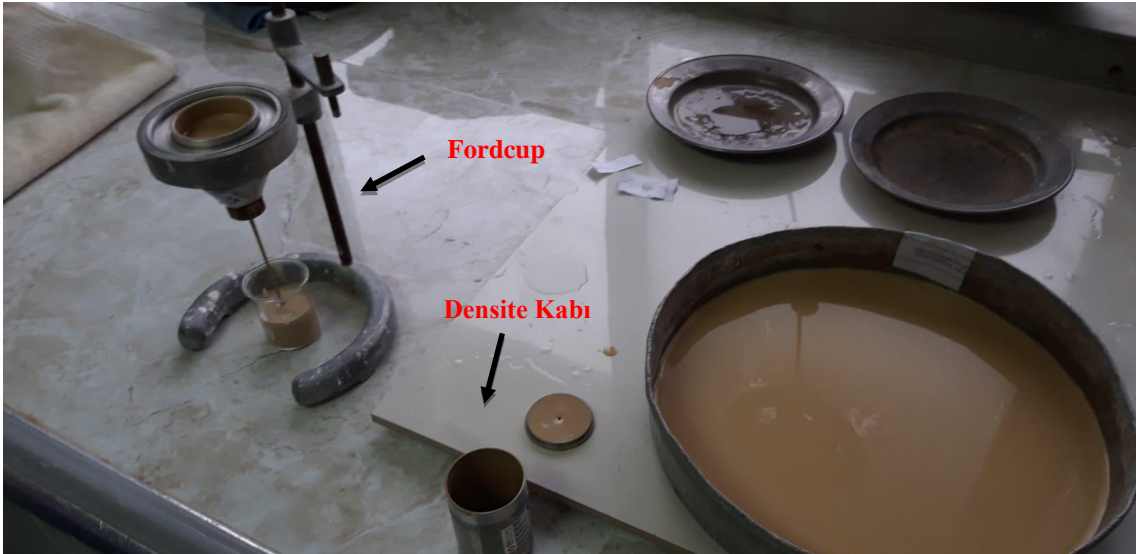
3.3.1 Yoğunluk Kabı ile Ağırlık Tartımı

Darası 200 gr gelen, hacmi 100 cm³ olan kalibrasyonlu metal densite kabı kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Islak ve pis olmayan densite kabına çamur doldurularak kapak kısmı kapatılır. İçeride kalan fazla çamur, kapağın üzerindeki delikten taşar ve çamur

temizlenir. Ölçüm yaparken dara alınır ve densite kabının ağırlığı çıkarılarak gr/l cinsinden telaffuz etmek adına 10 sayısıyla çarpılarak ifade edilir. Resim 3.1’de densite kabı ile ağırlık tartımı belirtilmiştir.

3.3.2 Akış Hızı Tayini

Hazırlanmış olan çamurların, akış hızı kalibrasyonu yapılmış olan fordcup kullanılarak yapılır. Cihazın alt deliği kapalı haldeyken, çökmemiş masse çamur doldurulur. Cihazın deliği açılır ve aynı anda kalibrasyonlu kronometre çalıştırılır. Cihaz haznesindeki çamur bittiği anda kronometre durdurulur. Kronometrenin ölçtüğü değer, çamurun akış hızını saniye cinsinden verir. Resim 3.1 ve Resim 3.2’de akış hızı tayini testi belirtilmiştir.



Resim 3.1 Densite kabı kontrolü, fordcup ve kronometre ile akış hızı kontrolü.



Resim 3.2 Fordcup ile akışkanlık tayini.

3.3.3 Yaş Elek Analizi Tayini

Her reçeteden 100 gr çamur alınarak, yukarıdan aşağıya doğru sırayla 100 µm, 63 µm, 45 µm, 32 µm eleğin üzerine dökülmüştür. Eleklerin üzerindeki çamurlu su iyice yıkanarak temizlenmiştir. Eleklerin üst kısımlarında kalan malzeme elekten alınarak, kurumak üzere etüve alınmıştır. Kuruma tamamlandıktan sonra eleklerin üzerinde kalan miktar tartılarak elek üstü ve elek altı oranları yüzde (%) olarak belirtilmiştir.

3.4 Nihai Ürüne Uygulanan Test Yöntemleri

3.4.1 Pişirim Küçülmesi Tayini

100x150 mm ebadında basılan seramik masse denemelerinin hem ham halinin hem de masse halinin boyutları kumpas ile ölçülmüştür. Pişme küçülmesi hesaplama formülü Denklem 3.1’de ham karoların refrakter üzerinde pişirimi Resim 3.3’te belirtilmiştir.

$$\% \text{ Pişirim Küçülmesi} = \frac{100 \times (l_1 - l_2)}{l_1} \quad (3.1)$$

l_1 : Ham numunenin boyutu (mm)

l_2 : Pişmiş numune boyutu (mm)



Resim 3.3 Ham karo numuneleri.

3.4.2 Su Emme Tayini

Piştirilmiş numunelerin su emme tayini, ISO 10545-3 seramik karolardaki su emme test standardına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Standartta uygun olacak şekilde etüvde sabit tartıma ulaşan karoların ilk tartımları alınır. İlk tartımı alınan karolar, vakum haznesine yerleştirilmiştir. Atmosfer basıncı olan 101 kPa'dan 10 kPa düşük olacak şekilde vakumlama işlemi başlar. Vakumlama işlemi neticesinde hazne içerisindeki basınç 91 kPa'a düşer. Vakum işlemi gerçekleştiikten sonra karolar vakum altındayken, cihaz otomatik olarak vakum haznesine deiyonize suyu alır. Karolar vakumla birlikte saf suyun altında 15 dakika bekler ve sonrasında vakum işlemi bitirilerek saf su boşaltılır. Haznenin içerisindeki su boşaltıldığı anda mikrofiber bir bez yardımıyla karoların üzerindeki nemi alınmış ve son tartım yapılmıştır. İlk tartım ile son tartım arasındaki fark hesaplanarak yüzdesel anlamda su emme oranı elde edilmiştir. Su emme oranı tayini Denklem 3.2.'de belirtilmiştir

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{100 \times (m1 - m2)}{m1} \quad (3.2)$$

m1: Karonun kuru tartım kütlesi

m2: Karonun su emme tayini sonucu kütlesi

3.4.3 Mukavemet Tayini

Kurutulmuş olan numunelerin ham karo (kuru) mukavemeti ve pişmiş olan numunelerin mukavemet tayini ISO 10545-4 Eğilme ve Kırılma Dayanımının Tayini standardına göre yapılmıştır. Karo ebadına göre mesnet aralığı mukavemet cihazının basma kuvvetine göre 5x10 cm ebatlı ham karolar için 8 cm mesnet aralığı, 10x15 cm ebatlı pişmiş karolar için ise 13 cm olacak şekilde ayarlanmış ve tam merkez noktadan bası kuvveti uygulanmıştır. Denklem 3.3'te mukavemet tayini hesabı belirtilmiştir. Ham karo mukavemet tayini için kullanılan cihaz Resim 3.4'te, pişmiş numunelerin mukavemeti için kullanılan cihaz Resim 3.5'de gösterilmiştir. Mukavemet cihazları bası kuvvet kapasitesine göre ayrışmaktadır.

$$\sigma = \frac{3}{2} \left(\frac{F \times L}{b \times d^2} \right) \text{ kg/cm}^2 \quad (3.3)$$

σ : Mukavemet değeri (kg/cm²)

F: Kırılma kuvveti

L: Mesnetler arasındaki mesafe (cm)

b: Numune karoda kırılan yüzeyin boyutu (cm)

d: Numune karoda kırılan yüzeydeki kalınlık (cm)



Resim 3.4 Ham karo numunelerinin mukavemet tayinin yapıldığı test cihazı.

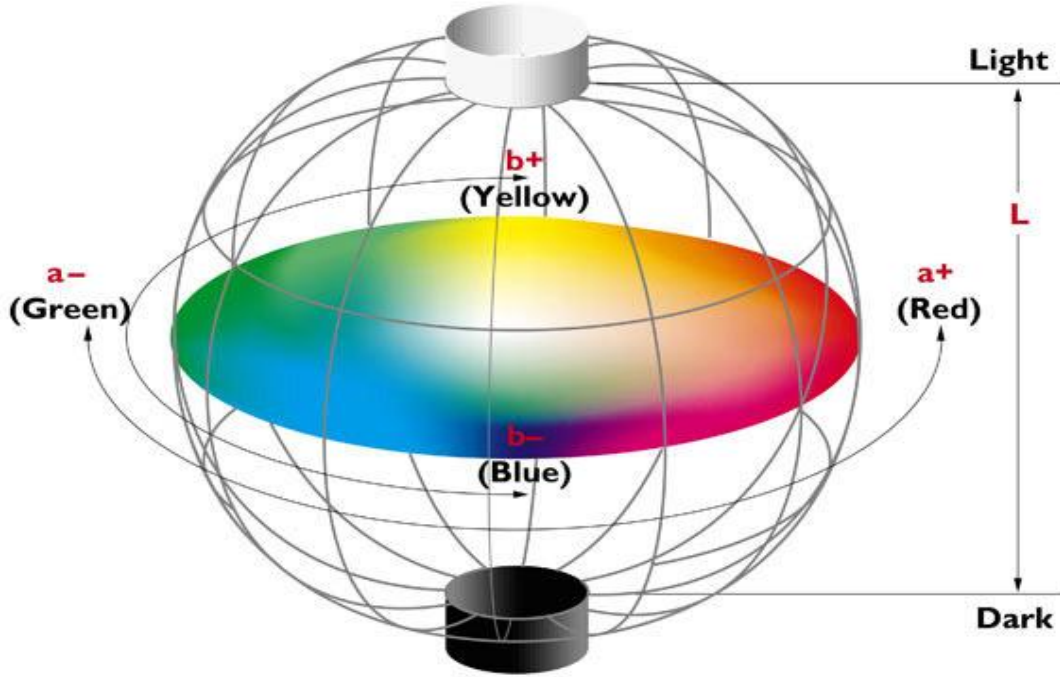


Resim 3.5 Pişmiş karo numunelerinin mukavemet tayinin yapıldığı test cihazı.

3.4.4 Renk Ölçüm Tayini

Seramik sektörünün gelişmesiyle beraber, seramik sektöründe, fiziksel özelliklerin yanında karoların görsel özellikleri konusunda ciddi bir rekabet başlamıştır. Karoların yüzeyine uygulanan sır ve baskı uygulamaları dışında seramiğin en alt kısmında bulunacak masse rengi de nihai müşteriler açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu sebeple seramik karo üreticileri masse renk tonlarını açmak için reçeteye ilave hammaddeler eklemektedir.

Pişmiş olan seramik karo numuneleri, şahit numune ile kıyaslanmak adına X-Rite markalı spektrofotometre ile renk ölçümüne tabii tutulmuştur. Renk ölçümü neticesinde L^* , a^* , b^* renk değerleri tayin edilmiştir. Renk ölçüm değerlerinin anlamsal dağılımı Şekil 3.1’de ve X-Rite markalı cihaz Resim 3.6’de belirtilmiştir.



Şekil 3.3 Spektrofotometre analizi renk ölçüm değer anlamı.



Resim 3.6 Spektrofotometre cihazı.

3.4.5 Black Core Kontrolü

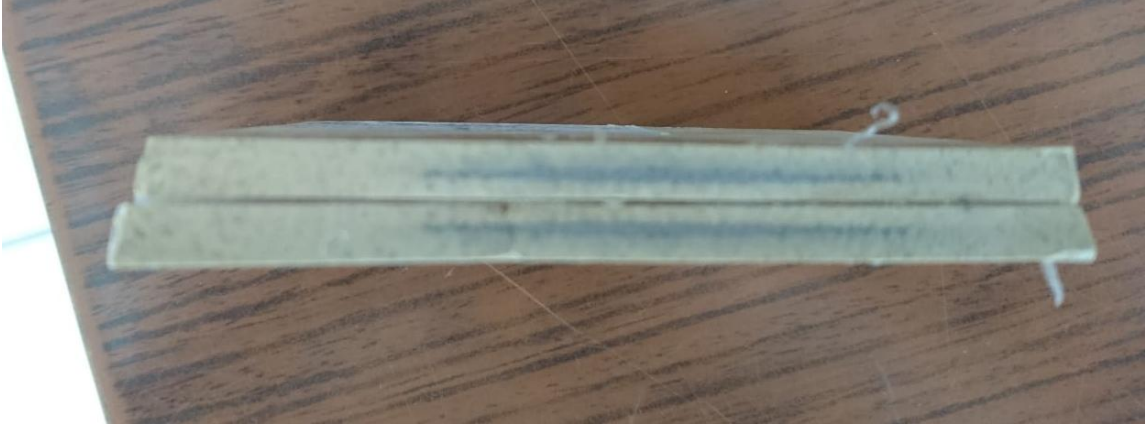
Seramik sektöründe fazla miktarda kullanılan killerdeki organik maddelerin artışı, black core problemini ortaya çıkarmaktadır. Black Core, seramiklerde şiddete göre massede şişmeler, deformasyona yatkınlık ve gevreklik gibi sorunları ortaya çıkarır. Yeterli gelmeyen oksitlenme nedeniyle organik maddelerin tamamı yanmadığında bu sorun meydana gelir (Koroğlu 2007).

Black core ile beraber istenilen tam pişirim sağlanamaz, bünye zayıflar ve yapı içerisinde geniş boşluklar oluşur. Aynı zamanda su emme oranında artış gözlemlenir. Resim 3.7 ve Resim 3.8’de black core örneği mevcuttur.



Resim 3.7 Black core örnek görüntüsü.

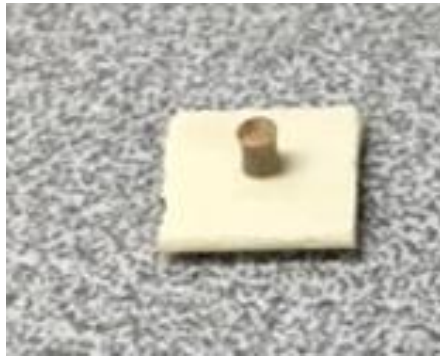
Black core oluşumunun gerçekleşmesi için bazı şartların bir arada olması gerekir. Öncelikle hammaddelerden gelen yüksek oranda organik bileşiklerin varlığı önemlidir. Pişirimin gerekenden daha hızlı yapılması, yüzey gözeneklerinin hızla kapanmasına neden olur. Bu nedenle organikler yeterli yanma için oksijen bulamaz ve eksik yanma ürünü olan gazlar siyah renk oluşumuna yol açar. Hızlı pişirime bağlı olarak kapanan yüzey gözenekleri içeride oluşan yanma gazlarının dışarı çıkmasını engeller ve bünyede şişmeler gerçekleşir.



Resim 3.8 Black core görüntüsü.

3.4.6 Isıtcılı Mikroskop ile Sinterleme Davranışı Tayini

Sinterleme, kuru halde preslenen tozların sıcaklıkla beraber bağ oluşturarak mukavemet kazanılan bir işlemdir. Misura markalı ısıtcılı mikroskop, fırın sıcaklığının bir fonksiyonu olarak numunelerin sıcaklık ile beraber değişimi incelemeye izin verir. Misura Morfometri analizi ile geliştirilmiş matematiksel modellere ve geleneksel uluslararası standartlara göre karakteristik şekilleri otomatik olarak tespit ederek, malzemenin sinterleme davranışını tamamen karakterize etmek mümkündür. Sinterleme davranışı tayin edilirken hazırlanan yarım cm'lik silindirik numune, Resim 3.9'de belirtilmiştir. Isıtcılı mikroskop, hazırlanan numunelerin belirli sıcaklıklardaki ergime davranışlarını tayin eder.



Resim 3.9 Isıtcılı mikroskopta sinterleme davranış tayininde kullanılan numune örneği.

3.4.7 Lineer Genleşme Katsayısının Tayini

ISO 10545-8 standart test metoduna göre yapılan testte hazırlanan numunenin dilatometre aracılığıyla lineer ısı genleşme tayini testi gerçekleştirilmiştir. Elmas daire kesici kullanılarak numunelerin orta bölümünden 5x5x50 mm ebatlarında kare kesitli numuneler kesilir ve etüvde kurutulur. Numunenin boyu ve kalınlık değeri mm cinsinden ölçülerek not edildikten sonra dilatometre cihazının içerisindeki termokupla değmeyecek şekilde dilatometre cihazına yerleştirilir. 630°C'ye kadar ısıtılır.

3.4.8 Andezit Atığı İçeren Numunelerin Faz Analizi

Andezit atığı bulunan numunelerin bünyesinde oluşan faz analizleri Shimadzu marka, XRD6000 model cihaz ve Cu-K α X ışını tüpü kullanılarak analiz işlemi yapılmıştır. Andezit kesim atığının, temin edildiği durumda ve 1100°C'de sinterlendikten sonra yapılan XRD analiz sonuçları karşılaştırmalı olacak şekilde tayin edilmiştir. Preslenerek üretilmiş numuneler, 1100°C'de 1 saat sinterlenmiştir.

3.4.9 Andezit Atığı İçeren Numunelerin Mikroyapı Karakterizasyonu

Şahit reçete, reçete 2 ve en fazla katkı içeren 4 numaralı reçete üzerine kırık yüzeyler kullanılarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleme çalışması yapılmıştır. Kırık yüzeyler inceleme için gerekli elektriksel iletkenliği sağlamak için karbon ile kaplanmıştır. LEO 1430 VP marka taramalı elektron mikroskobu ile ikincil elektron görüntüleri elde edilmiştir.

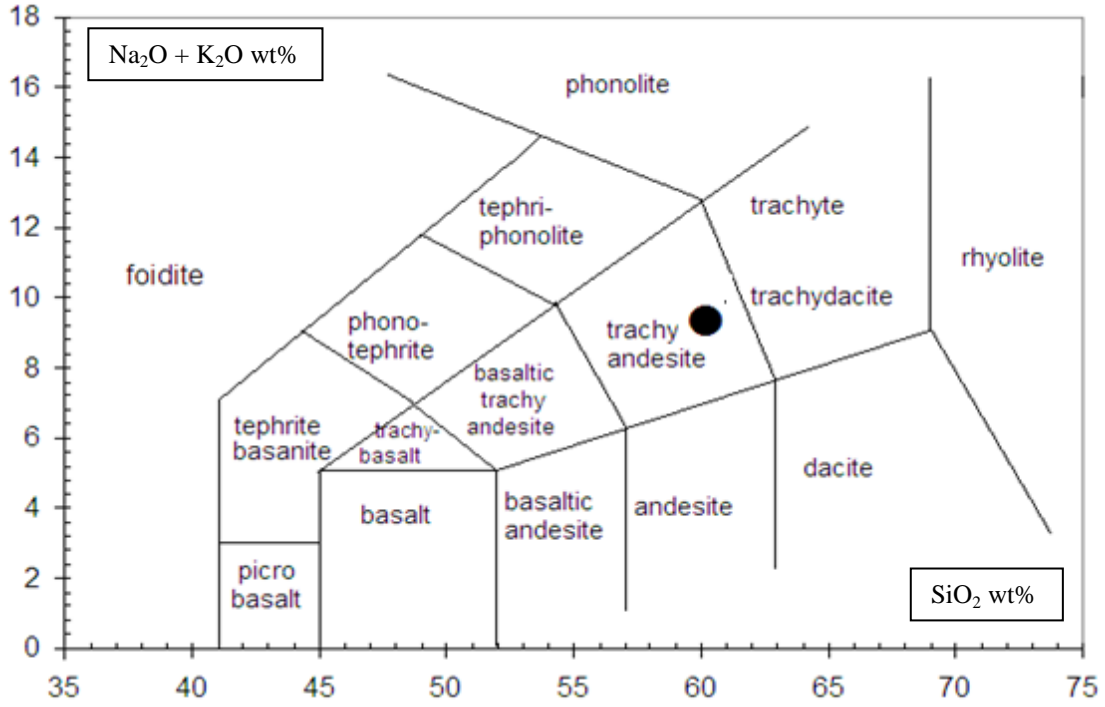
4. BULGULAR

Andezit kesim atığının kimyasal analizi XRF cihazında yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 4.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 Andezit kesim atığının XRF analiz değerleri.

<i>Hammadde/Pigment Adı</i>	<i>Andezit Atığı</i>
SiO ₂	59.42
Al ₂ O ₃	14.49
Fe ₂ O ₃	5.68
CaO	5.49
MgO	3.88
Na ₂ O	2.58
TiO ₂	1.32
K ₂ O	6.02
Ateş Zayıyatı	1.12

Andezit kesim atıklarının oksit bileşenleri kullanılarak kökenlerini ve hangi tür kayalık olduğunu belirlemek amacıyla Le Bas vd. (1992) tarafından önerilen toplam alkali (Na₂O+K₂O) ve silis (SiO₂) diyagramı kullanılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre andezitin traki-andezitik bileşimli olduğu tayin edilmiştir. Alkali – Silika Diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar andezit kesim atıklarının temin edildiği Afyonkarahisar/Seydiler yöresi andezitleri ile ilgili yapılan daha önceki çalışmalarla benzer sonuçlar vermiştir (Çelik *et al.* 2018, Kuşçu *et al.* 2003).



Şekil 4.1 Toplam Alkali - Silika diyagramı (Le Bass *et al.* 1992).

Andezit atığının seramik bünyesinde kullanımı ile ilgili, seramik massede kullanılan hammaddelerin XRF cihazı ile yapılmış olan kimyasal analizleri Çizelge 4.2.'de belirtilmiştir.

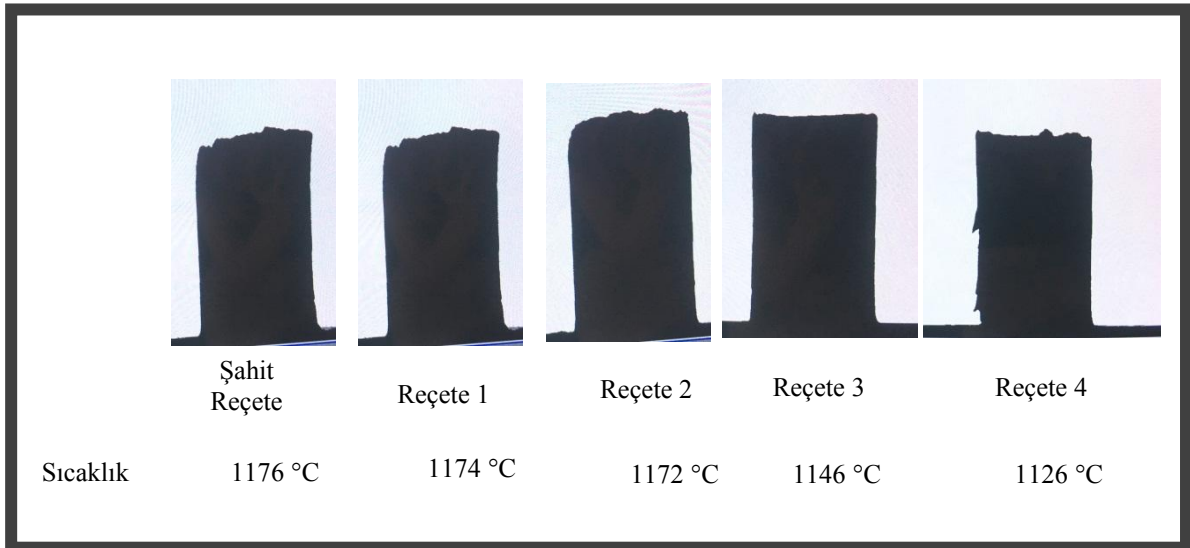
Çizelge 4.2 Seramik massesinde kullanılan hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde Adı / Ateş Zayıyatı Kimyasal Analiz (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Toplam	
Kil 1	40.81	13.01	3.29	1.21	0.15	7.06	34.01	0.21	0.25	100
Kil 2	10.95	53.22	27.58	3.65	1.02	0.44	0.86	0.18	2.1	100
Kil 3	7.66	63.52	21.98	2.61	1.22	0.18	0.62	0.13	2.08	100
Kaolen	7.92	70.25	19.09	0.8	0.52	0.24	0.24	0	0.94	100
Kil 4	2.79	75.55	15.37	1.05	0.07	0.17	0.25	0.51	4.24	100
Albit	0.81	63.93	21.06	0.32	0.55	2.53	0.7	9.68	0.42	100
Andezit Atığı	1.12	59.42	14.49	5.68	1.32	5.49	3.88	2.58	6.02	100

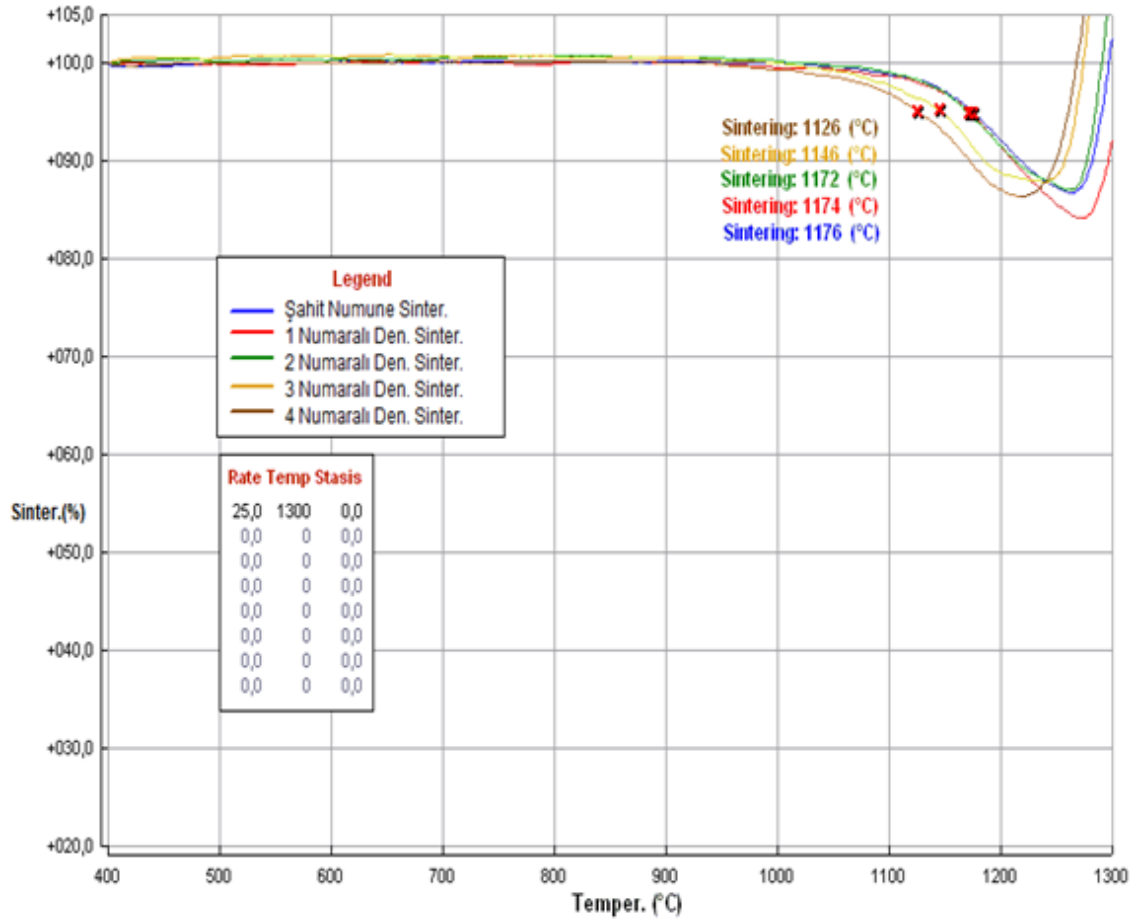
Andezit atığının K_2O oranının fazla olması sebebiyle bünyede, feldspat görevinde kullanılması uygun bulunmuştur. Andezit kesim atığının kendi halinin 300 barda preslenerek $1198^{\circ}C$ 'de pişirildiğinde renginin çok koyu ve ergiyen bir malzeme olduğu için refrakterin şeklini almaya meyilli olduğu görülmüştür.

Bünyedeki albit belirli miktarlarda azaltılarak farklı reçete çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Reçete Denemesi 1'den başlanılarak andezit atığının oranı artırılmıştır. Hazırlanan numunelerin sinterleme davranışı şahit numune ve birbirleriyle kıyaslanmış olup Şekil 4.2.'de belirtilmiştir. Andezit kesim atığı oranı reçete içerisinde arttıkça sinterleme derecesinde bir artış gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça sinterleme süresi uzayacaktır. Sinterleme derecesi grafik üzerinde %5'lik küçülme başladığı anda belirtilmiştir. Andezit atığı miktarı arttıkça albite göre sinterleşme derecesi daha da düşmektedir. Andezit atık miktarının en fazla olduğu 4 numaralı reçetede en erken sinterleşme gerçekleşmiş olup sıcaklığı $1126^{\circ}C$ 'dir.

Reçete 44.42 saniyede sinterleşmeye başlarken, şahit reçete 48.59 sn'de sinterleşmeye başlamıştır. Şekil 4.2'de reçetelerin sinterleme davranışları tayin edilmiştir.



Şekil 4.2 Reçete bazında sinterleşme görselleri.



Şekil 4.3 Şahit numune karo ile 4 farklı andezit atıklı numunelerin sinterleme davranışlarının kıyaslanması grafiği.

100 gr yaş haldeki andezit atığının boyut dağılımı elek analizi ile tayin edilmiştir. Bu dağılım Çizelge 4.3’de belirtilmiştir. 32 µ elek altında kalan oran atığın ince tane boyutlu olduğunu belirtmektedir.

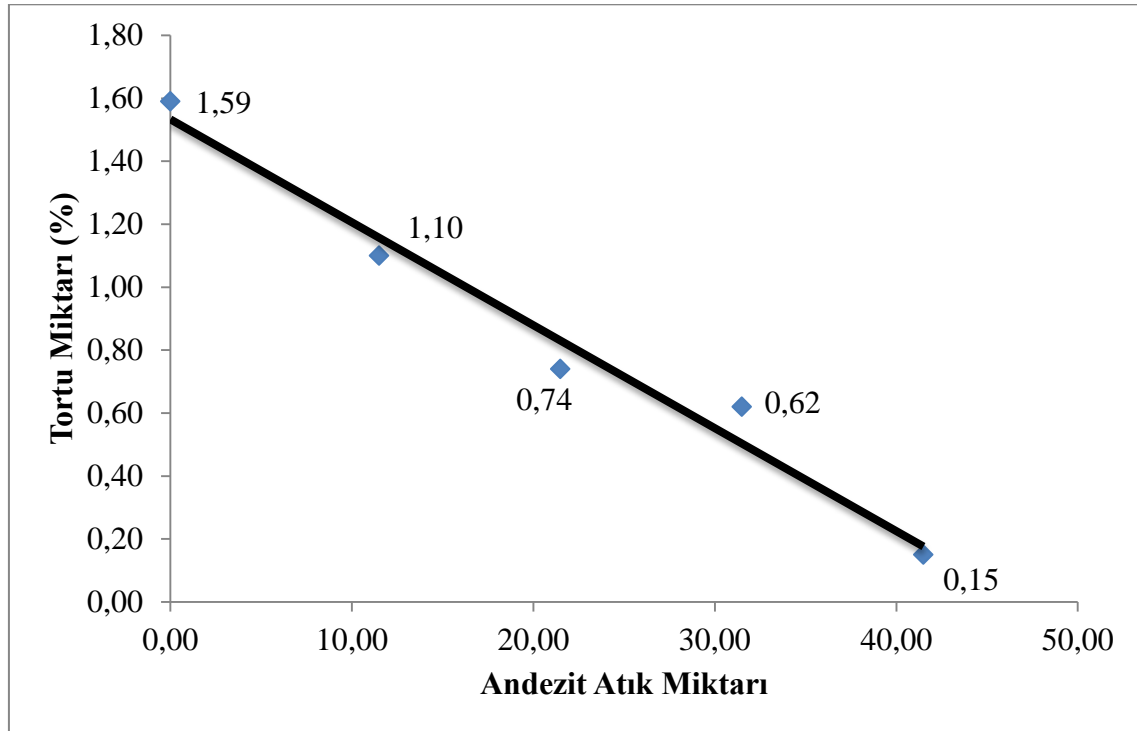
Çizelge 4.3 Andezit atığı elek analizi.

<i>Andezit Atığı Elek Miktarları</i>	<i>% Andezit Atık Miktarı</i>
+100 µ	6.84
+63 µ	6.66
+45 µ	6.46
+32 µ	6.48
-32 µ	73.56
Toplam Miktar	100.00

Alümina bilyeli değirmende gerçekleşen 20 dakika öğütme işlemi sonucunda 100'er gr çamur alınarak 63 µm elek ile tortu analizi yapılmıştır. Çamurda 63 µm elek üstü kalan bakiyeye tortu denilmektedir. Bu değer arttıkça, malzemenin daha iri kaldığı; azaldıkça daha ince öğütüldüğü anlaşılır. Pişme esnasında düşük tortulu çamurun yüzey alanı artacağı için daha erken sinterlenmeye maruz kalır. Boyut küçülür, su emme düşer ve poroziteler azalır. Tortu analiz sonucu Çizelge 4.4'de belirtilmiştir. Andezit atık oranı arttıkça tortuda azalma tayin edilmiştir. Andezit atık miktarı arttıkça tortunun azalması, Şekil 4.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.4 Andezit atık oranına göre reçeteler arası tortu analizi kıyaslaması.

Test / Reçete No	Şahit Reçete	Reçete Denemesi 1	Reçete Denemesi 2	Reçete Denemesi 3	Reçete Denemesi 4
Bünyedeki Andezit Atık Miktarı (%)	-	11.50	21.50	31.50	41.50
Tortu Analizi (%) 63 µ	1.59	1.10	0.74	0.62	0.15



Şekil 4.4 Andezit atık miktarı artışına bağlı olarak tortu miktarı grafiği.

Seramik çamuruna uygulanan; densite kabı, fordcup ve kronometre ile uygulanan yoğunluk ve akışkanlık tayini test sonuçları Çizelge 4.5.'te belirtilmiştir. Andezit atığı

ilave edilmiş reçetelerin yoğunluk ve akışkanlık süreleri karşılaştırıldığında andezit ilavesinin reçetelerde çok fazla bir değişime neden olmadığı gözlenmiştir.

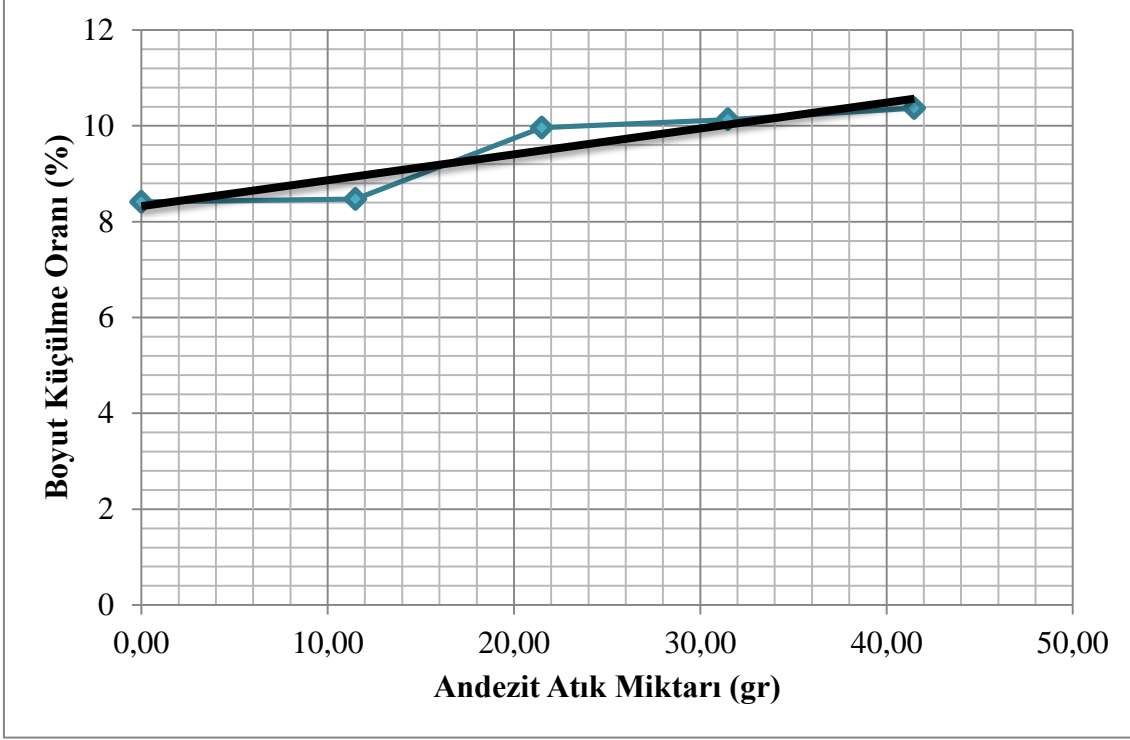
Çizelge 4.5 Andezit atığı miktarına göre yoğunluk ve viskozitenin tayini.

<i>Test / Reçete No</i>	<i>Şahit Reçete</i>	<i>Reçete Denemesi 1</i>	<i>Reçete Denemesi 2</i>	<i>Reçete Denemesi 3</i>	<i>Reçete Denemesi 4</i>
Yoğunluk (gr/lt)	1676	1675	1674	1676	1676
Viskozite (sn)	21.52	21.07	21.24	21.08	22.56
Bünyedeki Andezit Atık Miktarı (%)	-	11.50	21.50	31.50	41.50

100 x 150 mm ebadında olacak şekilde; pres nemi %7 ve 300 bar basınçta preslenen şahit reçete ve andezit atığı kullanılarak yapılan reçete denemeleri 1190 °C’de pişirilmiş ve pişme boyutlarına bakıldığında uzun kenar olan 150 mm’den sapması Çizelge 4.6’de belirtilmiştir. Andezit kesim atıkları kendi hal pişiriminden ve içeriğindeki Potasyum Oksit oranının fazla olmasından da anlaşılacağı üzere camsı bir yapıya sahiptir. Bu sebeple pişme boyut küçülmesi andezit atık miktarı arttıkça fazlalaşmıştır. Bu durum Şekil 4.4’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 Pişme boyut küçülmesinin andezit atık oranına göre değişimi.

<i>Test / Reçete No</i>	<i>Şahit Reçete</i>	<i>Reçete Denemesi 1</i>	<i>Reçete Denemesi 2</i>	<i>Reçete Denemesi 3</i>	<i>Reçete Denemesi 4</i>
Bünyedeki Andezit Atık Miktarı (%)	-	11,50	21,50	31,50	41,50
Pres Nemi (%)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Basınç (bar)	300	300	300	300	300
Pişme Sıcaklığı (°C)	1198	1198	1198	1198	1198
Pişme Boyutu (mm)	137,39	137,29	135,06	134,81	134,44
Pişme Boyut Küçülmesi (%)	8,41	8,47	9,96	10,13	10,37



Şekil 4.5 Andezit atığına bağlı olarak pişme boyut küçülmesi grafiği.

Andezit atığının reçetelerde kullanım oranına göre numunelere, ham ve kuru mukavemet tayini yapılmıştır. Testlerin neticesinde atık miktarının artmasıyla beraber bünyenin mukavemetinde atık miktarındaki artışa orantılı olacak şekilde artış görülmüştür. Bu durum Çizelge 4.7’da belirtilmiştir.

Çizelge 4.7 Andezit atık oranına bağlı olarak ham ve pişmiş mukavemet değerleri.

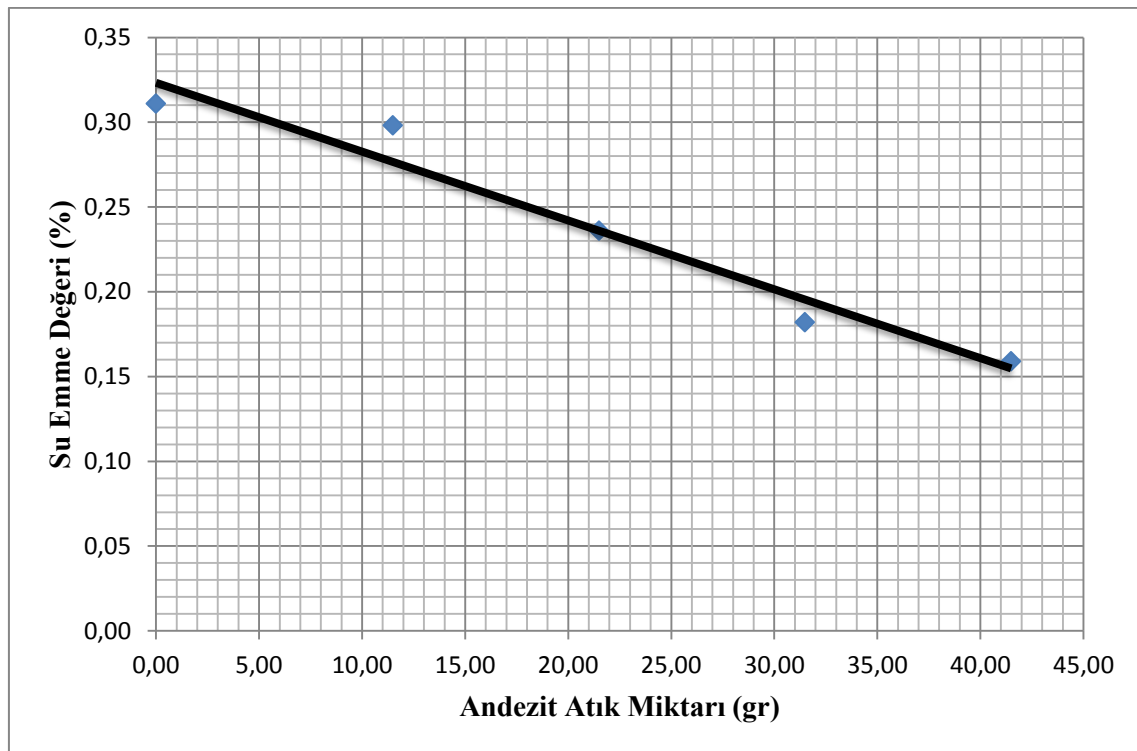
Test / Reçete No	Şahit Reçete	Reçete Denemesi 1	Reçete Denemesi 2	Reçete Denemesi 3	Reçete Denemesi 4
Bünyedeki Andezit Atık Miktarı (%)	0,00	11,50	21,50	31,50	41,50
Ham Mukavemet (kg/cm ²)	14,67	15,22	15,87	15,32	15,85
Pişmiş Mukavemet (kg/cm ²)	478	487	532	625	659

Seramik karolar için en önemli olan özellik su emme oranı atık miktarı arttıkça düşüş göstermektedir. Granit karolar için düşük su emme standartlara uygunluk açısından oldukça önemlidir. Andezit kesim atığının belirli özelliklerinden olan düşük su emme

oranı, seramik bünyede andezit atığı feldspat olarak kullanıldığında da etki göstermektedir. Granit karo reçetesinde kullanılan andezit atık miktarıyla doğru orantıda su emme oranlarında değişim mevcuttur. Bu değişimler Çizelge 4.8’de ve Şekil 4.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8 Atık miktarına bağlı olarak değişen su emme oranı.

<i>Test / Reçete No</i>	<i>Şahit Reçete</i>	<i>Reçete Denemesi 1</i>	<i>Reçete Denemesi 2</i>	<i>Reçete Denemesi 3</i>	<i>Reçete Denemesi 4</i>
Bünyedeki Andezit Atık Miktarı (%)	0.00	11.50	21.50	31.50	41.50
Vakumlu Su Emme Oranı (%)	0.31	0.30	0.24	0.18	0.16



Şekil 4.6 Andezit atık miktarıyla orantılı su emme oranı grafiği.

Atık kullanılarak yapılan 4 farklı deneme reçete ve şahit reçetenin pişmiş masse rengi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Göz ile yapılan kontrole ek olarak spektrofotometre ile yapılan ölçüm sonucuna göre, andezit atık miktarı arttıkça, seramik sektöründe istenmeyen bir durum olan koyu masse rengi olduğu tayin edilmiştir. L*,a* b* renk

ölçüm değerleri Çizelge 4.9’da belirtilmiştir. Ölçüm sonucuna göre, L* ölçüm değeri + yöndeysse beyazlık, - yöndeysse siyahlık değerini; a* değeri + yöndeysse kırmızıya dönük olduğunu, -’ye dönükse yeşile dönük olduğunu; b* değeri + yöndeysse sarıya dönük, - yöndeysse maviye dönük anlamına gelmektedir. Renk dalgalanmaları Andezit atık miktarı arttıkça rengin koyulaştığı göz ile kontrolde de belirlenmiş olup; Resim 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Andezit atık miktarına göre spektrofotometre ile tayin edilmiş değerler.

<i>Test / Reçete No</i>	<i>Şahit Reçete</i>	<i>Reçete Denemesi 1</i>	<i>Reçete Denemesi 2</i>	<i>Reçete Denemesi 3</i>	<i>Reçete Denemesi 4</i>
Bünyedeki Andezit Atık Miktarı (%)	0.00	11.50	21.50	31.50	41.50
L (- Siyah, + Beyaz)	58.66	50.16	42.84	40.32	38.20
a (- Yeşil, + Kırmızı)	6.80	5.62	4.92	4.47	4.28
b (- Mavi, + Sarı)	16.24	12.07	9.11	7.58	6.15



Resim 4.1 Pişmiş karo numuneleri.

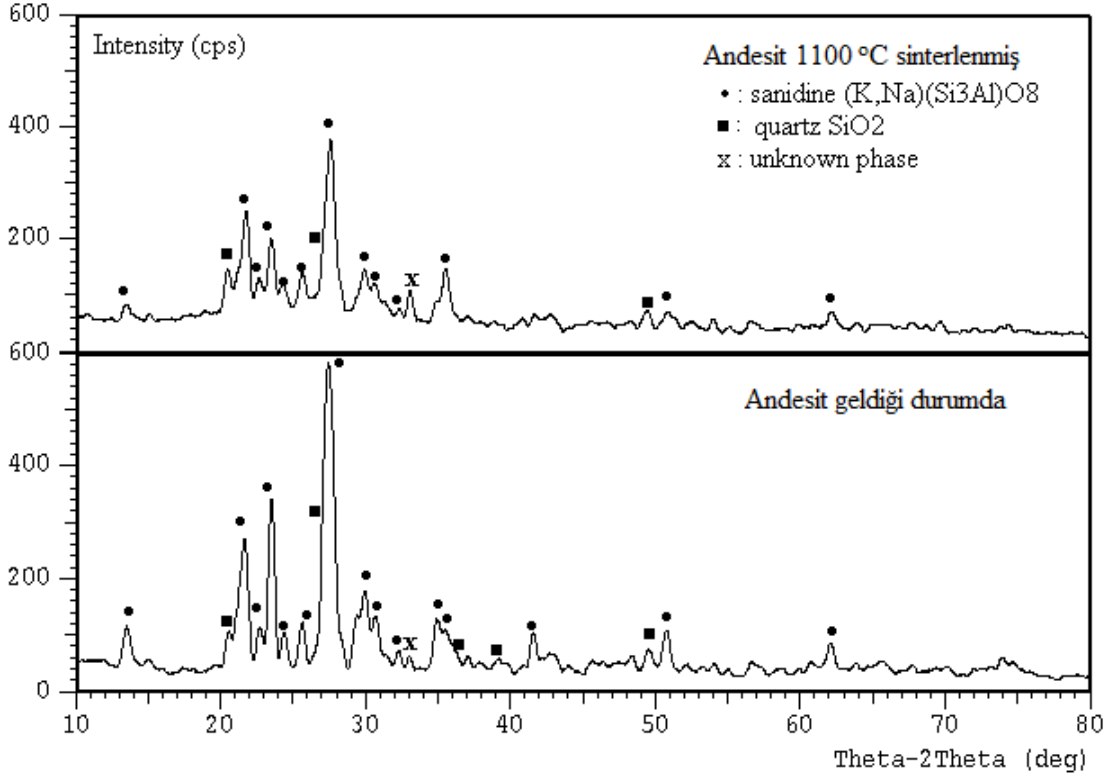
Denenen reçetelerde andezit miktarı arttıkça genleşme katsayılarında artış gözlemlenmiştir. Bu da ısıya karşı davranışlarını hassaslaştırılarak massenin eğiminin

sabit olmasını engeller. Şahit numune ve hazırlanan numunelerin genişleme katsayıları Çizelge 4.10’da belirtilmiştir.

Çizelge 4.10 Şahit numune ve hazırlanan numunelerin genişleme katsayıları.

<i>Reçete Adı</i>	<i>GENLEŞME KATSAYISI ($\times 10^{-7}$)</i>				<i>Uzunluk</i>
	<i>300 °C</i>	<i>400 °C</i>	<i>500 °C</i>	<i>632 °C</i>	<i>Değişimi</i> <i>400 °C</i>
Şahit Reçete	67.66	69.37	72.02	79.28	130.88
1 Numaralı Deneme	68.81	70.36	73.04	79.71	132.19
2 Numaralı Deneme	69.93	71.34	74.12	80.19	133.87
3 Numaralı Deneme	71.19	72.61	74.96	80.51	135.62
4 Numaralı Deneme	72.16	73.3	75.41	80.73	137.1

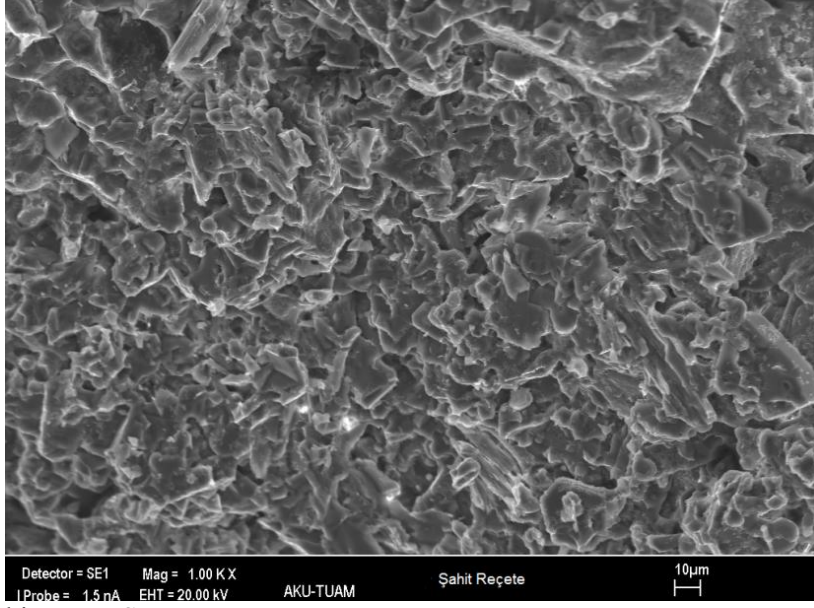
Preslenerek üretilmiş numunelerin 1100°C’de 1 saat sinterlenmesi sonucu elde edilen XRD analizinde ise temel mineralojik yapının değişmediği gözlemlenmiştir. Ancak sinterlenmiş numunede $2\theta = 20 - 40$ derece aralığında gözlemlenen “hump” bölgesinin yüksekliği, andezitin temin edildiği durumdan daha yüksek bir şiddete sahiptir. Bu sonuç, sinterleme sıcaklığı olan 1100°C’de malzemede ergimelerin başladığını ve amorf faz oluşumlarına bağlı olarak “hump” bölgesinin yüksekliğinin arttığını göstermektedir. Bir başka deyişle sinterlemeye bağlı olarak camsı fazların oranında artış, kristal faz oluşumlarının miktarında azalma olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



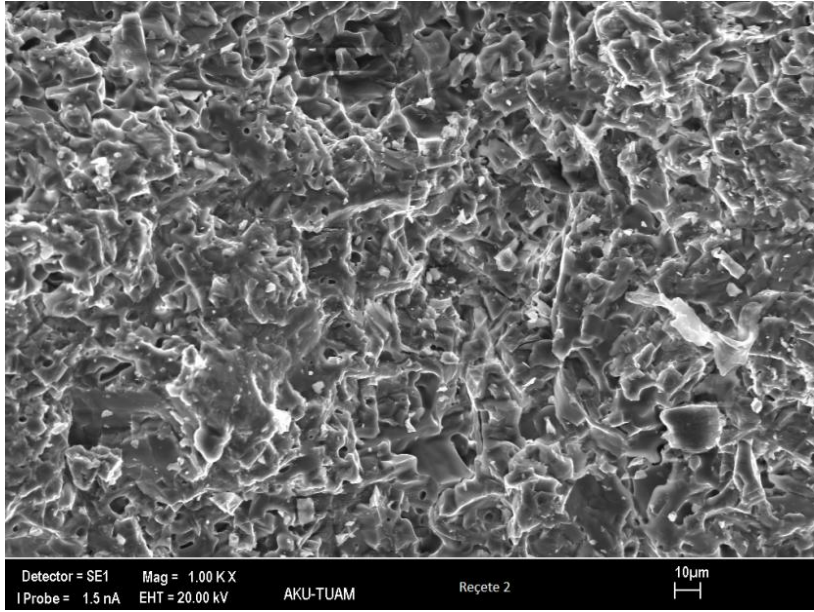
Şekil 4.7 XRD analiz sonuçları.

Şahit reçete, reçete 2 ve en fazla katkı içeren 4 numaralı reçete üzerine kırık yüzeyler kullanılarak, taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntüleme çalışması yapılmıştır.

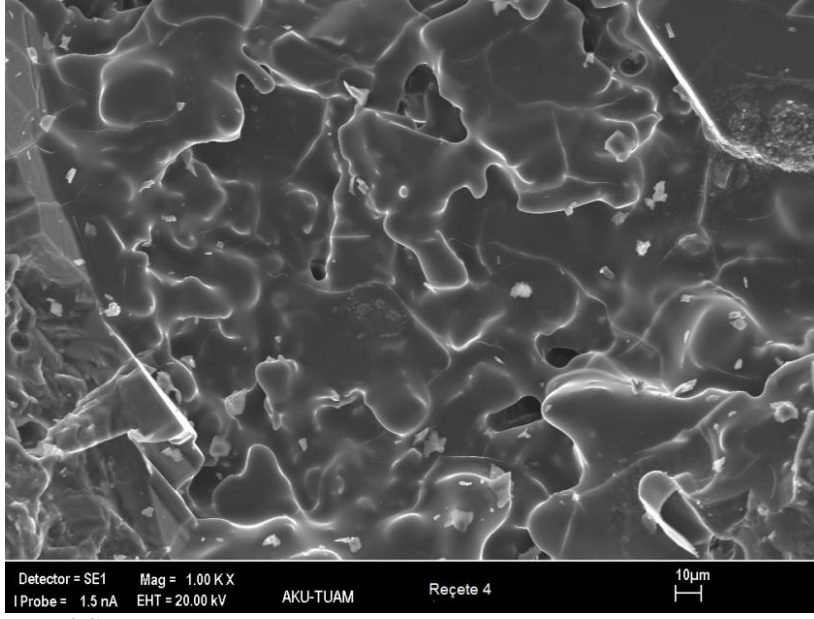
Kırık yüzeylerde inceleme yapabilmek adına, gerekli elektriksel iletkenliği sağlamak için yüzey karbon ile kaplanmıştır. LEO 1430 VP marka taramalı elektron mikroskobu ile ikincil elektron görüntüleri elde edilen numune resimleri Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3'te gösterilmiştir.



Resim 4.2 Şahit reçete SEM görüntüsü.



Resim 4.3 Reçete 2 SEM görüntüsü.



Resim 4.4 Reçete 4 SEM görüntüsü.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Dünya üzerinde bulunan doğal taş rezervlerinin %40'nın Türkiye'de bulunduğu bilinmektedir bu sebeple taş işleme fabrikalarındaki atık miktarının genellikle % 20-30 civarındadır.

Doğal taş üretim proseslerinde ortaya çıkan bu atıkların tekrar değerlendirilerek kullanılması hem endüstriyel açıdan gelir olduğu gibi ayrıca ekolojinde korunması konusunda oldukça büyük bir öneme sahiptir. Andezit kesim atıkları, seramik bünyesine teknik anlamda, iyileştirme kazandırmıştır. Bu sebeple seramik bünyesinde feldspat görevinde kullanımı uygundur.

Sinterleme derecesi, atık miktarıyla doğru orantılı şekilde artmıştır. Sinterleme sıcaklığındaki artma sonucunda taneler arasındaki gözeneklilik azalmış ve bu sebeple boyut küçülmüş, mukavemet artmıştır.

Seramik karolar su emme gruplarına göre sınıflandırılmaktadır. Seramiğin teknik özelliklerinin iyi olması adına su emme oranının düşük olması gerekmektedir. Seramik bünyesinde atık miktarı arttıkça gözenek azalması sebebiyle, seramik karolarda istenilen düşük su emme seviyesi sağlanmış ve su emme oranı %0,5 'in altında kalmıştır. Bu da teknik anlamda olumlu bir özelliktir.

Ergitici karakteri nedeniyle andezit kesim atığı içeren numunelerde gözeneklerin referans numuneye göre daha iyi kapandığı gözlenmektedir. Ayrıca atık içeren numunelerde kırık köşeleri örten camsı fazın varlığı referans numuneye göre çok daha fazla olduğu gözlenmektedir. Mikroyapı incelemelerindeki bu sonuçlar, atık miktarı arttıkça neden su emme değerlerinin de azaldığını iyi bir şekilde açıklamaktadır.

Andezit kesim atık miktarı arttıkça karo denemelerindeki camsı yapının artması sebebiyle, pişirim küçülmesi oranı da artmıştır. Bu da deformasyona sebebiyet verebilmektedir. Bu durumda, ergimeye önleyecek olan ilave kaolen eklenerek % küçülme oranı azaltılarak deformasyonun önüne geçilmiş olunabilir.

Ekonomik bir değeri olmayan andezit kesim atıkları, atık depolarında depolanarak bertaraf edilmektedir. Bu atığın bertaraf edilmesi yerine seramik bünyesinde kullanılarak alternatif olabilecek bir hammadde kaynağıdır. Bu şekilde çevre etkileri azaltılmış olacaktır. Depo maliyeti ve bertaraf maliyeti bu şekilde minimum seviyeye indirgenmiş olacaktır.

Seramik bünyede atık kullanım miktarı arttırılarak, maliyette yüksek miktarda iyileştirme yapılacaktır.

Genel anlamda seramik massesinde kullanımı uygun olan andezit kesim atığının olumsuz etkisi, masse rengini koyulaştırmış olmasıdır. Gözle yapılan kontrol ve spektrofotometre ile yapılan renk ölçümlerinde rengin siyah renge doğru ilerlediği tayin edilmiştir. Bu durum, satış anlamında olumsuz bir etki gösterecektir. Bu sebeple, masse rengini açmayı sağlayacak bir hammadde kullanılarak çözümlenebilir ve maliyet hesaplamaları bu durum göz önünde bulundurularak yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Arcasoy, A. (1983). Seramik Teknolojisi, M.Ü. Yayınları Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Ana Sanat Dalı No:2, İstanbul.
- Bentli, T (2002). Bor atıkları ve değerlendirilme stratejileri, Kütahya I. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, 250-258.
- Binal, G. (2013). Manyezit Atıklarının Seramik Karo Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 27-30
- Boltakova N.V., Faseeva G.R., Kabirov R.R., Nafikov R.M., Zakharov Yu.A. (2017). Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000–2015. *Waste Management* **60** : 230–246.
- Ceylan, H. (2000). Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Isparta.
- Çalışkan, F, Demir, G. (2015). Toz Malzeme Teknolojisi Sinterleme Seramik Malzemeleri Dersi
- Çelik, M.Y., Ersoy, M., Arsoy Z., Sertb, M., Yeşilkaya, L. (2018). İsehisar Andezitlerinin Tuz Kristallenmesine Bağlı Ayrışmasında Su İtici Kimyasal Madde Etkisinin Araştırılması, *Madencilik*, **57**, 81-94.
- Çetiner, E.G. (2006). Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye, *Madencilik*, Cilt 45, Sayı 1.
- Davraz, M., Gündüz, L. (2006). Isparta-Direkli Köyü Mevkii Trakiandezit Taşının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık İstanbul.
- EN 14411 (2016). Ceramic tiles - Definition, classification, characteristics, assessment and verification of constancy of performance and marking.
- Freeman, J. (2006). Reology Applied to Ceramics, Modena, Italy.
- Gencil O., Özel C., Köksal F., Erdoğan E., Martinez-Barrera G. and Brostow W., (2012). Properties of concrete paving blocks made with waste marble, *Journal of Cleaner Production*, **21**, 62-70.
- Grim (1975). Clays and Ceramic Raw Materials, App. Science, London.

- Haussonne J.M, Carry C., Bowen P. and Barton J. (2005). Céramiques et verres: principes et techniques d'élaboration. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes
- ISO 10545-2 (2018). Ceramic Tiles - Part 2: Determination Of Dimensions And Surface Quality Standard.
- ISO 10545-3 (2018). Ceramic Tiles - Part 3: Determination Of Water Absorption, Apparent Porosity, Apparent Relative Density And Bulk Density Standard.
- ISO 10545-4 (2019). Ceramic Tiles - Part 4: Determination Of Modulus Of Rupture And Breaking Strength Standard.
- ISO 10545-8 (2014). Ceramic Tiles - Part 8: Determination Of Linear Thermal Expansion Standard.
- ISO 10545-13 (2017). Ceramic Tiles - Part 13: Determination Of Chemical Resistance Standard.
- ISO 10545-14 (2015). Ceramic Tiles - Part 14: Determination Of Resistance To Stains Standard.
- Karakaya. Ç.M. (2006). Kil Minerallerinin Özellikleri ve Tanımlama Yöntemleri, Bizim Büro Basımevi, Ankara, Türkiye
- Kaya D. (2013). Andezit kesim artığının tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, 10-11.
- Kayacı, B. (2006). Proses Ham Atığının Seramik Karo Bünyelerde Kullanımı.
- Kayacı, K. (2007). Karaköy (Bilecik) Yöresi Mikrogranitinin Jeolojisi ve Seramik Bünyelerde Kullanım Olanaklarının Araştırılması.
- Krelll, A., Blank P., Ma, H., Hutzler, T. and Nebelung, M. (2003). Processing of High Density submicrometer Al₂O₃ for new applications. *Journal of the American Ceramic Society*, **86**:546–553.
- Kuşcu, M., Yıldız, A., Bağcı, M. (2003). Investigation of Ağın Andesite as a Building Stone (İscehisarAfyon, W-Turkey). International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, 243-253, İstanbul, Türkiye.
- Le Bas M. J., Le Maitre R. W., Woolley A. R. (1992). The Construction of the Total Alkali-Silica Chemical Classification of Volcanic Rocks. *Miner. Petrol*, **46**: 1-22.
- Menezes, R.R., Santana, L.N.L. Santana, Neves, G.A. ve Ferreira, H.C. (2012). Recycling of mine wastes as ceramic raw materials: An alternative to avoid

- environmental contamination, Environmental Contamination, Jatin Kumar Srivastava (Ed.), ISBN: 978-953-51-0120-8, InTech,
- Öneç, D. (2002). Andezitlerin mermer olabilme özellikleri, *Mermer Dergisi*, **33**, 22-25.
- Reed, J.S. (1995). Principles of Ceramic Processing, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Reed, J.S. (1998). Introduction To The Principles Of Ceramic Processing, New York State Collage Of Ceramics, Alfred Univercity, Newyork.
- Reed, J.S. (2000). "From batch to pressed tile: Mechanics and system microstructural changes", Qualicer, Spain, 23-42.
- Sacmi, Applied Ceramic Technology (2002). Volume 1, Editrice La Mandragora S.R.L., Imola, Italy.
- Sarışık A., Sarışık G., Şentürk, A. (2011). Applications of Glaze and Decor on Dimensioned Andesites Used in Construction Sector, Construction and Bulding Materials, 3694-3702.
- Tanişan, H.H. ve Mete, Z. (1998). Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, Birlik Matbaası, Söğüt. Temur. (1994).
- Vieira, C.M.F., Peçanha, L.A. ve Monteiro, S.N. (2006). Effect of kaolenitic clays from the State of Rio de Janeiro in the composition of whiteware floor tile bodies, *Ceramica* **52**: 138-145.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.enerji.gov.tr>, 06.01.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ATAGÜN
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir / 01.09.1993
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0506 498 38 28 / merveatagun1@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Anadolu Meslek Lisesi, (2007-2011)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, (2012-2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Ege Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2016.