



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SENTETİK VOLLASTONİTİN HARÇLARIN TEMEL MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

SÜMEYYE ÖZCAN

Temmuz 2017

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SENTETİK VOLLASTONİTİN HARÇLARIN TEMEL MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

SÜMEYYE ÖZCAN


Yüksek Lisans Tezi


Danışman


Yrd. Doç. Dr. Hasan Erhan YÜCEL

Temmuz 2017

Sümeyye ÖZCAN tarafından Yrd. Doç. Dr. Hasan Erhan YÜCEL danışmanlığında hazırlanan “Sentetik Vollaistonitin Harçların Temel Mekanik Özellere Etkisi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Başkan :Yrd. Doç. Dr. Hasan Erhan YÜCEL, Niğde Ömer Halisdemir
Üniversitesi


Üye : Doç. Dr. Fatih ÖZCAN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi


Üye : Yrd. Doç. Dr. Gürkan YILDIRIM, Adana Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../2017

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sümeyye ÖZCAN



ÖZET

SENTETİK VOLLASTONİTİN HARÇLARIN TEMEL MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZCAN, Sümeyye

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Yrd. Doç. Dr. Hasan Erhan YÜCEL

Temmuz 2017, 50 sayfa

Bu tez çalışmasında doğal bir mineral olan vollastonitin laboratuvar ortamında yeni bir üretim prosedürü ile üretilebilirliği, üretilen sentetik vollastonitin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile betonda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve çimento harçlarına olan etkisi araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında üretilen sentetik vollastonit üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, X-ışınları floresans spektrum (XRF) analizi, X-ışınları kırınımı (XRD) analizi, tane boyutu analizi ve betonda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla sarsma tablası deneyi ve puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Sentetik vollastonitin çimento harçlarına olan etkisini belirlemek amacıyla kontrol karışımı olarak standart harç karışımı ve üretilen sentetik vollastonitin ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek beş farklı harç karışımı üretilmiştir. Hazırlanan kontrol ve sentetik vollastonit katkılı karışımların eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda üretilen sentetik vollastonitin betonda mineral katkı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca sentetik vollastonitin çimento harçlarının eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığı belirlenmiştir. %9 oranında vollastonit içeren çimento harcında en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerlerine ulaşıldığından optimum vollastonit miktarı %9 olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Sentetik vollastonit, katkı malzemesi, çimento harcı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı

SUMMARY

THE EFFECT OF SYNTHETIC OF WOLLASTONITE ON BASIC MECHANICAL PROPERTIES OF MORTARS

ÖZCAN, Sümeyye

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Hasan Erhan YÜCEL

July 2017, 50 pages

In this thesis study, the producibility of wollastonite which is a natural mineral in a laboratory environment by a new production procedure, the physical and chemical properties of the produced synthetic wollastonite were determined and usability as admixture material in concrete and the effect on cement mortars was investigated. Scanning electron microscopy (SEM) analysis, X-ray fluorescence spectrum (XRF) analysis, X-ray diffraction (XRD) analysis, grain size analysis were made on the produced synthetic wollastonite in the laboratory environment. In addition, a vibratory table test and a pozzolanic activity test were carried out to determine the usability as an admixture material in concrete. In order to determine the effect of synthetic wollastonite on cement mortars, five different mortar mixtures were produced by replacing 3%, 6%, 9%, 12% and 15% by weight of synthetic wollastonite with cement and standard mortar mixture as control mixture. The flexural and compressive strengths of the prepared control and synthetic wollastonite reinforced mixtures were determined. As a result of laboratory studies, synthetic wollastonite can be used as a mineral additive in concrete. Furthermore, it was determined that synthetic wollastonite increases the flexural and compressive strengths of cement mortars. The highest flexural and compressive strength values were reached in cement mortar containing 9% wollastonite. Therefore, the optimum amount of wollastonite was found to be 9%.

Keywords: Synthetic wollastonite, admixture material, cement mortar, compressive strength, flexural strength

ÖN SÖZ

Beyaz renkli olan vollastonit doğal olarak oluşmuş kalsiyum metasilikattır ve iğnemi kristal bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada, doğal bir mineral olan vollastonitin laboratuvar ortamında yeni bir üretim prosedürü ile üretilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra laboratuvar ortamında üretilen sentetik vollastonitin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile betonda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve çimento harçlarına olan etkisi araştırılmıştır. Üretilen sentetik vollastonit üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, X-ışınları floresans spektrum (XRF) analizi, X-ışınları kırınımı (XRD) analizi, tane boyutu analizi ve betonda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla sarsma tablası deneyi ve puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Laboratuvar ortamında üretilen sentetik vollastonitin ağırlıkça farklı oranlarda çimento ile ikame edilerek harç karışımları elde edilmiştir. Bu karışımların yanı sıra vollastonit içermeyen kontrol karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan kontrol ve sentetik vollastonit katkılı karışımların eğilme ve basınç dayanımları belirlenerek sentetik vollastonitin harçların temel mekanik özellikleri üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan Erhan YÜCEL'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Orkun ERSOY'a teşekkür ederim.

Her zaman ve her konuda yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve eşime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II LİTERATÜR TARAMASI	2
2.1 Vollastonitin Tarihçesi	2
2.2 Vollastonitin Mineralojisi, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	3
2.3 Vollastonit Oluşumu	4
2.4 Vollastonitin Uygulamaları	7
2.5 Sentetik Vollastonit İhtiyacı	10
2.6 Mevcut Sentetik Vollastonit Araştırmaları	10
2.7 Vollastonitin Mineral Katkı Olarak Betonda Kullanılması	16
2.8 Değerlendirme	18
BÖLÜM III DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1 Malzemeler	19
3.1.1 Çimento	19
3.1.2 Kum	19
3.1.3 Vollastonit	20
3.1.4 Kuvars	20
3.1.5 Kalsit	20
3.2 Sentetik Vollastonit Üretimi	21
3.3 Üretilen Sentetik Vollastonitin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	24
3.4 Üretilen Sentetik Vollastonitin X- Işınları Floresans Spektrum (XRF) Analizi	24
3.5 Üretilen Sentetik Vollastonitin X- Işınları Kırınımı (XRD) Analizi	24
3.6 Üretilen Sentetik Vollastonitin Tane Boyutu Analizi	25

3.7 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin Puzolanik Özelliği	25
3.7.1 Çimento sarsma tablası deneyi	25
3.7.2 Puzolanik aktivite deneyi.....	27
3.8 Üretilen Sentetik Vollaŝtonit ile Hazırlanan Çimento Harçlarının Üretilmesi	30
3.8.1 Eğilme dayanımı deneyi	31
3.8.2 Basınç dayanımı deneyi	31
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi	
Sonuçları	32
4.2 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin X- Işınları Floresans Spektrum (XRF) Analizi	
Sonuçları	32
4.3 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin X- Işınları Kırınımı (XRD) Analizi Sonuçları.....	33
4.4 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin Tane Boyutu Analizi Sonuçları	34
4.5 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin Puzolanik Özelliği Sonuçları	34
4.5.1 Sarsma tablası deney sonuçları	34
4.5.2 Puzolanik aktivite deney sonuçları	35
4.6 Üretilen Sentetik Vollaŝtonit ile Hazırlanan Çimento Harçlarının Mekanik	
Özellikleri Test Sonuçları.....	36
4.6.1 Eğilme dayanımı sonuçları	36
4.6.2 Basınç dayanımı sonuçları	38
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	41
KAYNAKLAR	43
ÖZ GEÇMİŞ.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Vollastonitin fiziksel özellikleri	3
Çizelge 3.1 Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri	19
Çizelge 3.2 Standart kum elek analizi	20
Çizelge 3.3 Sentetik vollastonit üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım ağırlıkları	22
Çizelge 3.4 Elektrikli mekanik karıştırıcı paleti hızları	30
Çizelge 3.5. Harç karışımlarının içeriği.....	31
Çizelge 4.1 Sentetik vollastonitin XRF analizi sonucu	33
Çizelge 4.2 Sarsma tablası deneyi çap ölçüm sonuçları	35
Çizelge 4.3 Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları.....	35
Çizelge 4.4 Sentetik vollastonitin puzolanik aktivitesi.....	36
Çizelge 4.5 Kiriş numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme deney sonuçları	36
Çizelge 4.6 Kiriş numunelerin 7 ve 28 günlük basınç deney sonuçları.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Vollastonit kristali	3
Şekil 2.2 Ticari bir vollastonitin parçacık yapısı	4
Şekil 2.3 Vollastonitin kullanıldığı çeşitli uygulamalar (a) ABD, (b) Dünyada	8
Şekil 2.4 Vollastonitin 1970-2010 yılları arasında dünyadaki kullanım miktarı (a) ülkelere göre vollastonit kullanım oranları(b).....	9
Şekil 2.5 Islak metot ile vollastonit üretim şeması	13
Şekil 2.6 Katı hal reaksiyon metodu ile vollastonit üretim şeması.....	14
Şekil 2.7 Sıvı faz reaksiyon metodu ile vollastonit üretim şeması	15
Şekil 3.1 Vollastonitin kimyasal yapısındaki değişim.....	23
Şekil 3.2 Elektrikli mekanik karıştırıcı kap ve paleti.....	29
Şekil 4.1 Sentetik vollastonitin SEM analizi sonucu.....	32
Şekil 4.2 Sentetik vollastonitin XRD analizi sonucu.....	33
Şekil 4.3 Üretilen sentetik vollastonitin tane boyut analizi	33
Şekil 4.4 Üretilen sentetik vollastonit ile hazırlanan çimento harçlarının eğilme dayanımları.....	33
Şekil 4.5 Üretilen sentetik vollastonit ile hazırlanan çimento harçlarının basınç dayanımları.....	33

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1 Kuvars (a), bilyeli değirmen(b).....	21
Fotoğraf 3.2 Kalsit(a), kül fırını(b).....	22
Fotoğraf 3.3 Otoklav için hazırlanan jel(a), Hidrotermal otoklav reaktörü(b).....	22
Fotoğraf 3.4 Tobermorit(a), öğütülmüş tobermorit(b).....	23
Fotoğraf 3.5 Sarsma tablası kalıbı	29
Fotoğraf 3.6 Sarsma tablası	26
Fotoğraf 3.7 Kontrol numunesi.....	26
Fotoğraf 3.8 Test karışımı.....	27
Fotoğraf 3.9 Elektrikli mekanik karıştırıcı	29
Fotoğraf 3.10 50x50x50 mm küp numune kalıbı	27

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

Mpa

Megapascal

kN

Kilonewton

Kgf/s

Kilogramkuvvet/saniye

Mm

Milimetre

Kısaltmalar

Açıklama

ASTM

Amerikan Deney ve Malzeme Birliği

ODTÜ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

TSE

Türkiye Standartları Enstitüsü

HAR

Yüksek En-Boy Oranı

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

XRD

X-Işınları Difraktometresi

XRF

X-Işınları Floresans Spectrum

PA

Puzolanik Aktivite

BÖLÜM I

GİRİŞ

Doğal olarak oluşmuş olan vollastonit, kalsiyum metasilikattır (CaSiO_3). İğnemsiz kristal bir yapıya sahip olan vollastonit minerali, alkaline (pH 9.8) ve beyaz renklidir (Ciullo, 1996; Kogel vd.2006).

Vollastonitin kendine özgü özellikleri sayesinde; seramiklerde, plastikler ve boyalar için dolgu malzemesi olarak, termal ve elektriksel yalıtkanlarda, sırlar için ergitici ile ıslatma ajanı ve metal ergitici olarak her geçen gün artan birçok uygulama alanında kullanılmaya başlanmıştır (Springer,1994).

Çimento içeren materyallerde yapılan çalışmalarda vollastonitin çimento ile birlikte kullanılabilirdiği görülmüş ancak yapılan çalışmalar yeterli düzeyde değildir. İnşaat alanında kullanımı en önemli materyal olan beton farklı iç ve dış etkiler nedeniyle deforme olabilen bir malzemedir. Betondaki bu deformasyonları önlemek amacıyla çeşitli katkı malzemeleri, tamir kimyasalları kullanılmıştır. Betonun maruz kaldığı iç ve dış olumsuz etkiler betonun mukavemetini düşürmesinin yanı sıra sonradan telafisi olmayacak şekilde hasarlar vermektedir. Bu türdeki etkilerin minimum düzeye indirilmesini sağlamak amacıyla günümüze kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ise bu tür etkilerin azaltılması ve üretilecek betonun maksimum düzeyde performans ve işlevsellik ile görev yapması için vollastonit malzemesinin mineral katkı malzemesi olarak üretilmesi öngörülmüştür. Vollastonitin üretimi ASTM standartları esas alınarak yapılmıştır. Üretilen vollastonit ise puzolonik aktivite ve sarsma tablası deneylerine tabi tutulduktan sonra çimento harcı ile karışımı yapılarak dayanım kazanmış çimento harcının basınç ve eğilme mukavemetleri üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

Çimento, kum ve su karışımı ile kontrol numunesi, çimentonun ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında üretilen sentetik vollastonit ikame edilmesiyle de vollastonitli çimento harçları hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento harçlarının basınç ve eğilme mukavemetleri kontrol numunesi ile karşılaştırılarak en uygun vollastonit miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Vollastonitin Tarihçesi

Vollastonit, ismini mineralog ve kimyacı olan William Hyde Wollaston'a (1766-1828) ithafen almıştır. Kalsiyum metasilikat olan vollastonit içeriğinde kalsiyum, silisyum ve oksijen bulundurmaktadır. Vollastonitin ticari kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır (Can, 1991; Emrulloğlu vd., 2004).

Öncelerden tabular billur adıyla anılan mineral 1882 yılından itibaren mineral üzerindeki başarılı çalışmaları sebebiyle William Hyde Wollaston'un onuruna "Vollastonit" olarak yeniden isimlendirildi (Maxim vd., 2008).

Endüstriyel alanda kullanımı 1993 yılında Kaliforniya'da madencilığe başlanması ile harekete geçti. İlk olarak ticari üretimine başlanması 1953 yılında Willsboro'da gerçekleşti.

1967 yılından sonra ticari olarak vollastonit üretimine Hindistan, Finlandiya, Meksika, Zimbabve, Çin gibi çeşitli dünya ülkelerinde de başlandı (Emrulloğlu vd., 2004; Sariiz, 1992; Virta, 2001; Dumont, 2004). Vollastonitin fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

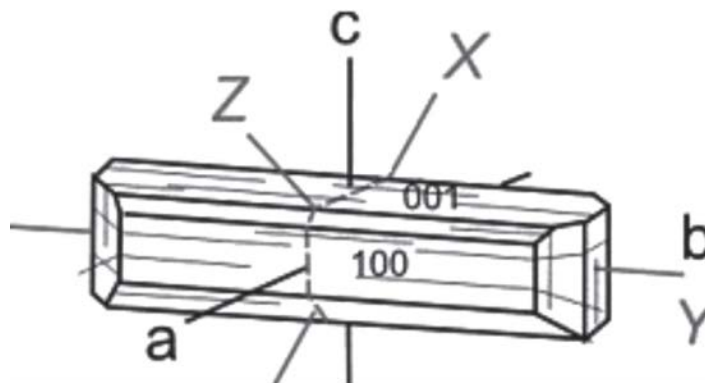
Çizelge 2.1. Vollastonitin fiziksel özellikleri (Haner, 2013; Çuhadaroğlu, 2013)

Özgül Ağırlığı	2,9 gr/cm ³
Mohs Sertliği	4,5
Yoğunluğu	4.5,53' Ib/fit ³
Isıl Genleşme Katsayısı	6.5*10 ⁻⁶
Ergime Noktası	1540°C
pH	10-11
Molekül Ağırlığı	116
Parlaklık	İnci gibi camsı
Renk	Beyaz, krem ya da gri
Kristal Sistemi	Monoklinik veya Trikilinik
Kristal Yapısı	İğnemsiz

Vollastonitin en önemli özelliği iki yönlü mükemmel iğne şekilli parçacıklardan oluşmasıdır. Kristal boyu genelde tane çapı ile 7-8/1 oranındadır. Yüksek ısıya dayanıklı olmasının yanı sıra mekanik direnci de yüksektir.

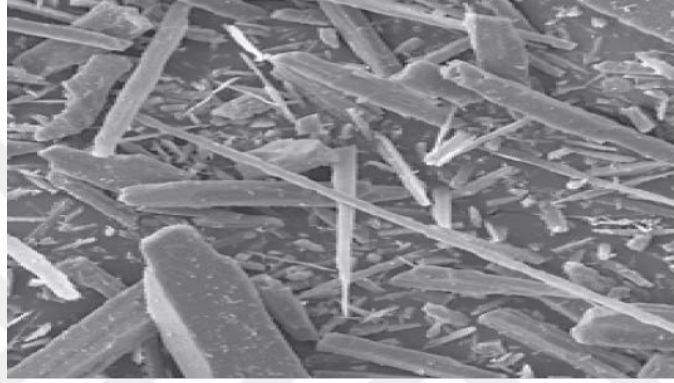
2.2 Vollastonitin Mineralojisi, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Piroksen grubunun bir üyesi olan vollastonit, kristal yapısı zincir (Si₃O₉)⁻⁶ bileşimindedir. Çarpık sekizyüzlüsel koordinasyon gösteren Ca atomları zincirler ile bağlanırlar. Vollastonit kristallerinin şekli yassı ve b eksenine paralel doğrultulu uzanmıştır. Genellikle masif, lifsel topluluklar halindedir (Şekil 2.1) (Kumbasar,1977).



Şekil 2.1. Vollastonit kristali (ICL, 2012)

Kendine has yapısından dolayı vollastonitin kırma ve öğütme işlemleri sırasında iğnemsiz parçacıklar oluşur. Oluşan malzemenin bu yapısı yüksek şekilde dayanım göstermesinden kaynaklı olarak ticari alanda büyük bir yere sahiptir. Şekil 2.2’de seramik uygulamalar için kullanılan ticari bir vollastonitin parçacık yapısı görülmektedir. Vollastonit parçacıklarının boy/çap oranı iğnemsiliği tanımlanır. Vollastonit düşük boy/çap oranlı (genel olarak 5:1 ya da daha az) ve yüksek boy/en oranlı (genellikle 12:1 ya da daha çok) olmak üzere iki türde ifade edilir. Diğer bir ifade ile, vollastonitin parçacık çapları 2.5 µm’den küçük ve 40 µm’den daha büyük aralıklarda olabilir (Kogel vd., 2006).



Şekil 2.2. Ticari bir vollastonitin parçacık yapısı(250x) (NYCO, 2012)

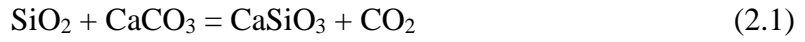
Parlak ve beyaz renkli olan saf vollastonit, saflık oranı tip ve miktarına göre gri, krem, kahverengi, soluk yeşil ya da kırmızı renklerde olmasıyla sınıflandırılabilir. Vollastonit için parlaklık ve renklerin ölçümünde Hunter metodu kullanılmaktadır (Virta, 2001).

2.3 Vollastonit Oluşumu

Magma yer kabuğundan yükselme ve yerleşme esnasında etrafında bulunan yantaşlardan etkilenir ve onlarla reaksiyona girerek onları da etkiler. Magmadan gelen yüksek sıcaklık nedeniyle yantaşlar değişimlere maruz kalır. Örnek olarak killi şistler içeriğindeki sularını kaybederek ve kısmen pişerlerken, kalkerli formasyonların mermerleşmesi olmuştur. Magma ile uzun süre kontakt halinde olan kayalarda kimyasal değişimler ve hatta erimeler gözlenir. Böylece kalkerler silikatlı kayalara (taktit veya skarn), marn ve killer ise amfibollü kayalara dönüşürler. Magmanın yantaşlar üzerinde meydana getirmiş olduğu tüm değişimlere kontakt metamorfizma (değme başkalaşımı) denir. Skarnlar,

magmadan kireçtaşlarına silikat, alüminyum, demir ve manganez transferi ile oluşmuştur (Çoğulu, 1973; Genç, 1992).

Magmatik kayalar ile kalkerlerin kontaktlarında ısı metamorfizma ürünü olarak vollastonit oluşur. Vollastonit oluşumu aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır.



Silika + kireçtaşı = vollastonit + karbondioksit

Kuvars ve kalsit, düşük sıcaklıklarda kararlı bir birleşme oluşturacaktır. Reaksiyon sıcaklığın yaklaşık olarak 400- 450 °C'ye kadar yükselmesiyle birlikte başlamaktadır. Bu reaksiyon, $1 * 10^5$ Pa atmosfer basınç altında kalsit veya kuvars ergiyiği itinceye kadar devam etmektedir. Vollastonit formasyonu ile CO₂ yayılımı sebebiyle basınç yükselir. Basınç yükselmesi sonucu, reaksiyonun devam edebilmesi için gerekli yüksek sıcaklık ihtiyacı daha da artar (950 °C'ye kadar olabilir). Bu esnada, CO₂ gazının doğal olarak oluşmuş olan kırık ve çatlak zonlarına sızma eğiliminden dolayı basınç azalır. Bu basınç azalması ile reaksiyon tekrar düşük sıcaklıklarda devam eder. Ancak basınç yükseldiği zaman reaksiyon sıcaklığı aniden artış göstermez. Aksine reaksiyon ve kalsit oluşur.

Vollastoniti oluşturan diğer sebep ise az bulunan yüksek miktarda karbon içeriği olan ergimiş kayadan (magma) vollastonitin direkt kristalleşmesidir. Bu magmaların kökeni tartışma konusudur. Fakat geçerli olan düşünce, magmanın muhtemelen kökeninin alt kabuk ve üst manto olmasıdır (Andrews, 1970; Fattah, 1994; Virta, 2001; DPT, 2001; Kogel vd., 2006).

CaSiO₃ molekül formülüne sahip olan vollastonit, eşit mol miktarında SiO₂ ve CaO'dan oluşan bir kristaldir (Kume ve Mizuno, 1984). Vollastonit kimyasal formülü CaSiO₃ olan teorik olarak %48 CaO ve %52 SiO₂ içerir. Doğal olarak meydana gelen vollastonit içerisinde alüminyum, demir, magnezyum, mangan, potasyum ve sodyum gibi elementler içerebilir. Genel olarak beyaz ve Mohs Ölçeğine göre 4.5 - 5.5 sertlik aralığındadır. Demir ve mangan vollastonitin rengini değiştirmektedir.

Vollastonitin iki farklı modifikasyonu vardır. (Balkevich vd., 1985; Kotsis ve Balogh, 1989) Bunlar α vollastonite ve β vollastonit olarak isimlendirilir. α vollastonite (pseudo-wollastonite ya da cyclo-wollastonite) yüksek sıcaklıklarda kararlıdır. β vollastonit ise doğal olarak bulunmaktadır ve düşük sıcaklıklarda kararlıdır. Bu iki modifikasyon kendi içinde farklı cinslere ayrılmaktadır (Yang ve Prewitt, 1999). Yamanaka ve Mori'ye (1981) göre α vollastonitte 4 katman ve 6 katman olan cinsler bulunmaktadır ve bu cinsler farklı olarak tekrar eden katmanların kombinasyonlarıdır. Tekrar eden katmanların A ünitesi Caoktahedraller ve Ternary Halkasından oluşmaktadır. Bu sebeple isimlendirmesi yapılırken α -vollastonit-4A ya da α -vollastonit-6A olarak isimlendirilir.

β vollastonitin ise 6 farklı cinsi bulunmaktadır; 1T, 2M, 3T, 4T, 5T, 7Tdir. M ve T harfleri monoklinik ve triklirik yapıyı ifade eder. Simgelerin başındaki rakamlar ise her cinsteki birim hücrenin içerdiği alt hücre sayısıdır (Nelson, 2013; Henmi vd., 1983).

2M vollastonit (paravollastonit) eşsiz bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni uzun bir zincir olan silikontetrahedran zincirlerinin b aksına paralel olmasıdır. Bunun sonucunda lifli bir yapıya sahip olduğu elektron mikroskopunda görülmektedir (Jefferson vd., 1979).

Vollastonitin yapısı yapılan çalışmalarda etraflıca incelenirken çok kritik bir durum olan faz dönüşüm sıcaklıklarının eksik olduğu görülmüştür. Bazı çalışmalarda da görüldüğü üzere yalnızca β dan α vollastonite dönüşüm sıcaklığı mevcuttur (Hesse, 1984; Phillips ve Muan, 1959; Ming vd., 2011). Fakat bu çalışmalarda rapor edilen faz dönüşüm sıcaklıkları birbirleriyle istikrarlı sonuçlar vermemektedir. Örnek olarak bazı çalışmalarda 1125°C (Phillips ve Muan, 1959), 1150°C (Hesse, 1984), 1200°C (Zhang, vd., 2010) gibi sıcaklıklar görülmüştür. Etkin olarak 2M vollastonit sentezlemek için termodinamik uygun sıcaklık aralığını belirlemek oldukça önemlidir. Son olarak vollastonitin erime noktası bazı çalışmalarda 1380°C (Kartal ve Akpınar,2004), 1512°C (Allen vd, 1906) ve 1544°C (Phillips ve Muan, 1959) olarak rapor edilmiştir. Elde edilen bu istikrarsız veriler daha ileri deneyler yapılarak vollastonitin asıl erime noktasının bulunmasını daha önemli hale getirmiştir.

Vollastonitin doğal olarak oluşması iki farklı teoriyi içermektedir. Birinci teoriye göre reaksiyon silika ve kalker arasında orta dereceli sıcaklıkta magmatik saldırı veya derine

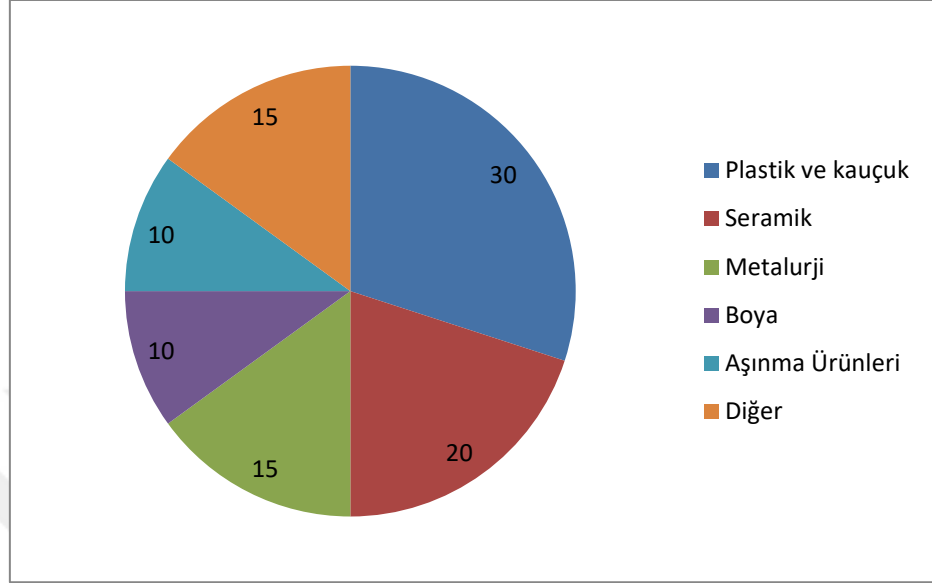
gömülme sebebiyle, ikinci teori ise magmanın yeniden kristallenmesi ile oluştuğunu söyler. Fakat magmanın kökeni hala tartışmaya açıktır (Virta, 2011).

2.4 Vollaŝtonitin Uygulamaları

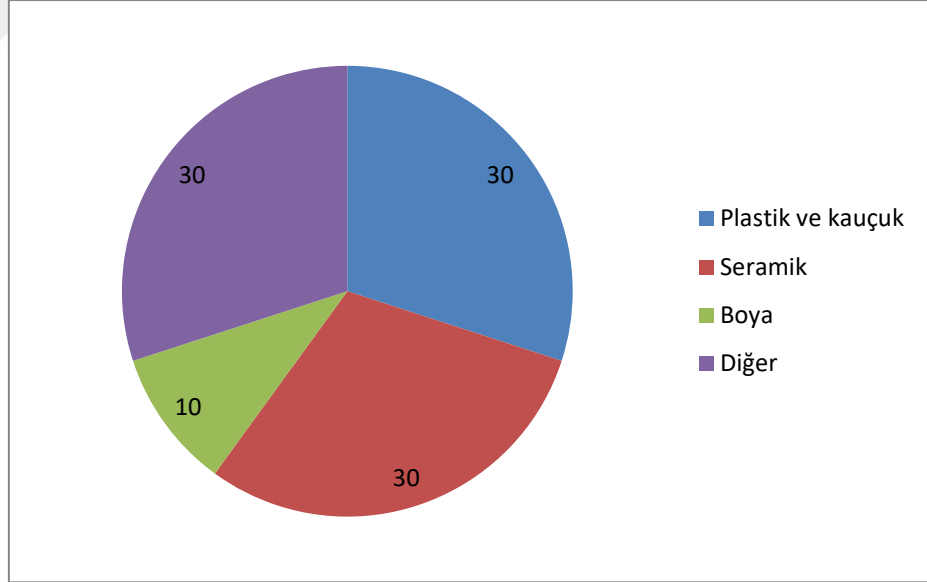
Vollaŝtonitin eşsiz özellikleri onu endüstri için çok kullanışlı bir hale getirmektedir. İlk özellik kimyasal inertliğidir. İkinci özelliği parlaklığı ve beyazlığıdır. Bu sayede beyaz pigmentleri olarak boya sanayisinde kullanılmaktadır. Bu özelliklerin yanı sıra talc, kaolin, mica vb. seramik yapımında kullanılan minareller gibi vollaŝtonitte kristalizasyon suyu içermez. Aynı zamanda kalsiyum kaynağı olarak işlev görür. Bazı seramiklerde kalsiyum karbonat ile yer değiştirir. Bu nedenle yakıldığında CO₂ üretmez. Böylece seramik pişirmesi sırasında gaz salınımını oldukça engeller ve pişirme süresini azaltır. Vollaŝtonit ile yapılan sulu harç yüksek pH değerine sahiptir. Bu özelliği ile boyalarda polivinil asetatın ayrışmasını engeller ve asitliğini stabilize etmek için kullanılır. Termik olarak 1120°C 'ye kadar kararlıdır ve bu sebeple yalıtım uygulamalarında asbest yerine vollaŝtonitin kullanımı daha değerli hale gelmiştir. Son ve en önemli özelliği ise ezildikten sonraki iğnemsî yapısıdır. Bu özellik yani yüksek en-boy oranı (High Aspect Ratio) sayesinde büyük vollaŝtonit parçalarını toz haline getirmek mümkündür. HAR vollaŝtonit genel olarak yapıdaki bükülme modüllerini geliştirdiği, deformasyon ısını düşürdüğü ve çarpma dayanımını arttırdığı için kullanılır. Uzun ve ince iğnemsî yapısı vollaŝtonite belli bir ağırlıkta daha fazla yüzey alanı sağlamaktadır. Daha fazla yüzey alanı ile daha yüksek adezyona sahip olur. HAR parçacıkları minyatür güçlendirme çubuğu gibi davranır ve bu davranış çatlak oluşumunu engeller tıpkı beton yapılarıdaki güçlendirme çubuklarının çatlakları engellediği gibi. Vollaŝtonit plastik, boya, seramik, kaplama, lastik, yapışkan, kauçuk yapımında kullanılır (Jacob, 1976; Vichaphund, 2011). Ayrıca vollaŝtonit, seramik ve çimento endüstrisinde önemli bir maddedir (Yun vd., 2002). Bu durum, araştırmacıları sentetik vollaŝtonit üretmeye yönlendirdi (Nizami vd., 1999).

Günümüzde vollaŝtonitin en çok kullanıldığı endüstri dalları Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi plastik, boya ve seramik sanayidir. Şekil 2.4 'de görüldüğü gibi dünya genelinde vollaŝtonit kullanımı 1970 yılında 40.000 ton iken 2000 'li yıllarda çok fazla bir artış göstererek 600.000 tona çıkmıştır. O günden bugüne vollaŝtonit kullanımı nispeten sabit

kalmıştır. Dünya çapında en büyük üretici Çin ardından Hindistan ve Amerika'dır (Zhu, 2013).

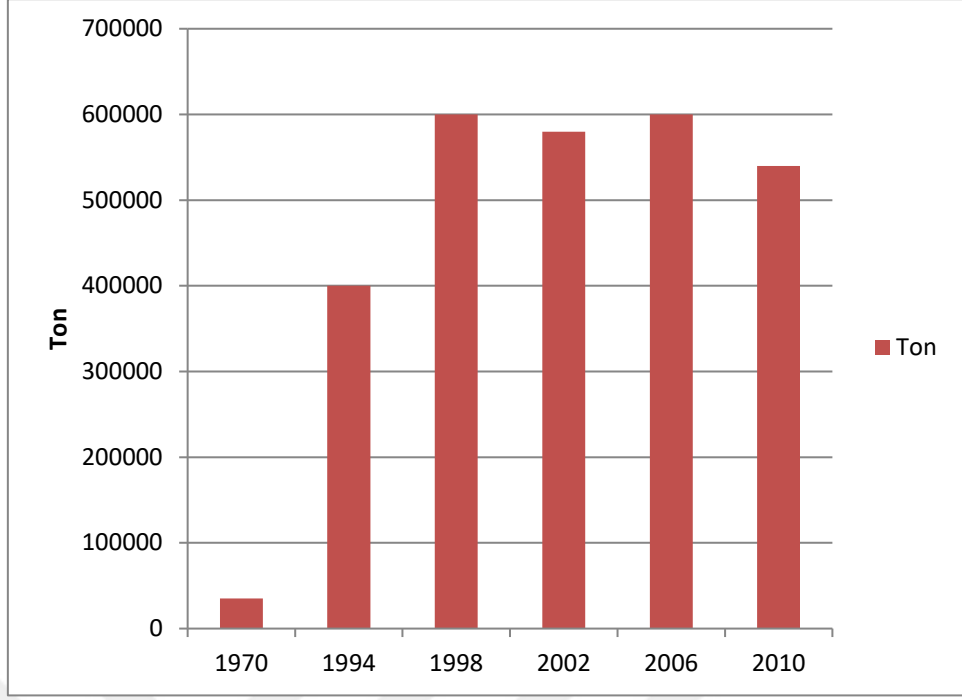


a

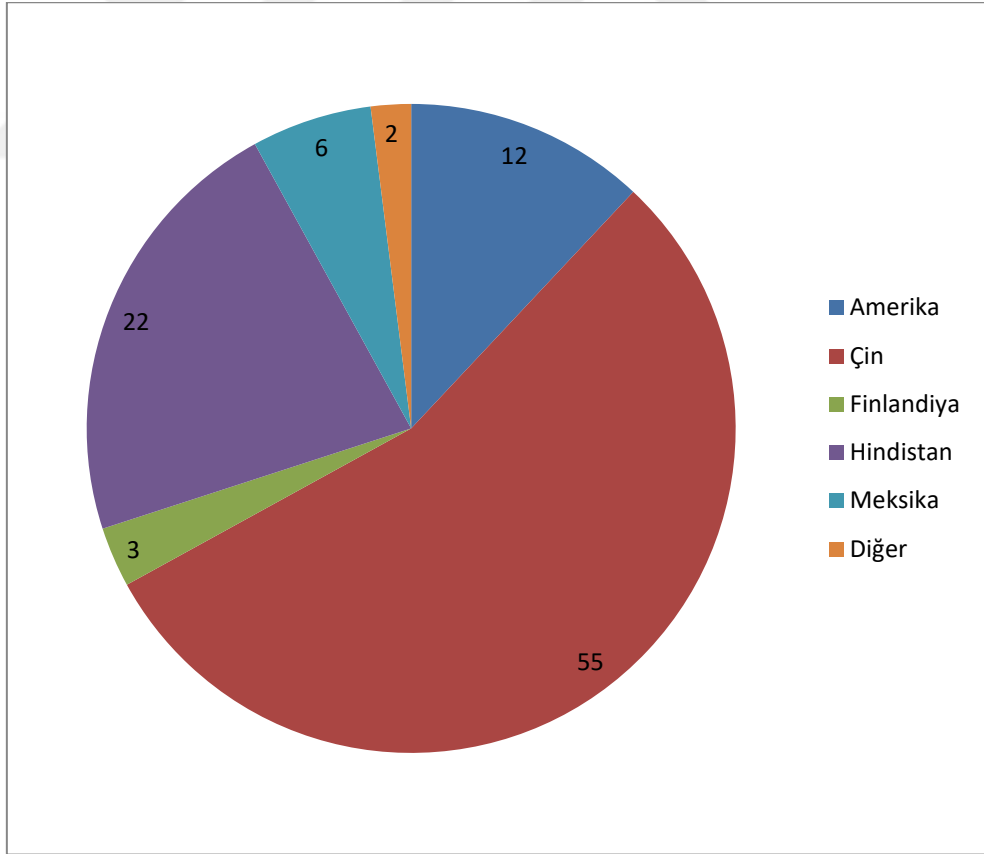


b

Şekil 2.3. Wollastonitin kullanıldığı çeşitli uygulamalar (a) ABD, (b) Dünyada (USGS, 2010; Hawley, 2010)



a



b

Şekil 2.4. Wollastonitin 1970-2010 yılları arasında dünyadaki kullanım miktarı (a) ülkelere göre wollastonit kullanım oranları (b) (USGS, 2010; Hawley, 2010)

2.5 Sentetik Vollastonit İhtiyacı

Vollastonit genel olarak küçük miktarlarda meydana gelir ve kalsit, diopsid ve garnet gibi mineraller ile karışmış halde bulunmaktadır. Bu nedenle ticari olarak doğal vollastonit üretmek için vollastoniti bu minerallerden ayıracak zenginleştirme yöntemleri kullanılması zorunludur. Sentetik vollastonit üretiminde ise kirlilik ve üretilecek miktarı kontrol edebildiğimiz için kirlilik en aza indirilerek istenilen miktarda vollastonit üretilebilir. Sentetik vollastonitin özellikleri doğal vollastonit ile karşılaştırıldığında daha homojendir fakat iğnemsiz yapısı doğal vollastonit kadar iyi olmayabilir. Bir mineral olan vollastonit yenilenemeyen türden kaynaklardandır. Günümüzde hala madenlerden doğal vollastonit çıkarılmaktadır fakat her zaman vollastonit üretimi için alternatif yollar bulunarak doğal vollastonit tüketimini azaltmak ve gelecekteki uygulamalarda kullanılacak vollastonit rezervini korumak amacıyla sentetik üretim çalışmaları yapılmaktadır.

Birçok araştırmacı α ve β formlarının bir karışımını temsil eden sentetik vollastonit üretimine başlamış olup (Saltevskeya vd., 1974), bilim adamları atık maddeleri yeniden kullanmak için yeni ve efektif yaklaşımlar üzerinde çalışmaktadır. Bu atık maddelerden bazıları vollastonit sentezlemek için gerekli olan ana hammaddelerdir. Bunlar; mermer tozu, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi atık maddelerdir. Bu malzemelerin hepsi önemli miktarda silis ve kireç içermektedir. Eğer bunlar sentetik vollastonit üretiminde kullanılabilirse yalnızca doğal vollastonit rezervini korumakla kalmayıp aynı zamanda atık maddelerin geri dönüşümüne de katkıda bulunur. Bu nedenle sentetik vollastonit araştırma ve geliştirme çalışmalarına ilgi artmış ve özellikle yüksek en-boy oranına sahip vollastonit üretimi için çalışmalar hızlanmıştır (Zhu, 2013).

2.6 Mevcut Sentetik Vollastonit Araştırmaları

Hali hazırda, vollastonit üretmek için üç farklı metot bulunmaktadır. Bunlar: Islak metot, katı hal reaksiyon metodu ve sıvı faz reaksiyon metodu. Bu metotlar arasında ıslak metot genellikle düşük sıcaklıklarda (200°C den düşük) yüksek basınç eşliğinde uygulanır. Katı hal reaksiyon metodu ise 800°C üzerindeki sıcaklıkta silikanın kalsiyum oksit veya kalsiyum karbonat ile reaksiyona girmesine dayanmaktadır. Sıvı faz reaksiyon metodu

ise başlangıç karışımının uygun bir kroze içerisinde eritilerek bir araya getirilir. Sodyum oksit ve boron oksit erime sıcaklığını düşürmek için katalizör olarak kullanılmaktadır. Likit form katılaştırılarak sentetik vollastonit elde edilmektedir (Zhu, 2013).

Bu üç metodunda avantaj ve dezavantajları vardır. Bu yöntemlerin hepsi yüksek en-boy oranına sahip vollastonit üretmek için uygunsuz ya da belli bir limite kadar uygundur. Bu durum özellikle geri dönüştürülmüş malzemelerin hammadde olarak kullanıldığı durumlarda görülmektedir (Zhu, 2013). Bu üç metot arasından ıslak metot kullanılarak en yüksek en-boy oranına sahip vollastonit üretilebilir. Fakat genellikle yüksek saflığa sahip çözücüler (sitrik asit) tüketilir ya da inorganik tuzlar ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) hammadde olarak kullanılır (Lin vd., 2006). Sitrik asit çevre ve sağlık sorunlarına neden olurken kullanılan inorganik tuzlar ise daha pahalı ve daha az esnek vollastonit üretilmesine sebep olur (Huang ve Chang, 2009). Bu sebeple bu metotta geri dönüştürülmüş malzeme kullanılmaz. Islak metot ile vollastonit oluşumu Şekil 2.5’de gösterilmiştir (Zhu, 2013).

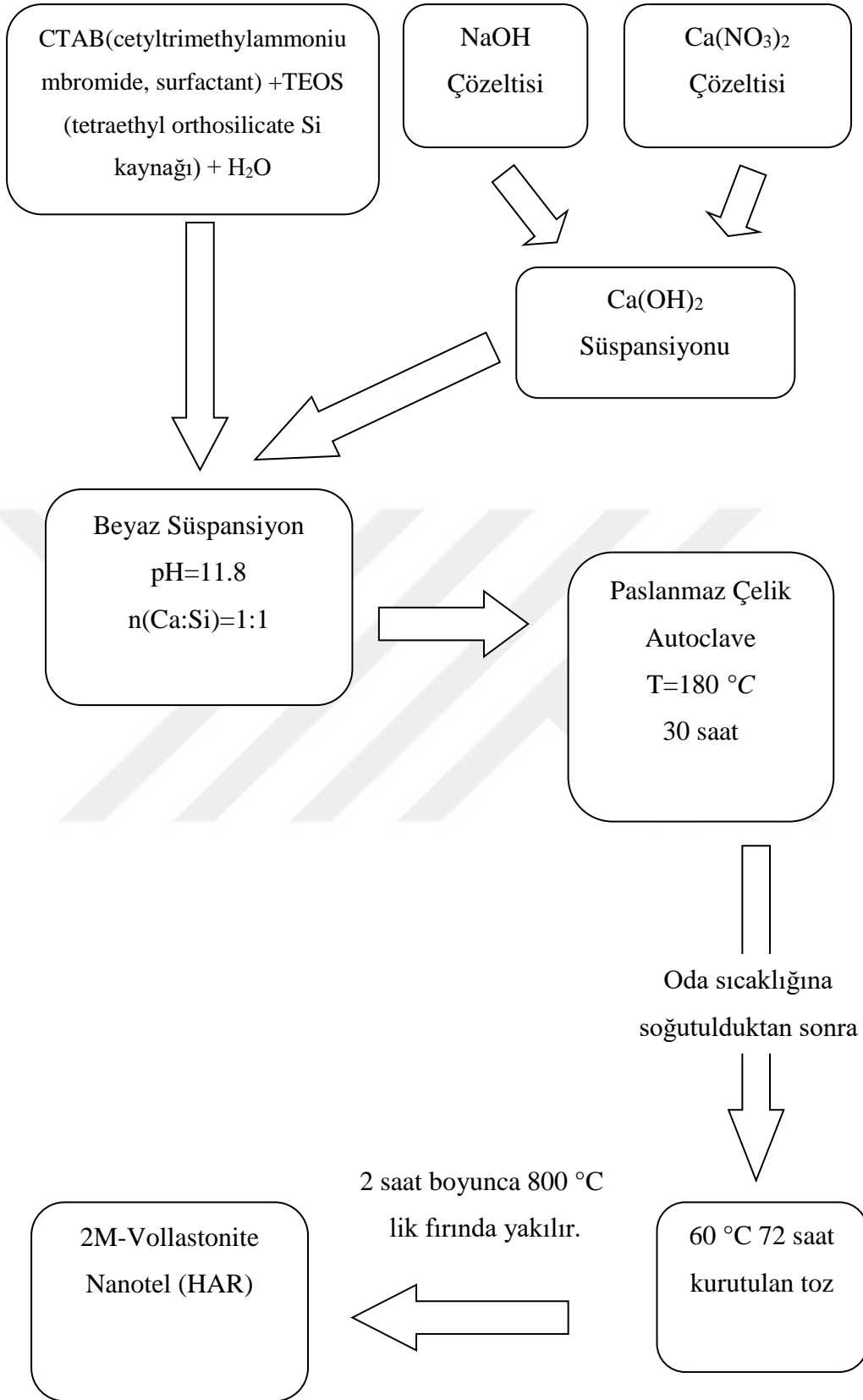
Katı hal reaksiyon metodu silis dumanı, kalsit, mermer tozu, doğal silisyumlu karbonatlar ve atık maddeleri faydalı hale getirir. Ancak genel olarak elde edilen ürünlerde iğnemi yapı oluşmaz. Katı hal metodu ile vollastonit oluşumu Şekil 2.6’da gösterilmiştir (Zhu, 2013).

Sıvı faz reaksiyon metodu ile de iğnemi yapıya sahip vollastonitte üretilebilmektedir. Ama reaksiyon için gerekli olan sıcaklık çok yüksektir (Genellikle 1400°C den fazla). Aynı zamanda deney sırasındaki şartları sağlamak diğer metotlara göre daha zordur. Bu metotta kullanılan sıvı faz asidik SiO_2 ve bazik CaO 'in 1:1 molar oranda karıştırılmasıyla elde edilir ve farklı amaçlar için kullanılmak üzere bazı metal oksitler ilave edilir. Isıya dayanıklı kaplar metal oksitlerden üretildiği için içerisine konulan malzeme ile tepkimeye girebilir. Bu sebeple kirlilik ve korozyon gibi problemler oluşur. 1400°C sıcaklık üzerinde yapılacak bu tür deneylerde platin kap kullanılması gereklidir. Sıvı faz reaksiyon metodu geri dönüşümlü materyaller kullanılarak yüksek en-boy oranına sahip vollastonit üretmek için en ümit verici deney metodudur. Sıvı faz reaksiyon metodu ile vollastonit oluşumu Şekil 2.7’de gösterilmiştir Aşağıdaki iki farklı çalışma sıvı faz reaksiyon metodunda kullanılan deney yöntemlerini göstermektedir (Zhu, 2013).

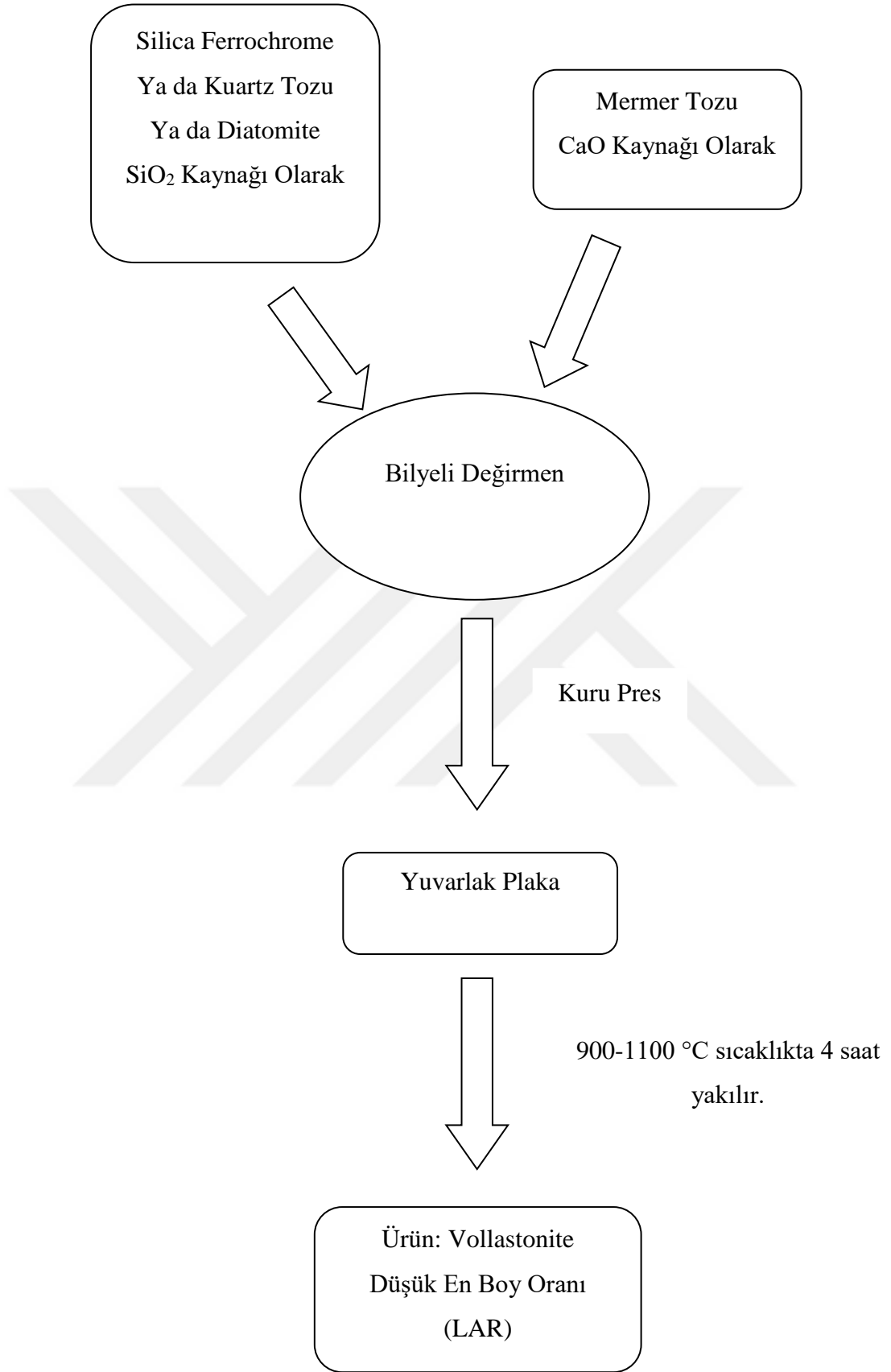
Örnek 1 Ohsato (1986) deney başlangıç karışımı olan $K_2CaSi_2O_7$ karışımının hazırlanmasıyla başlar. Karışım $1400^\circ C$ de eritilir ve yavaşça $1400^\circ C$ den $1060^\circ C$ lik sıcaklığa 24 saatlik periyotta düşürülür. $1060^\circ C$ ye gelen karışım 20 saat boyunca açık havada bekletilir. Bu çalışmaya göre K_2O nun yüzeyden buharlaşmasıyla meydana gelen eriyik malzemedan vollastonit kristalleri çöker. Oluşan kristaller 1-2 mm uzunluk 0.1-0.7 mm en kesite sahip Para ve β vollastonitlerdir (Zhu, 2013).

Örnek 2 Maries ve Rogers (1977) karışım farklı oksitler kullanılarak hazırlanır. Amaçları vollastonitin silikat zincir yapısına benzer lifli kristaller elde etmek olduğundan bu karışımda 1:1 molar oranlarında SiO_2 ve CaO kullanılmaz ve içeriğe %20 ZnO , %13 Al_2O_3 ya da %7.5 Na_2O ilave edilir. Karışım yaklaşık 1 mm çapında cam çubuklar oluşturmak için eritilir. Katılaştıran cam çubuklar yavaşça platin ısıtma bobininin içinden geçirilir ve lokal olarak eritilir. Bobinin içindeki ısı kontrol edilerek eriyik hale getirilmesi sağlanır. Çubuğu bobinin içerisinden maksimum çekme hızı dakikada 3 mm'yi aşmamalıdır. Bu metotla β - $CaSiO_3$ üretilir. Bu çalışmada yalnızca ürünün lifli özellikleri ile ilgili bilgi verildiği için en-boy oranı ile ilgili bilgi bulunmamaktadır. Ancak kristalize olmuş bu ürünün en-boy oranı diğer sıvı faz uygulamalarından fazla olmalıdır çünkü kristalizasyonun meydana geldiği ortam daha uygundur. Bu metodun uygulanışı Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Zhu, 2013).

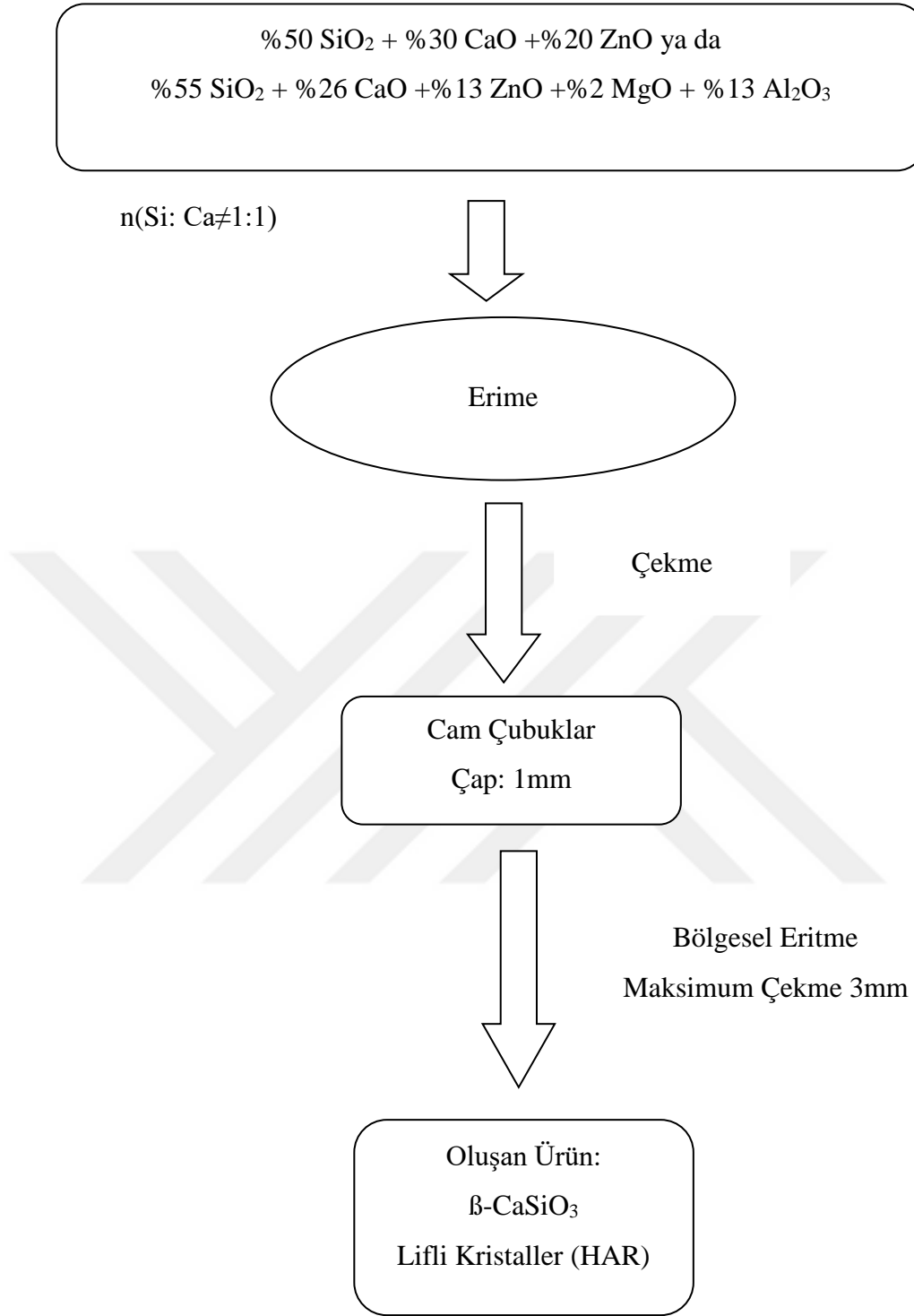
Yukarıdaki iki örneğe rağmen yüksek en-boy oranına sahip vollastoniti geri dönüşümlü malzemedan elde etmek için bazı şartlara henüz tam olarak ulaşılamamıştır. Belirtilen bu şartlar aşağıda sıralanmıştır. İlk olarak kullanılan platin malzemenin maliyetine ek olarak platin malzemenin yüksek sıcaklıklarda kullanılması içinde sınırlamalar bulunmaktadır. Bu sebeplerden ötürü endüstriyel ölçekte bu metotla vollastonit üretimi yapılamamaktadır. İkinci ve en önemli olarak iki yöntemde vollastonit üretmek için düşük verimliliğe sahiptir. Birinci çalışma uzun kristalizasyon zamanı ve eriyik faza yakın sıcaklık gerektirmekte ve aynı zamanda uzun bekleme süresine ihtiyaç duymaktadır. İkinci çalışma ise genel olarak tek kristal hazırlamak için kullanılır. 1mm çapındaki çubuklar üretmek için bile çekme hızı çok yavaşken miktar arttıkça bu hız daha da azalacaktır ve katılaşması için daha çok zaman ihtiyaç duyacaktır (Zhu, 2013).



Şekil 2.5. Islak metot ile vollastonit üretim şeması



Şekil 2.6. Katı hal reaksiyon metodu ile wollastonit üretim şeması



Şekil 2.7. Sıvı faz reaksiyon metodu ile wollastonit üretim şeması

2.7 Vollaistonitin Mineral Katkı Olarak Betonda Kullanılması

Betonda ek malzemelerin kullanılması ile betonun birçok özelliği üzerinde, çok ince parçacıkların varlığı, gözenek modifikasyonu ve mineral katkı reaksiyonları ile ilişkili fiziko-kimyasal reaksiyonların olumlu etkisi vardır (Kalla vd., 2014). Katkı malzemeleri yaygın olarak maliyeti azaltma, dayanım ve durabilite özelliklerini geliştirme (Kalla vd., 2014), hidrasyon sıcaklığını düşürme, permabiliteyi azaltma, kimyasal reaksiyonları hızlandırma (Mehta, 1981; Massazza, 1993; Tagnit vd., 2003), işlevselliği geliştirme (Uzal ve Turanlı, 2003), kanamayı azaltma, basınç dayanımını artırma (Chai ve Boonmark, 2003), Ca(OH)_2 içeriğini azaltma (Zhang vd., 1996), çevre sürdürülebilirliğini sağlama (Kalla vd., 2014), geçirgenliği azaltma, uzun vadede durabiliteyi geliştirme (Mathur vd., 2007a) amaçları ile normal portlant çimentosu yerine kısmi olarak kullanılmaktadır. Daha önce sınırlı sayıda yapılmış çalışmalar sonucunda vollaistonit mineralinin betonda katkı maddesi olarak kullanılması ile dayanım ve durabilite özelliklerinde gelişmeler gözlemlenmiştir.

Bir malzemenin durabilitesi, bozulmaya uğramadan uzun süre dayanabilme yeteneğini ifade etmektedir. Dayanım ise malzemenin taşıyabileceği yük kapasitesini tanımlamaktadır. İnşaat sektöründe beton yapılar için her yıl büyük miktarlarda para harcanmakta ve bu harcamaların önemli bir bölümünün mevcut yapıların tamir bakım ve onarımı için harcandığı tahmin edilmektedir. Beton katkı maddelerinin oranları ve aralarındaki etkileşim, betonun yerleştirme ve kür ortamı ile hizmet şartları, betonun durabilitesini ve hizmet ömrünü belirler. Herhangi bir beton malzemesinin durabilitesi, kimyasal ve fiziksel etkileri içeren şartlara maruz kalmasına bağlıdır. Betonun bozulması, kimyasal ve fiziksel etkiler nedeniyle agrega veya çimento hamurunun olumsuz yönde etkilenmesiyle gerçekleşir. Betonun durabilitesini etkileyen ana faktörler kimyasal saldırı şeklinde gerçekleşen sülfat saldırısı, alkali agrega reaksiyonu, asit saldırısı, karbonatlaşma, çiçeklenme ve korozyondur. Fiziksel etkiler ise donma çözülme, ıslanma kuruma, sıcaklık değişimleri, aşınma ve zedelenme şeklindedir (Kalla vd., 2013).

Geçmişte vollaistonit mineralinin normal betonlarda etkilerinin incelendiği bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda vollaistonitin mineral katkı olarak betonda çimentonun belli bir yüzdesi yerine kullanılması sonucunda, çevresel etkilere karşı

durabilitesinin arttığı bir gerçektir. Gözenek yapısının geçirimsizlik, su emme kapasitesi gibi özelliklerle doğrudan ilgili olduğu bilinmektedir. Betonun kılcal bağlı gözenekleri, su ve agresif maddelerin nüfuzunu etkiler. Zararlı kimyasalların girişi betonun bozulmasından sorumlu olan faktörlerden bir tanesidir. Gözenek yapısının iyileştirilmesiyle nem hareketi sınırlandırılarak betonda permabilite kontrol edilebilir. Bu genel olarak mineral katkıların ve betonda gözenek yapısını iyileştirecek katkıların kullanılması ile sağlanır (Kalla vd., 2013).

Betonun geçirgenliği yapısındaki gözeneklerin bağlantılı olması ile ilgilidir. Kalla vd. (2013) tarafından vollastonit kombinasyonu içeren betonun geçirgenlik özelliklerinde gelişme olduğu rapor edilmiştir. Vollastonit kullanımı, belirli su/bağlayıcı (s/b) oranlarında betonun geçirimsizliğini olumlu yönde etkilemiştir. Vollastonit miktarı %20 oranına çıkana kadar 0,45 s/b oranında, %15'e çıkana kadar da 0,5 ve 0,55 s/b oranlarında kullanılan beton numunelerinde etkili olmuştur. Ransinchung tarafından yapılan bir başka çalışmada vollastonit, silis dumanı ile ya da silis dumanından ayrı olarak, çimentonun bir kısmı yerine kullanılmış, %15 vollastonit ve %7,5 silis dumanının kullanıldığı karışımda su geçirmezliğinin sağlandığı gözlenmiştir (Ransinchung, 2009). Ayrıca, artan vollastonit içeriği ile su emme azalmıştır (Misra vd., 2009). Klorür difüzyon katsayıları ise, %10-15 arasındaki oranlarda vollastonit kullanımı ile azalmış, vollastonit içeriğinin %25'e çıkması ile artmıştır (Kalla vd.,2013). Vollastonit, silis dumanı ve mermer tozu kullanılarak hazırlanan beton donma-çözülme ve sülfat saldırılarına karşı daha az duyarlı bulunmuştur (Mathur vd., 2007a). Vollastonit ve uçucu kül içeren betonların korozyona, büzülme, karbonatlaşmaya ve klorür göçüne karşı dirençli olduğu gözlemlenmiştir (Kalla vd., 2013). Misra vd.'e (2009) göre karbonatlaşma derinliği s/b oranı 0,45 olan beton numunesinde, çimento yerine %15'e kadar vollastonit kullanılması halinde azalmıştır. Vollastonitin, vollastonit içeriğinin %10 olduğu farklı s/b oranlarında üretilen beton numuneleri üzerinde karbonatlaşmaya karşı olumlu etki yaptığı, beton direncini artırdığı raporlanmış, karbonatlaşmanın numune yaşıyla birlikte geliştiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla yapılmış olan bu çalışmaların hepsi vollastonitin betonun durabilitesini arttırdığının kanıtıdır.

Misra ve arkadaşlarının yaptığı deneyler sonucunda %10-%15 arasındaki vollastonit içeriğinde sistematik olarak eğilme dayanımında artış gözlenmiştir (Misra vd., 2009).

Kalla vd.'e göre eğilme dayanımının s/b oranının azalmasıyla ve kür süresinin artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Çimentonun Vollastonit-Uçucu kül kombinasyonu ile değişimi sadece çimentonun uçucu kül ile değişiminden daha yararlı bulunmuştur (Kalla vd.,2013). Kullanılan doğrusal olmayan kırılma mekaniği kavramları, çimentolu matrislerin kırılma direnci üzerinde vollastonit takviyesinin önemli etkisini gösterir. Kalla ve arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmaya göre ise vollastonit içeriğinin %10 olarak kullanıldığı numunelerde basınç dayanımı artışı %15 çimento vollastonit değişiminde ise marjinal bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir (Kalla vd., 2013). Bunun yanı sıra, betonda vollastonit içeriğinin artmasıyla 21 gün sonunda porozitenin azaldığı gözlemlenmiştir. Kalla vd.'ye göre s/b oranının 0,5 olduğu beton numunelerinde en düşük porozite, çimento yerine %15 oranında vollastonit kullanılan numunede gözlenmiştir (Kalla vd., 2014).

Yapılan bu çalışmalar göz önüne alındığında vollastonitin mineral katkı olarak betonda kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında farklı su/bağlayıcı oranlarında denemeler yapılarak optimum vollastonit miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar günümüzde devam etmektedir.

2.8 Değerlendirme

Vollastonit çok yönlü yeniden kullanılamayan bir malzemedir. Endüstriyel ürünlerde genel olarak doğal vollastonit kullanılmaktadır. Yapılmaya değer sentetik vollastonit üretim metodu bulunduğu sentetik vollastonit zamanla doğal vollastonit kaynaklarının yerini alacaktır.

Şimdiye kadar yapılmış olan araştırmalar ya yüksek en-boy oranına sahip olmakta başarısız olmuş ya da iğnemsî yapılar oluşturmada yetersiz kalmıştır. Yüksek en-boy oranına sahip vollastonit üretmek için yeni bir metot bulunmalı veya mevcut metotlar geliştirilmelidir. Ayrıca vollastonitin beton üzerindeki etkilerini inceleyen araştırma sayısının az olduğu görüldüğünden, vollastonitin betonun hem mekanik hem de durabilite özelliklerini nasıl etkilediği ile ilgili kapsamlı çalışmalar yapılması yerinde olacaktır.

BÖLÜM III

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemeler

3.1.1 Çimento

Yapılan deneylerde TS EN 197-1 standartlarına uygun, Niğde Çimsa Çimento Fabrikası'nda üretilen CEM I 42.5 R türü çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal İçeriği %	Çimento
CaO	62.58
SiO ₂	20.25
Al ₂ O ₃	5.31
Fe ₂ O ₃	4.04
MgO	2.82
SO ₃	2.73
K ₂ O	0.92
Na ₂ O	0.22
Kızdırma Kaybı	2.99
Özgül Ağırlık	3.15
İncelik (Blaine) (m ² /kg)	326

3.1.2 Kum

Harç karışımlarının hazırlanmasında ASTM C778'e uygun Limak Çimento Fabrikası'nda üretilmiş CEN standart kumu kullanılmaktadır. Standart kumun ASTM C778'de belirtilen elek analizi sonuçları Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Standart kum elek analizi

Elek Numarası	No.20- No.30 Kum (%)	Derecelendirilmiş Kum (%)
No.16	100	100
No.20	85-100	100
No.30	0-5	96-100
No.40	0	65-75
No.50	0	20-30
No.100	0	0-4

3.1.3 Vollastonit

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda mekanokimyasal süreç, hidrotermal süreç ve katı hal reaksiyon sürecinden oluşan üç basamaklı bir üretim yöntemi kullanılarak geliştirilen sentetik vollastonit harç karışımlarında kullanılmıştır.

3.1.4 Kuvars

Kuvars genel itibariyle renksiz, açık beyaz renkli veya ince taneli bir mineraldir. Kimyasal formülü SiO_2 olan kuvars, %46,5 Si ve %53,3 O içermekte olup, yer kabuğunda sık görülen minerallerden biridir. İçerisindeki başlıca elementler Li, Na, Al, Ti ve Mg'dur (İpekoğlu, 1999). Bu çalışmada sentetik vollastonit üretimi için kullanılan kuvars minerali Diyarbakır bölgesinden temin edilmiştir.

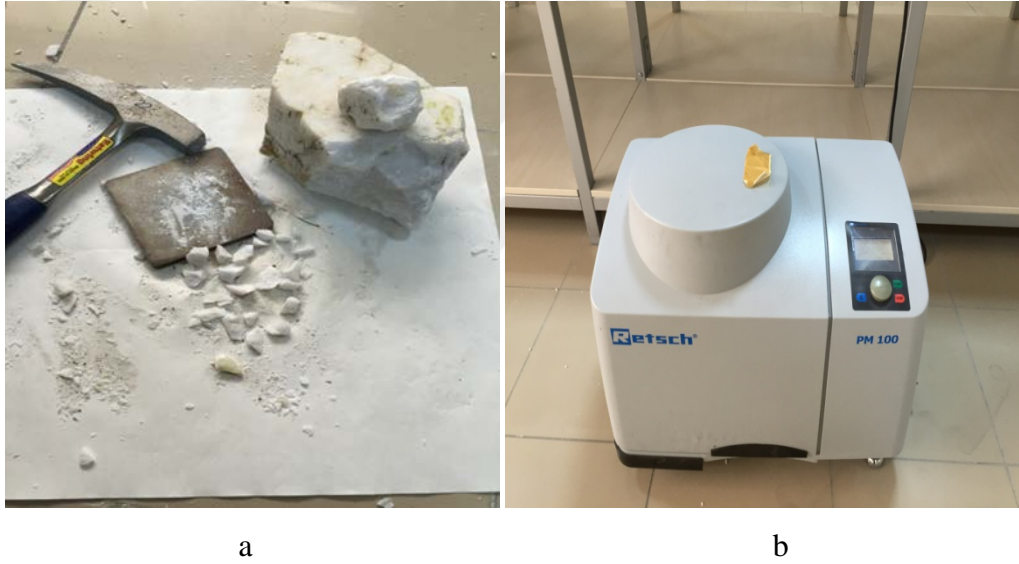
3.1.5 Kalsit

Endüstriyel bir mineral olan kalsit karbonatlı kayaları oluşturur. Kimyasal formülü CaCO_3 'dir. Camsı parlaklıkta ve renksiz saydam yapıda olan kalsit farklı biçimlerde kristalleşebilen bir mineraldir. Öğütülmesi durumunda beyaz renkli bir toz haline gelmektedir (Yüçetürk, 2010). Bu çalışmada sentetik vollastonit üretimi aşamasında kullanılan saf kalsit Niğde ilindeki Niğtaş Ltd.Şti.'nin kalsit ocaklarından temin edilmiştir.

3.2 Sentetik Vollastonit Üretimi

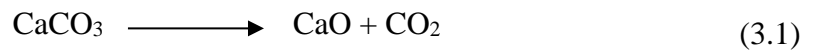
Laboratuvarda literatürdeki üretim metotlarından farklı olarak mekanokimyasal süreç, hidrotermal süreç ve katı hal reaksiyon sürecinden oluşan üç basamaklı bir üretim yöntemi kullanılarak sentetik vollastonit üretimi yapılmış ve betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Vollastonit üretiminde Niğde ilindeki Niğtaş Ltd.Şti.'nin kalsit ocaklarından elde edilmiş kalsit minerali CaO kaynağı olarak, Diyarbakır bölgesinden elde edilmiş kuvars minerali de SiO₂ kaynağı olarak kullanılmış. Kuvars küçük parçalara ayrılarak bilyeli değirmen içerisinde toz haline getirilmiş ve elde edilen ürün No.40 elekten elenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir (Fotoğraf 3.1).



Fotoğraf 3.1. Kuvars(a), bilyeli değirmen(b)

CaO ise saf kalsitin dakikada 40 °C arttırılan kül fırınında 1100 °C de 1 saat bekletilmesi ile elde edilmiştir (Fotoğraf 3.2). Bunun sonucunda Eşitlik 3.1'de görüldüğü gibi kalsit içerisinde bulunan CO₂ dış ortama çıkarak CaO elde edilmiştir.





a

b

Fotoğraf 3.2. Kalsit(a), kül fırını(b)

CaO ve SiO₂ 1:1 mol oranında Çizelge 3.3' de verilen mol ağırlıkları olacak şekilde karıştırılmış ve karışımın üzerine ağırlıkça su/katı oranı 1,5 olacak şekilde saf su eklenerek bilyeli değirmende 250 rpm hızla 30 dakika boyunca karıştırılan karışım özel ürettirilmiş otoklav içerisine yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.3). Otoklav, 200 °C'de 24 saat boyunca etüvde bekletilmiştir.

Çizelge 3.3. Sentetik vollastonit üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım ağırlıkları

Malzemeler	Ağırlık (g)
1 mol CaO	56,08
1 mol SiO ₂	60,08
Saf su	174,24



a

b

Fotoğraf 3.3. Otoklav için hazırlanan jel(a), hidrotermal otoklav reaktörü(b)

24 saat sonunda otoklav fırından çıkarılarak oda sıcaklığına gelene kadar dışarıda bekletilmiştir. Otoklav içerisinden çıkarılan numune yeniden bilyeli değirmen içerisine koyularak 600 rpm hız ile 5 dakika boyunca öğütülmüştür. Öğütülen malzeme No. 40 kare gözlü elekten elenerek sinterleme için hazır hale getirilmiştir (Fotoğraf 3.4).

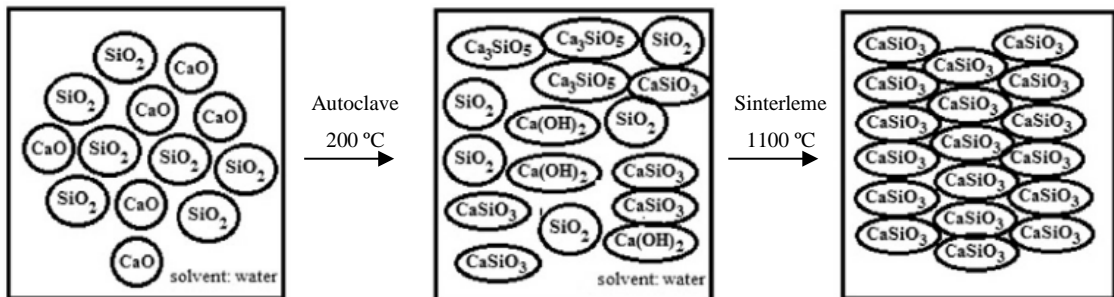


a

b

Fotoğraf 3.4. Tobermorit(a), öğütülmüş tobermorit(b)

Yaklaşık 100 gram alınarak porselen bir kap içerisinde kül fırınına koyulmuş ve dakika da 40 °C artacak, 1100 °C 1 saat bekleyecek şekilde ayarlanmıştır. Sinterleme işlemi sırasında %2 lik bir su kaybı ortaya çıkmıştır. Sinterleme işlemi bu şekilde tamamlandıktan sonra vollastonit nemden uzak bir ortamda ağzı kapalı numune torbası içerisinde muhafaza edilmiştir. Sinterleme işlemi sonunda vollastonitin kristal yapısındaki değişimi Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Vollastonitin kimyasal yapısındaki değişim

3.3 Üretilen Sentetik Vollastonitin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), elektronları yüksek voltaj ile numune üzerine gönderir. Elektronların uygun algılayıcılarda toplanarak katot ışınları tüpünün ekranında numune yüzeyi elde edilir. Algılayıcıdan gelen sinyaller vasıtasıyla bilgisayar ortamına iletilmektedir (Oflaz, 2016).

Bu çalışmada, SEM cihazıyla üretilen sentetik vollastonitin tanecik yapısı gözlemlenmiştir.

3.4 Üretilen Sentetik Vollastonitin X- Işınları Floresans Spektrum (XRF) Analizi

Analitik bir yöntem olan XRF analiz yöntemi, analiz edilmesi gereken malzemenin x ışını ile etkileşime girmesiyle birlikte meydana gelen ikincil x-ışınlarının şiddeti ve karakteristik dalga boyu ölçülerek kalitatif ve kantitatif element analizi yapılır. Kalitatif ve kantitatif analiz, ışınların XRF cihazında mevcut olan kristalde kırılmasıyla dalga boylarına ayrılması ve şiddetlerinin ölçülmesi ile yapılır (Yılmaz, 2005).

Bu çalışmada, XRF analizi üretilen sentetik vollastonitin kimyasal bileşenlerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

3.5 Üretilen Sentetik Vollastonitin X- Işınları Kırınımı (XRD) Analizi

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır (Usta, 2014).

Bu çalışmada XRD analizi ile laboratuvarında üretilen ürünün vollastonit olduğunu göstermek amacıyla kullanılmıştır.

3.6 Üretilen Sentetik Vollastonitin Tane Boyutu Analizi

Cevher hazırlamanın her adımında kullanılan bir yöntem olan tane boyu analizi, özellikle serbestleşmenin belirlenmesi, kırma, öğütme ve sınıflandırma gibi birim işlemlerin tasarımı, performans analizi veya prosesin kontrol ve anlaşılması için uygulanan bir araçtır (Saklara vd., 2000). Bu çalışmada vollastonitin tane boyutu analizi Nahita Madencilik' te yapılmıştır.

3.7 Üretilen Sentetik Vollastonitin Puzolanik Özelliği

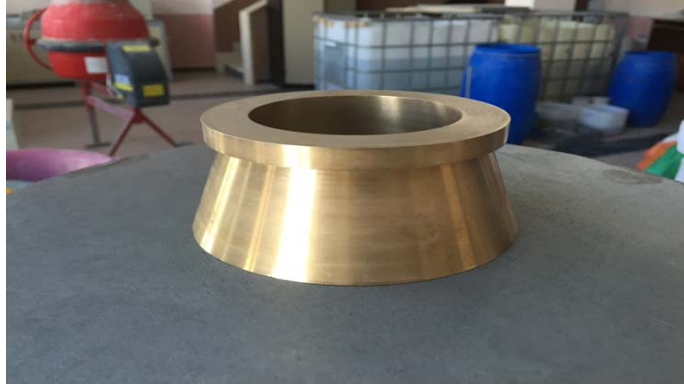
Üretim aşamaları Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen sentetik vollastonitin betonda mineral katkı olarak kullanılabilirliğini tespit etmek amacıyla çimento sarsma tablası deneyi ve puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır.

3.7.1 Çimento sarsma tablası deneyi

Bu deney metodu hidrolik çimento harcının ya da hidrolik çimento harici bağlayıcı malzeme içeren harçların kıvamını belirlemek için yapılır. Deneysel çalışmalarda sarsma tablası ve kalıp, çap ölçer (en az 260 mm), tokmak, mala (100-150 mm uzunluğunda düzgün kenarlı), cetvel (200 mm'den uzun, çelik) ekipmanları kullanılmıştır. Kullanılan ekipmanlar ASTM C230, ASTM C109 standartlarına uygundur.

Dikkatlice sarsma tablası temizlenmiş ve kurutulmuştur (Fotoğraf 3.6). Sarsma deneyi için kullanılacak kalıp tablanın merkezine yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.5). Hazırlanmış olan harçtan 25mm kalınlıkta olacak şekilde kalıbın içerisine yerleştirilmiş ve 20 kere tokmaklamak suretiyle sıkıştırılmıştır. Tokmaklama işlemi harcın kalıp içerisinde üniform olarak dağılmasını sağlayacak şekilde yapılmıştır. Ardından kalıbın kalan kısmı harç ile doldurularak ilk katmanda yapıldığı şekilde tokmaklanarak yerleştirilmiştir. Kalıbın üzeri mala yardımıyla düzeltilmiştir. Kalıp dikkatli bir şekilde numuneye zarar vermeden düşey yönde kaldırılarak çıkarılmıştır. Sarsma tablası 15 saniyede 25 kez düşürülmüştür. Cetvel yardımıyla harcın farklı çaplarından 4 okuma yapılmıştır. Aynı

işlem her karışım için 3 kez tekrarlanmıştır. 3 farklı karışım için yukarıda anlatıldığı gibi tekrar edilmiştir.



Fotoğraf 3.5. Sarsma tablası kalıbı



Fotoğraf 3.6. Sarsma tablası



Fotoğraf 3.7. Kontrol numunesi

ASTM C109/C109M'ye göre hazırlanan kontrol ve test karışımı ASTM C305-99 standardına göre yapılmıştır (Fotoğraf 3.7). Kontrol karışımında kullanılan çimento miktarının ağırlıkça %20'si vollastonitle değiştirilerek test karışımı hazırlanmıştır.

Kontrol Karışımı;

500 g portland çimentosu

1375 g standart kum

242 ml su

Test Karışımı;

400 g portland çimentosu

100 g vollastonit

1375 g standart kum

Kontrol karışımındaki yayılma \pm 5
sağlayacak kadar ml su

Hazırlanan kontrol karışımında bulunan yayılma çapının test karışımında da bulunabilmesi için deneme yanılma yoluyla farklı su miktarları kullanılarak nihayetinde puzolanik aktivite için kullanılacak olan karışım belirlenmiştir (Fotoğraf 3.8). Belirlenen puzolanik aktivite (PA) karışımı ve kontrol karışımından 7 ve 28 gün sonra basınç deneyine tabi tutulmak üzere her karışımından 12 adet 50x50x50 mm küp numuneler alınmıştır.



Fotoğraf 3.8. Test karışımı

3.7.2 Puzolanik aktivite deneyi

Puzolanik aktivite, puzolanda bulunan aktif silisin ve portland çimentosunun hidrasyon ürünü olarak meydana gelen serbest kirecin varlığına bağlı olan bir reaksiyondur.

Meydana gelen serbest kireç sulu ortamda puzolanik reaksiyonun başlamasını ve ilerlemesini sağlar ve sonuç olarak benzer hidratasyon ürünleri meydana gelir (Gökçe ve Özturan, 1996). Puzolanik aktivite deneyi ASTM C311 standardına göre yapıldı. Bu hidratasyon ürünlerinin ortaya çıktığı reaksiyonlar zinciri, puzolanın kullanıldığı betonun mekanik performansını zaman içinde arttırmaktadır.

Puzolanların puzolanik aktivitelerinin değerlendirilmesi kimyasal, fiziksel ve mekanik olmak üzere üç değişik şekilde yapılabilir. Bu deney metodunda harç karışımındaki belirli bir miktar çimento yerine ağırlıkça ikame edilen vollastonitin harçların basınç mukavemeti gelişimine etkisini kontrol numunesi ile karşılaştırarak test eder. Bunun sonucunda malzemenin puzolanik aktivitesi (PA) belirlenir.

Puzolanik aktivite aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\text{Puzolanik aktivite} = (A/B) * 100$$

A = Vollastonit içeren numunelerin ortalama basınç dayanımı, Mpa

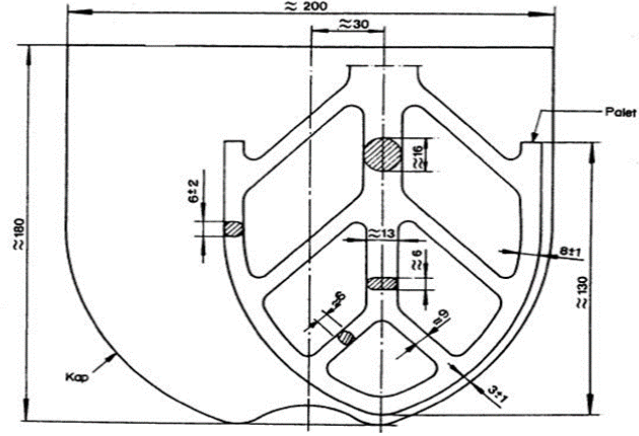
B = Kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanımı, MPa

ASTM C311'e göre puzolanik aktivite 7 ve 28 günlerde tayin edilir ve her iki yaş içinde puzolanik aktivitenin en az %75 olması gerekmektedir.

3.7.2.1 Karışımların hazırlanması

Yapılan çalışmada kontrol numunesindeki çimento miktarı ağırlıkça %20 oranında vollastonit ile değiştirilerek puzolanik aktivite deneyi için 6 küp (50x50x50 mm) olmak koşuluyla toplamda 6 karışım yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda çimento harcının karılması işleminde Şekil 3.2' de verilen elektrikli mekanik karıştırıcı, kalıp olarak 50x50x50 mm küp numune kalıbı kullanılmıştır. Ayrıca sarsma tablası ve hassas terazi ekipmanları deney çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Elektrikli mekanik karıştırıcı kap ve paleti



Fotoğraf 3.9. Elektrikli mekanik karıştırıcı



Fotoğraf 3.10. 50x50x50 mm küp numune kalıbı

Çizelge 3.4 Elektrikli mekanik karıştırıcı paleti hızları

	Kendi eksenini etrafında dönme hızı (dk ⁻¹)	Yörüngesel dönme hızı (dk ⁻¹)
Düşük hız	140 ± 5	62 ± 5
Yüksek hız	285 ± 10	125 ± 10

Elektrikli mekanik karıştırıcı kabı tamamen kurutulup yerine yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.9). Bağlayıcılar ve su kaba ilave edilerek karıştırıcı düşük hızda (140 ± 5 r/dk) 30 saniye boyunca karıştırılmıştır. Ardından standart kum 30 saniyede karışıma ilave edilmiştir. Tüm malzemeler kaba koyulduktan sonra karıştırıcı yüksek hızda (285 ± 10 r/dk) 30 saniye karıştırılmıştır. Hazırlanan harç 90 saniye bekletilmiştir. İlk 15 saniyeden sonra kabın kenarında ve paletinde kalan malzemeler kazınarak tekrar yüksek hızda (285 ± 10 r/dk) 60 saniye karıştırılmıştır.

Kullanılacak kalıplar yağlanarak döküm için hazır hale getirildikten sonra çimento harcı kalıplara yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.10). Kalıplar harcın daha iyi yerleşmesi için sarsma tablası üzerinde 60 saniyede 60 kez düşürülmüştür. Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 23 ± 2 °C’de kirece doymun suyun içerisinde koyularak kırılacakları güne kadar saklanmıştır.

3.8 Üretilen Sentetik Vollastonit ile Hazırlanan Çimento Harçlarının Üretilmesi

Sentetik vollastonitin çimento harçlarına olan etkisini belirlemek amacıyla öncelikle puzolanik aktivite deneyinde kullanılan standart harç karışımı kontrol karışımı olarak belirlenmiştir. Daha sonra üretilen sentetik vollastonitin ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek beş farklı harç karışımı belirlenmiş ve Çizelge 3.5’de belirtildiği gibi sentetik vollastonitin karışımlardaki % değerleri ile isimlendirilmişlerdir. Belirlenen toplam 6 adet karışım için 7 ve 28 günlük yaşlarda eğilme ve basınç dayanımı testlerinin yapılabilmesi için ASTM C349 standardına göre 40x40x160 mm boyutlarında kiriş numuneler hazırlanmış ve deney gününe kadar 23 ± 2 °C’de kirece doymun suyun içerisinde kür edilmişlerdir.

Çizelge 3.5. Harç karışımlarının içeriği

	Kontrol numunesi	(%3)	(%6)	(%9)	(%12)	(%15)
Çimento (g)	500	485	470	455	440	425
Vollastonit (g)	0	15	30	45	60	75
Standart Kum (g)	1375	1375	1375	1375	1375	1375
Su (mL)	242	242	242	242	242	242
s/b	0,484	0,484	0,484	0,484	0,484	0,484

3.8.1 Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımının tespit edilebilmesi için harç karışımlarından kiriş numuneler hazırlanmakta ve hazırlanan kiriş numuneler eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır. Kiriş numune kırılıncaya kadar eğilme yükü uygulanmaya devam edilmektedir. Kırılmaya sebep olan yük deney presinin göstergesinde okunduktan sonra, eğilme dayanımı hesaplanır (Erdoğan, 2007).

3.8.2 Basınç dayanımı deneyi

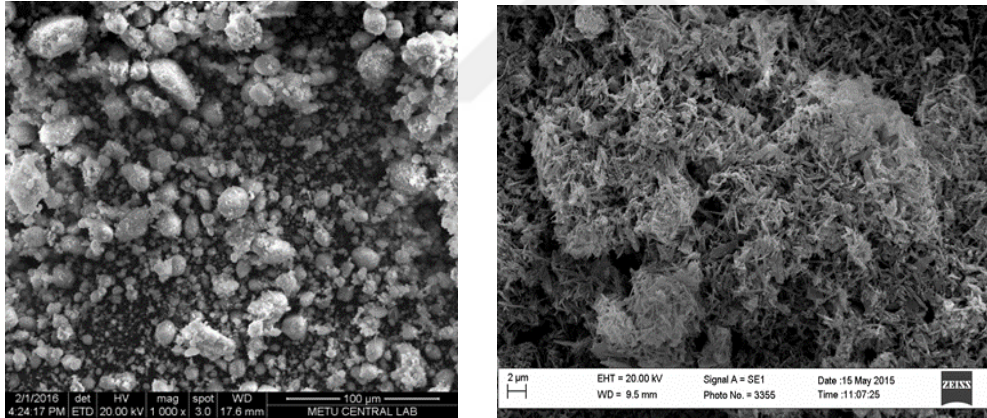
Basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altında numunelerin kırılmamak için gösterdiği mukavemet olarak tanımlanmaktadır. Basınç dayanımı testinde standartlara uygun silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Hazırlanan numuneler, deney presi vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya maruz bırakılmaktadır (Erdoğan, 2007).

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Üretilen Sentetik Vollastonitin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları

Üretmiş olduğumuz sentetik vollastonit numunesinin ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda ETD tipi (ikincil elektron dedektörü) ile 20 kV enerjili elektron ile büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Sentetik vollastonitin SEM görüntüleri incelendiğinde çok köşeli olmayan hatta yer yer yuvarlak bir tane şekline sahip olduğu ve taneciklerin pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.1(a)). Taneciklere daha yakından bakıldığında ise yüzeydeki bu pürüzlülüğün sebebinin iğnemsî parçacık yapısı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1(b)). Bu yapı yüzey alanını da önemli ölçüde arttırmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 4.1. Sentetik vollastonitin SEM analizi sonucu

4.2 Üretilen Sentetik Vollastonitin X- Işımları Floresans Spektrum (XRF) Analizi Sonuçları

XRF ile elde edilen kimyasal bileşen sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir. Sonuçlara göre üretilen sentetik vollastonitin içeriğini temel olarak %46.53 oranında CaO ve %50.14

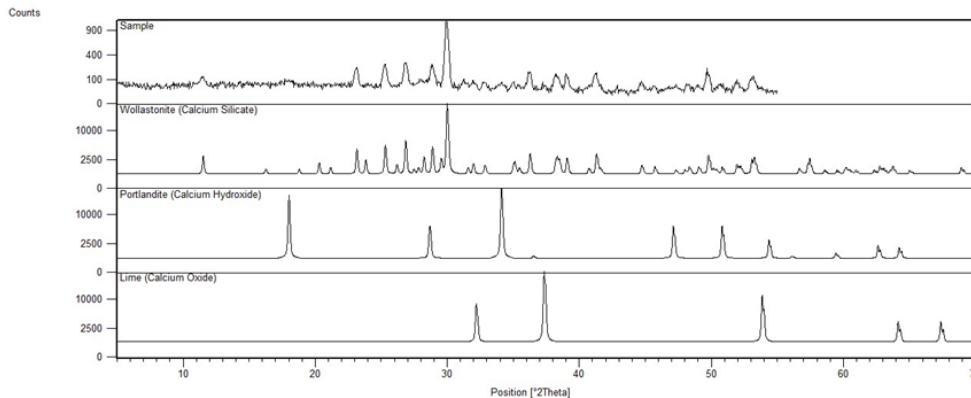
oranında SiO_2 oluşturmaktadır. Ayrıca düşük miktarlarda MgO , Al_2O_3 , Na_2O ve Fe_2O_3 sırasıyla %1.75, %0.70, %0.32 ve %0.30 oranlarında bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. Sentetik vollastonitin XRF analizi sonucu

Kimyasal İçeriği %	Sentetik Vollastonit
CaO	46.53
SiO_2	50.14
MgO	1.75
Al_2O_3	0.70
Na_2O	0.32
Fe_2O_3	0.30
Diğer elementler	0.26

4.3 Üretilen Sentetik Vollastonitin X- Işınları Kırınımı (XRD) Analizi Sonuçları

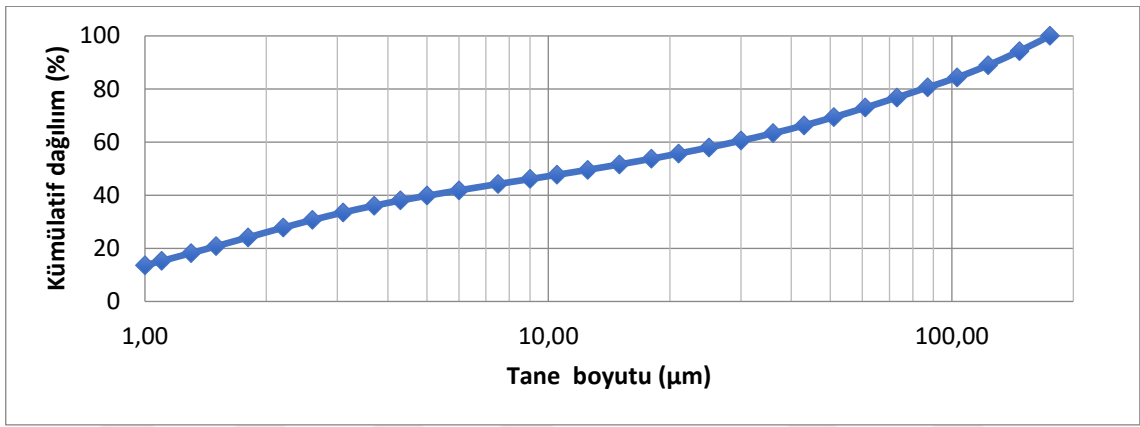
XRD sonuçlarında da görüldüğü üzere vollastonit grafiğinde ki orta ölçekli pikler Beta vollastonitleri, büyük ölçekli pik ise Alfa vollastonit izlerini göstermektedir. Analize gönderilen malzemenin (Sample) XRD cihazında elde edilen sonuçları incelendiğinde Şekil 4.2'de görüldüğü gibi vollastonit ile benzer pikler elde edilmiştir. Bu sonuçtan elde edilen benzerlik laboratuvarıda üretilen malzemenin vollastonit olduğunun göstergesidir.



Şekil 4.2. Sentetik vollastonitin XRD analizi sonucu

4.4 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin Tane Boyutu Analizi Sonuçları

Üretilen sentetik vollaŝtonitin tane boyut analizi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Üretilen sentetik vollaŝtonitin % 83' ü 100 μm ' den daha küçük tane boyutuna sahiptir. ASTM C618'e göre 45 μm (No. 325) elekte ıslak eleme yapıldığında elek üzerinde kalan tane miktarı maksimum % 34 olma koŐulu bulunmakta olup bu koŐulun tane boyutu analizi sonucunda 43 μm ' luk elekten geçen tane miktarının % 66 olduğu saptanmıŐtır. Dolayısıyla laboratuvarıda üretilen sentetik vollaŝtonitin ASTM C618 standardının sınırlamış olduğu tane boyutu kriterini sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Üretilen sentetik vollaŝtonitin tane boyut analizi

4.5 Üretilen Sentetik Vollaŝtonitin Puzolanik Özelliği Sonuçları

4.5.1 Sarsma tablası deney sonuçları

Sarsma tablası deneyinde kontrol numunelerinin dört farklı noktadan çap uzunlukları ölçülerek elde edilen değerler izelge 4.2'de verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda elde edilen ortalama ap $D_{ort} = 13 \text{ cm}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Sarsma tablası deneyi çap ölçüm sonuçları

Kontrol Numunesi 1	Kontrol Numunesi 2	Kontrol Numunesi 3
12,5 cm	12,7 cm	13,3 cm
12,8 cm	12,9 cm	13,1 cm
12,9cm	13,0 cm	13,4 cm
12,7 cm	12,9 cm	13,5 cm

4.5.2 Puzolanik aktivite deney sonuçları

Sarsma tablası deneyinde elde edilen ortalama çap ölçümü ile aktivite numunelerinin çapları eşit olacak şekilde su ilave edilerek 13 cm ortalama yayılma elde edilmiştir. Bu değer sağlanması için sadece sarsma tablası test karışımında 320 ml su kullanılmıştır. Kontrol karışımına oranla yaklaşık %32'lik su miktarı artışı ile aynı çap değerinin elde edilmesinin temel sebebi sentetik vollastonitin iğnemsiz parçacık yapısına bağlı olarak çimentoyla karşılaştırıldığında çok yüksek oranda yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey alanına sahip olmasıdır.

50x50x50 küp numuneler ASTM C109/C109M'ye göre basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çimento miktarının %20'si çıkarılarak yerine aynı miktarda sentetik vollastonit eklenerek hazırlanan puzolanik aktivite (PA) karışımı hem 7 hem de 28 günlük yaşlarda kontrol karışımına göre daha düşük dayanım değerlerine sahip olmuştur. Bunun temel nedeni PA karışımında kontrol karışımına oranla %32 daha fazla suyun kullanılmasıdır.

Çizelge 4.3. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları

Numuneler	Basınç Dayanımı (MPa)	
	7 gün	28 gün
Kontrol	48,3	55,8
PA	37,2	45,2

Karışımların basınç dayanımı değerleri belirlendikten sonra puzolanik aktivite değerleri hesaplanmış olup Çizelge 4.4'te verilmiştir. Sentetik vollastonitin puzolanik aktivitesi 7

günlük yaşta %77 ve 28 günlük yaşta %81 olarak bulunmuştur. Bu değerler ASTM C618’de belirtilen minimum %75 sınırını aşmakta olup ilgili standardı sağlamaktadır.

Çizelge 4.4. Sentetik vollastonitin puzolanik aktivitesi

Numune Yaşı (Gün)	Sentetik Vollastonitin Puzolanik Aktivitesi (%)	ASTM C618 Limitleri
7	77	Min %75
28	81	Min %75

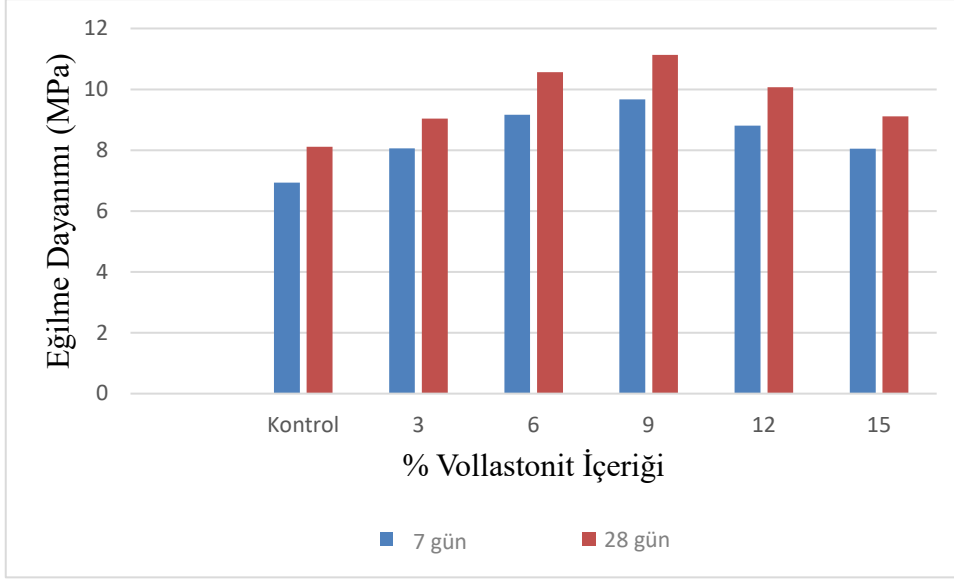
4.6 Üretilen Sentetik Vollastonit ile Hazırlanan Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Test Sonuçları

4.6.1 Eğilme dayanımı sonuçları

Üretilen sentetik vollastonit ile hazırlanan çimento harçlarının eğilme dayanımlarını saptamak için 40x40x160 mm’lik kiriş numuneler üzerinde yüklemeler yapılarak Çizelge 4.5’ de ve Şekil 4.4’de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Kiriş numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme deney sonuçları

Karışımlar	Eğilme Dayanımı (MPa)	
	7 gün	28 gün
Kontrol	6,93	8,11
3	8,06	9,04
6	9,16	10,56
9	9,67	11,13
12	8,81	10,07
15	8,05	9,11



Şekil 4.4. Üretilen sentetik vollastonit ile hazırlanan çimento harçlarının eğilme dayanımları

Şekil 4.4’ de görüldüğü gibi sadece sentetik vollastonit katkısı ile üretilmiş olan çimento harçlarının eğilme dayanımlarının, sentetik vollastonit miktarındaki artmadan dolayı kontrol betonuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak vollastonit miktarı arttıkça, bu artışın azaldığı gözlenmiştir. Eğilme dayanımı, % 9 oranında vollastonit içeren çimento harcı karışımlarında artış göstermekte iken bu oranın üstünde olan vollastonit miktarlarında düşmeye başladığı gözlenmiştir. Bununla birlikte kontrol karışımı ile vollastonit içeren harç karışımları karşılaştırıldığında, vollastonit içeren harçların tamamının eğilme dayanımının kontrol harcına göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Üretilen sentetik vollastonit, %3, %6, %9, %12, %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek ASTM C349 standardına göre hazırlanan kırıç numunelerinin 7 günlük eğilme dayanımları vollastonit içermeyen kontrol numunesinin 7 günlük eğilme dayanımına göre sırasıyla %16.30, %32.18, %39.54, %27.13, %16.16 oranlarında artış gösterdiği görülmüştür. 28 günlük eğilme dayanımları ise sırasıyla %11.47, %30.21, %37.23, %24.13, %12.33 oranlarında artış olduğu görülmüştür.

Eğilme dayanımındaki bu artışlar, vollastonitin yüksek elastisite modülüne (200 GPa) ve lifli bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Mathur vd., 2007b). Çimento matrisinin en üst yük sonrası bölgelerde çoklu kırılması ve kırık yüzeyden lifin dışa çekilmesi, vollastonitle güçlendirilmiş çimento matrisinin süneklik ve eğilme direncinin artmasına neden olmuştur (Mahtur vd., 2007b).

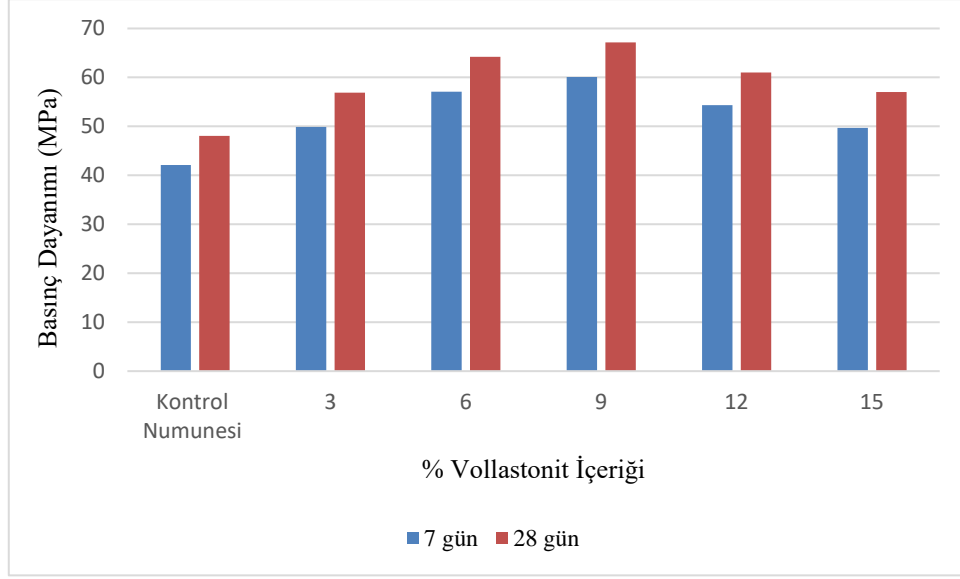
Eğilme dayanımını etkileyen diğer bir sebep de ince taneli katkı malzemelerinin çimentolu karışımlarda kullanılması sonucu oluşan matristeki gözenek sayısının azalmasıdır (Setina vd., 2013). Gözenek sayısının azalması eğilme dayanımını olumlu yönde etkileyen bir faktör olmuştur.

4.6.2 Basınç dayanımı sonuçları

Üretilen sentetik vollastonit ile hazırlanan çimento harçlarının basınç dayanımlarını saptamak için eğilme dayanımı deneylerinde kullanılan 40x40x160 mm'lik kiriş numunelerinden faydalanılmıştır. Üzerine yapılan yüklemeler sonucu kırılan kiriş numuneleri 40x40x40 küp numuneleri haline getirilerek basınç dayanımı deneylerinde kullanılmıştır. Basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kiriş numunelerin 7 ve 28 günlük basınç deney sonuçları

Karışımlar	Basınç Dayanımı (MPa)	
	7 gün	28 gün
Kontrol	42,08	48,07
3	49,86	56,87
6	57,06	64,2
9	60,10	67,17
12	54,31	61,04
15	49,70	57,05



Şekil 4.5. Üretilen sentetik vollaistonit ile hazırlanan çimento harçlarının basınç dayanımları

Şekil 4.5’ de görüldüğü gibi sadece sentetik vollaistonit katkısı ile üretilmiş olan çimento harçlarının basınç dayanımlarının, sentetik vollaistonit miktarındaki artmadan dolayı kontrol betonuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak vollaistonit miktarı arttıkça, bu artışın azaldığı gözlenmiştir. Basınç dayanımı, % 9 oranına kadar olan vollaistonit içeren çimento harcı karışımlarında artış göstermekte iken bu oranın üstünde olan vollaistonit miktarlarında düşmeye başladığı gözlenmiştir. Bununla birlikte kontrol karışımı ile vollaistonit içeren harç karışımları karşılaştırıldığında, vollaistonit içeren harçların tamamının basınç dayanımının kontrol harcına göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Üretilen sentetik vollaistonit, %3, %6, %9, %12, %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek ASTM C349 standardına göre hazırlanan kiriş numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları vollaistonit içermeyen kontrol numunesinin 7 günlük basınç dayanımına göre sırasıyla %18.49, %35.60, %42.82, %29.06, %18.11 oranlarında artış gösterdiği görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları ise sırasıyla %18.31, %33.56, %39.73, %26.98, %18.68 oranlarında artış olduğu görülmüştür.

Vollaistonitin içerdiği aktif silis çimentonun suyla hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan Ca(OH)_2 ’yle reaksiyona girerek C-S-H jellerini oluşturup betona ek dayanım kazandırmıştır (Isaia vd., 2003). Bu nedenle harç karışımlarına vollaistonitin eklenmesi ile basınç dayanımında artış gözlenmiştir. Gözeneklilik, vollaistonitin %10 civarında çimento ile ikame edilmesi sonucunda azalmakta olup, bu değer üzerine çıkması

durumunda ise artmaktadır (Kalla vd., 2015). Bu nedenle basınç dayanımında görülen artışın % 9 oranında kullanılan vollastonit miktarı itibarıyla düşmesi bu değerden sonra gözenekliliğin artması sonucudur.



BÖLÜM V

SONUÇLAR

Sentetik vollastonitin üretiminde mekanokimyasal süreç, hidrotermal süreç ve katı hal reaksiyon süreci olmak üzere daha önce literatürde kullanılmayan üç basamaklı yeni bir üretim yöntemi ile sentetik vollastonit üretimi yapılmıştır.

Üretilen sentetik vollastonit üzerinde SEM, XRF, XRD ve tane boyutu analizleri yapılmış olup, SEM analizinde iğnemsî parçacık yapısı sebebiyle yüzey pürüzlülüğü yüksek parçacık yapısına sahip olduğu, XRF analizi ile kimyasal içeriğinde temel olarak %46.53 oranında CaO ve %50.14 oranında SiO₂ bulunduğu, XRD analizi ile laboratuvarda üretilen malzemenin oluşan piklerin örtüşmesi sebebiyle vollastonit olduğu ve tane boyutu analizi ile ASTM C618 standardının sınırlamış olduğu tane boyutu kriterini sağladığı belirlenmiştir.

Üretimi yapılmış olan sentetik vollastonitin puzolanik aktivite deneyi için su içeriğini belirlemek amacıyla sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Yapılan sarsma tablası deneyinde PA karışımı için gerekli olan su miktarı 320ml olarak bulunmuştur. Kontrol karışımına oranla yaklaşık %32'lik su miktarı artışı ile aynı çap değerinin elde edilmesinin temel sebebi sentetik vollastonitin iğnemsî parçacık yapısına bağlı olarak çimentoyla karşılaştırıldığında çok yüksek oranda yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey alanına sahip olmasıdır.

Sentetik vollastonitin, betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek için puzolanik aktivite deneyi yapılmış olup sentetik vollastonitin puzolanik aktivitesi 7 günlük yaşta %77 ve 28 günlük yaşta %81 olarak bulunmuştur. Bu değerler ASTM C618'de belirtilen minimum %75 sınır değerini sağlamaktadır. Dolayısıyla, üretilen sentetik vollastonitin mineral katkı olarak kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır.

Sentetik vollastonitin harç karışımlarının temel mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için standart harç karışımı kontrol karışımı olarak belirlenmiş olup vollastonitin ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında çimento ile yer

değiştirilerek sentetik vollastonit katkıli harç karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan harç karışımları üzerinde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre kontrol karışımı ile vollastonit içeren harç karışımları karşılaştırıldığında, vollastonit içeren harçların tamamının basınç ve eğilme dayanımlarının kontrol harcına göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Vollastonitin çimento harçları üzerinde olumlu yönde katkı sağladığı yapılan eğilme ve basınç deneyleri sonucunda gözlenmiştir. Bu katkının eğilme dayanımı için maksimum %39.54, basınç dayanımı için ise maksimum %42.82 olduğu belirlenmiştir.

Basınç ve eğilme dayanımları, %9 oranında vollastonit içeren çimento harcı karışımlarında en yüksek artışı göstermekte olup bu nedenle optimum vollastonit miktarı %9 olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Allen, T.H., White, W.R. and Wright, F.E, “On wollastonite and pseudo-wollastonite, polymorphic forms of calcium metasilicate with by F.E. Wright”, *The American Journal of Science* 21, 89-108, 1906.

Andrews, R.W., Wollastonite. London: Institute of Geological Sciences, Her Majesty’s Stationary Office, 1970.

Balkevich V.L., Peres, F.S., Kogos, A.Y., Kliger, A.B. and Fishman, M.A., “Synthesizing wollastonite from natural siliceous carbonate compositions”, *Glass Ceramics* 42, 40-43, 1985.

Can, G., “Vollastonit yataklarının jeolojisi, madenciliği ve dünya üretimi”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 39, 55-62, 1991.

Chai, J. and Boonmark, R., “Cementing material from calcium carbide residue – rice hush ash”, *Journal of Materials in Civil Engineering* 15(5), 470-475, 2003.

Ciullo, P.A., Industrial Minerals and Their Uses, *Noyes Publication*, New Jersey, 1996.

Çoğulu, H.E., Petrografi ve Petroloji 1. Cilt. *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi*, İstanbul, 1973.

DPT, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Devlet Planlama Teşkilatı*, Ankara, Türkiye, 2001.

Dumont, M., Wollastonite, *Canadian Minerals Yearbook*, Canada, 2004.

Emrulloğlu S.B., Emrulloğlu, Ö.F. and Emrulloğlu, C.B., “Synthetic wollastonite production from raw and tailing materials”, *Key Engineering Materials* 264-268, 2485-2488, 2004.

Erdoğan, T.Y., Beton, *O.D.T.Ü Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim*, Ankara, 2007.

Fattah, H., “Wollastonite-New aspects promise growth”, *Industrial Minerals* 21-43, 1994.

Genç, S., Mineraller, Kayaçlar, Jeolojik Yapılar ve Saha Jeolojisi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi*, Trabzon, 1992.

Gökçe, A. ve Özturan, T., “Uçucu kül puzolanik aktivitesi ile ilgili bazı mevcut standartların değerlendirmesi”, *4. Ulusal Beton Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 30-31 Ekim - 1 Kasım 1996.

Haner, S. ve Çuhadaroğlu, D., “Wollastonit: Bir gözden geçirme”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 37(1), 63-82, 2013.

Hawley G.C., “Wollastonite”, *Mineral Engineering* 62, 84-87, 2010.

Henmi C., Kawahara, A., Henmi, K., Kusachi, I. and Takeuchi, Y., “The 3T, 4T and 5T polytypes of wollastonite from Kushiro, Hiroshima Prefecture, Japan”, *American Mineralogist* 68, 156-163, 1983.

Hesse, K.F., “Refinement of the crystal structure of wollastonite-2M (parawollastonite)”, *Zeitschrift für Kristallographic* 168, 93-98, 1984.

Huang, X.H. and Chang, J., “Synthesis of nanocrystalline wollastonite powders by citrate-nitrate gel combustion method”, *Materials Chemistry Physics* 115, 1-4, 2009.

Isaia, G.C., Gastaldini, A.L.G. and Moraes, R., “Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete”, *Cement and Concrete Composites* 25–69, 2003.

İpekoğlu, B., “Kuvars, Kuvarsit, Kuvars Kumu”, *İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri*, İstanbul, 102-106, 1999.

Jacob C.J., Synthesis of wollastonite from natural materials without fusion, U.S., Patent No. 3,966,884, 20 Jun. 1976.

Jefferson D.A., Thomas, J.M., Smith, D.J., Camps, R.A., Catto, C.J.D. and Cleaver, J.R.A., “Individual silicate chains in wollastonite by high resolution electron microscopy”, *Nature* 281, 51-52, 1979.

Kalla, P., Misra, A., Gupta, R.C., Csetenyi, L., Gahlot, V., and Arora, A., “Mechanical and durability studies on concrete containing wollastonite-fly ash combination”, *Construction and Building Materials* 40, 1142-1150, 2013.

Kalla, P., Rana, A., Chad, Y.B., Misra, A. and Csetenyi, L., “Durability studies on concrete containing wollastonite”, *Journal of Cleaner Production* 87, 726 – 734, 2014.

Kartal, A. and Akpınar, S., “Synthesis of wollastonite by using various raw materials”, *Key Engineering Materials* 264-268, 2469-2472, 2004.

Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M. and Krukowski, S.T., Industrial Minerals & Rocks (7th Edition), *Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.* Colorado, 2006.

Kotsis I. and Balogh, A., “Synthesis of wollastonite”, *Ceramics International* 15, 79-85, 1989.

Kumbasar, I., Silikat Mineralleri. *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, İstanbul, 1977.

Kume M. and Mizuno, T., Glass composition suitable for production of fibrous wollastonite, method for producing said wollastonite, and wollastonite obtained thereby, U.S., Patent No. 4,443,550, 1984.

Li X.K. and Chang, J., “Synthesis of wollastonite single crystal nanowires by a novel hydrothermal route” *Chemistry Letters* 33, 1458-1459, 2004.

Lin K., Chang, J. and Lu, J., “Synthesis of wollastonite nanowires via hydrothermal microemulsion methods” *Materials Letters* 60, 3007-3010, 2006.

Maries A. and Rogers, P.S., Method for making aligned fibrous crystals, Patent No: US 05/672,599, 29 Kasım 1977.

Massazza, F., “Pozzolanic cements”, *Cement and Concrete Composites* 15, 185 – 214, 1993.

Mathur, R., Misra, A.K. and Pankaj, G., “Marble slurry dust and wollastonite-inert mineral admixtures for cement concrete”, *Indian Highways* 35, 41-46, 2007a.

Mathur R., Misra, A.K. and Pankaj, G., “Influence of wollastonite on mechanical properties of concrete”, *Journal of Scientific & Industrial Research* 66, . 1029-1034, 2007b.

Maxim, L.D., Niebo, R., LaRosa, S., Johnston, B., Allison, K. and McConnell, E.E., “Product stewardship in wollastonite production”, *Inhalation Toxicology* 20, 1199-1214. 2008.

Mehta, P.K., “Studies on blended portland cements containing Santorin earth”, *Cement and Concrete Research* 11(4), 507-518, 1981.

Misra, A., Mathur, C.B., Kalla, P. and Meena, G.S., “Strength and absorption studies on concrete containing wollastonite”, *Indian Highways* 37(3), 33-38, 2009.

Ming H., Zhang, R. and Zhou, H., “Characterization and analysis of CaO-SiO₂-B₂O₃ ternary system ceramics”, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 22, 389-393, 2011.

Nelson S.A., Silicate Structures and Structural Formula, http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/silicate_structures08.htm, 2013, 10.07.2017.

Nizami M.S., Farooq, M.K., Hussain, K. and Iqbal, M.Z., “Solid state reaction yielding a mineral utilizing silica obtained from an agricultural waste”, *Journal of Materials Science Technology* 15, 276-280, 1999.

NYCO, <http://nycominerals.com>, 2012, 10.07.2017.

Oflaz, K., Manyetik nanofiber membranlar, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 23-24, 2016.

Ohsato H. and Sugimura, T., “Morphology of synthetic β -wollastonite and para-wollastonite”, *Journal of Crystal Growth* 74, 656-658, 1986.

Phillips B. and Muan, A., “Phase equilibria in the system CaO-Iron Oxide-SiO₂ in air”, *Journal of American Ceramic Society*, 42, 413-423, 1959.

Ransinchung, G.D., Kumar, B. and Kumar, V., “Assesment of water absorption on chloride ion penetration of pavement quality concrete admixed with wollastonite and microsilica”, *Construction and Building Materials* 23 , 1168-1177, 2009.

Popovic, S., Strength and Related Properties of Concrete, A Quantitive Approach, *John Wiley and Sons*, New York, 1998.

Saklara, S., Bayraktara, İ., ve Öner, M., “İnce tane boyu analizinde kullanılan yöntemler”, *Madencilik* 2, 29-47, 2000.

Saltevszkaya L.M., Livson, Z.A. and Ryshchenko, M.I., “Synthesis of wollastonite and its use in ceramic bodies”, *Glass and Ceramics* 31, 114-117, 1974.

Sarıöz, K., Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, *Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları*, Eskişehir, 1992.

Setina, J., Gabrene, A. and Juhnevcica I., “Effect of pozzolanic additives on structure and chemical durability of concrete”, *11th International Conference on Modern Building Materials*, Riga Technical University, Riga, Latvia, 2013.

Springer, J., Ontario wollastonite: uses, markets and Ontario’s potential as a future producer. *Industrial Mineral Background* 17, 22, 1994.

Tagnit, A., Pertove, N. and Luke, K., “Properties of concrete containing diatomaceous earth”, *ACI Materials Journal* 100(1) , 73-78, 2003.

USGS, 2010 minerals yearbook – wollastonite, *U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey*, Amerika, 2010.

Usta, D.D., Kolon kanser hücreleri için altın kaplı manyetik yüklü transfeksiyon ajanlarının kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 49, 2014.

Uzal, B. And Turanlı, L., “Studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans”, *Cement and Concrete Research* 33(11), 1777-1781, 2003.

Vichaphund S., Kitiwan, M., Atong, D. and Thavorniti, P., “Microwave synthesis of wollastonite powder from eggshells”, *Journal of the European Ceramic Society* 31, 2435-2440, 2011.

Virta R.L., Wollastonite-A versatile industrial mineral, U.S.Geol. Surv. Fact Sheet FS-002-01, <https://pubs.usgs.gov/fs/fs-0002-01/fs-0002-01textonly.pdf>, 2011, 10.07.2017

Virta, R.L., Wollastonite, In *Minerals Yearbook*, U.S. Geological Survey. <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/wollastonite/860401.pdf>, 2001, 10. 07.2017

Yamanaka T. and Mori, H. “The structure and polytypes of α -CaSiO₃ (pseudowollastonite)”, *Acta Crystallographica Section B: Structural Science, Crstyal Engineering and Materials* 37, 1010-1017, 1981.

Yang, H. and Prewitt, C.T., “On the crystal structure of pseudowollastonite (CaSiO₃)”, *American Mineralogist* 84, 929-932, 1999.

Yılmaz, B., “Çimento klinkerinin ana oksit bileşenlerinin xrf ile saptanmasında toz ve cam yöntemlerinin karşılaştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 158, 2005.

Yun Y.H., Yun, S.D., Park, H.R., Lee, Y.K. and Youn, Y.N., “Preparation of β -wollastonite glass-ceramics”, *Journal of Materials Synthesis and Processing* 10, 205-209, 2002.

Yüçetürk, G., “Yapay mermerde kullanılan kuvars ve kalsit minerallerinin fiziko-meknik özellikleri”, *SDU International Journal of Technologic Sciences* 2,3, 72-80, 2010.

Zhang, M.H., Lastra, R. and Malhotra, V.M., “Rice husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and the paste”, *Cement and Concrete Research* 26(6) , 963-977, 1996.

Zhang N., Molenda J.A., Fournelle, J.H., Murphy, W.L. and Sahai, N., “Effects of pseudowollastonite (CaSiO₃) bioceramic on in vitro activity of human mesenchymal stem cells”, *Biomaterials* 31, 7653-7665, 2010.

Zhu L., Preparation of high-aspect-ratio particles through the high temperature growth of 2M-wollastonite crystals, *Published by ProQuest LLC*, University of Utah, United States of America, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında İzmir’de doğdum. İlk okulumu İzmir, orta okul ve lise öğretimimi Afyon’da tamamladım. 2009 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne başladım ve Haziran 2013’te mezun oldum. 2014 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladım. 2013-2014 yılları arasında İZYAP Yapı Denetim Ltd. Şti.’de kontrol mühendisi olarak çalışma hayatına başladım. 2014-2015 yılları arasında NİĞBAŞ Niğde Beton Sanayi ve Ticaret A.Ş.’de proje mühendisi olarak çalıştım. 2015 ’ten itibaren Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu’nda öğretim görevlisi olarak devam etmekteyim.

