



T.C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANALSİM VE KLİNOPTİLOLİT İKAMESİ İLE ÜRETİLMİŞ
ÇİMENTO HARÇ VE BETONUN ISI DEPOLAMADA
KULLANIMI

TALHA YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2018

T.C.
ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

**ANALSİM VE KLİNOPTİLOLİT İKAMESİ İLE ÜRETİLMİŞ
ÇİMENTO HARÇ VE BETONUN ISI DEPOLAMADA
KULLANIMI**

TALHA YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORDU 2018

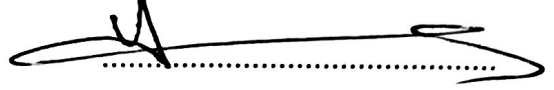
TEZ ONAY

Talha YILMAZ tarafından hazırlanan "ANALSİM VE KLİNOPTİLOLİT İKAMESİ İLE ÜRETİLMİŞ ÇİMENTO HARÇ VE BETONUN ISI DEPOLAMADA KULLANIMI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 03.08.2018 tarihinde yapılmış ve jüri tarafından oy birliği ile Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

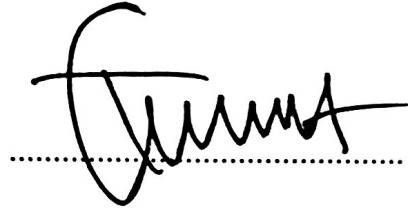
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN



Üye
Prof. Dr. Tahsin TONKAZ
Ordu Üniversitesi

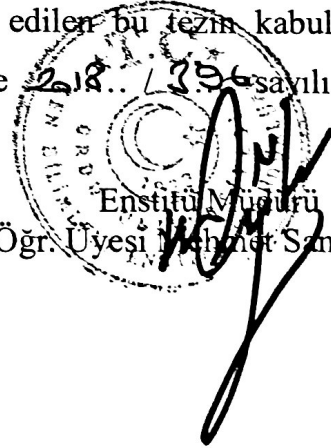


Üye
Doç. Dr. Zeki KARACA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



06 / 09 / 2018 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 10 / 03 / 2018 tarih ve 218.. / 356 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER



TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.



Talha YILMAZ

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün BY-1736 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

ANALSİM VE KLİNOPTİLOLİT İKAMESİ İLE ÜRETİLMİŞ ÇİMENTO HARÇ VE BETONUN ISI DEPOLAMADA KULLANIMI

Talha YILMAZ

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ 68 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN AKGÜN)

Günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin yapılarda kullanılabilirliği ve binalarda kullanılan yapı malzemelerinin ısı depolama kabiliyeti üzerine çalışmalar gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, doğal zeolit minerallerinden olan analsim ve klinoptilolit içeren katkılı çimento kullanılarak üretilen çimento harç ve betonun ısı depolamada kullanımını incelenmiştir.

Bu kapsamda, Ordu İli, Perşembe ilçesi doğal zeolitlerinden olan analsim ile dünyadaki en yüksek saflık oranına sahip olan (%96 saflıkta) Manisa-Gördes yöresinden temin edilen klinoptilolit kullanılmıştır. Çalışma konusu zeolitlerin fiziksel, kimyasal, mekanik, petrografik, ısı iletkenlik özellikleri ile ısı depolama kabiliyetleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda çimento harç ve beton numuneler farklı ikame oranları (%0, %10, %30 ve %50) ile üretilmiştir. Üretilen deney serilerinden elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve birbirleri ile olmak üzere karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, analsim ve klinoptilolit içeren katkılı çimento kullanımı ile tasarlanan nihai ürün harç ve betonun ısı depolama kabiliyetlerinin iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Analsim, Isı Depolama, Katkılı Çimento, Klinoptilolit, Zeolit

ABSTRACT

USE OF CEMENT MORTAR AND CONCRETE PRODUCED WITH TWO DIFFERENT NATURAL ZEOLITES (ANALCIME AND CLINOPTILOLITE) SUBSTITUTION IN HEAT STORAGE

Talha YILMAZ

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

RENEWABLE ENERGY

MSc. THESIS, 68 P.

(SUPERVISOR: Asst. Prof. Yasemin AKGÜN)

Nowadays, it has been increasingly widespread performed works on heat storage capacity of building materials and usability for buildings of solar energy which is renewable energy sources. In this study, it was investigated availability for heat storage of cement mortar and concrete produced by using blended cement containing natural zeolite minerals such as analcime and clinoptilolite.

According to this, it was used clinoptilolite which is the highest purity ratio (96% purity) in the world obtained from Manisa/Gördes region and analcime obtained from Ordu/Perşembe region. The physical, chemical, mechanical, petrographic, thermal conductivity properties and heat storage capacities of zeolites was determined. The cement mortar and concrete samples in test studies were produced with different substituted ratios (0%, 10%, 30% and 50%). The results obtained from test series was compared with each other and among themselves.

As a result of tests, it is thought that can be improved of heat storage capacity of mortar and concrete designed by using blended cement containing analcime and clinoptilolite.

Keywords: Analcime, Blended Cement, Clinoptilolite, Heat Storage, Zeolite

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince her tűrlű desteęini esirgemeden bana yardımcı olan, daima sabır ve özveriyle beni yönlendiren, deneyimlerini paylaşan deęerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN'e teőekkűr ederim. Aynı zamanda deneylerde kullanılan malzemelerin temini konusunda tezime katkıda bulunan Altaő Hazır Beton A.Ő., Gördes Zeolit A.Ő., Votorantim imento, Ünye imento, MTA Genel Müdürlüęü'ne sonsuz teőekkűrlerimi sunarım. Ayrıca çalıőmalarımıza bulunduęu katkılardan ötürü Dicle Üniversitesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Askeri KARAKUŐ ve Prof. Dr. Mustafa AYHAN'a teőekkűr ederim.

Tűm hayatım boyunca hiçbir zaman desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen ve her an yanımda olan aileme, çok deęerli eőime ve mesai arkadaşlarıma sonsuz teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	III
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Binalarda Isı Depolama.....	4
2.2 Isı Depolama Yöntemleri.....	7
2.2.1 Duyulur Isı Depolama.....	8
2.2.2 Gizli Isı Depolama.....	8
2.2.3 Termokimyasal Isı Depolama.....	9
2.3 Isıl İletkenlik.....	10
2.4 Isıl Yayınım Katsayısı.....	10
2.5 Isı Kapasitesi.....	10
2.6 Zeolitler.....	10
2.6.1 Zeolitlerin Isı Depolama Kabiliyetleri.....	13
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
4. MATERYAL ve YÖNTEM	21
4.1 Materyal.....	21
4.1.1 Portland Çimentosu.....	21
4.1.2 Doğal Zeolitler.....	21
4.1.3 Süperakışkanlaştırıcı Beton Katkısı.....	21
4.1.4 Agregalar.....	22
4.1.5 CEN Standart Kumu.....	25
4.1.6 Karışım Suyu.....	26
4.2 Yöntem.....	26
4.2.1 Zeolitin Fiziksel, Kimyasal, Mineralojik ve Petrografik Özellikleri.....	27
4.2.2 Puzolanik Aktivite Deneyleri.....	28
4.2.3 Agrega Deneyleri.....	28
4.2.3.1 Agreganın Mineralojik ve Petrografik Analizi.....	28
4.2.3.2 Agrega Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Oranı.....	29
4.2.4 Çimento Harç Numunelerin Üretimi.....	29
4.2.5 Beton Numunelerin Üretimi.....	35
4.2.6 Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tespit Deneyi.....	37
4.2.7 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi.....	38
4.2.8 Eğilmede Çekme ve Sonrası Basınç Deneyi.....	39
4.2.9 Isıl İletkenlik ve Isı Depolama Değerleri Tespit Deneyleri.....	40
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	42
5.1 Doğal Zeolitlerin Özellikleri.....	42
5.1.1 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	42
5.1.2 Mineralojik ve Petrografik Özellikleri.....	43

5.1.3 Puzolanik Aktivite.....	46
5.2 Agreganın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	47
5.2.1 Agreganın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	47
5.2.2 Agreganın Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	47
5.3 Çimento Harç Numunelerinin Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı	48
5.4 Ultrases Geçiş Hızı.....	50
5.5 Çimento Harç Numunelerinin Eğilmede Çekme ve Sonrası Bas. Dayanımları ..	51
5.6 Doğal Zeolitlerin Isıl İletkenlik ve Özgül Isı Değerleri	53
5.7 Çimento Harç ve Beton Numunelerinin Isıl İletkenlik ve Özgül Isı Değerleri.....	53
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	58
7. KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	68



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Binalarda pasif güneş enerjisi döngüsü	6
Şekil 2.2 Güneş enerjisi pasif depolama yöntemleri.....	7
Şekil 2.3 Adsorbsiyonlu ısı depolama sistemi	14
Şekil 4.1 Deneyde kullanılan klinoptilolit numunesi.....	21
Şekil 4.2 Deneyde kullanılan analsim numunesi	21
Şekil 4.3 Deneyde kullanılan süperakışkanlaştırıcı	22
Şekil 4.4 Agregaların etüvde kurutulması	24
Şekil 4.5 Elek analizinde kullanılan elek takımı.....	24
Şekil 4.6 Sınıflandırılmış agregalar	25
Şekil 4.7 CEN standart kumu	26
Şekil 4.8 Hassas terazi	31
Şekil 4.9 Çimento harç karıştırıcı	31
Şekil 4.10 Harç üretim şşaması.....	32
Şekil 4.11 Numune kalıpları (20 x 60 x 150 mm)	32
Şekil 4.12 Numune kalıpları (40 x 40 x 160 mm)	33
Şekil 4.13 Sarsma tablası	34
Şekil 4.14 Numune örnekleri	34
Şekil 4.15 Numunelerin suda kürlenmesi	35
Şekil 4.16 Özgül ağırlık sehpası	37
Şekil 4.17 Numunelerin etüvde kurutulması	38
Şekil 4.18 Ultrases ölçümü	38
Şekil 4.19 Ultrases cihazı.....	39
Şekil 4.20 Eğilmede çekme deneyi.....	39
Şekil 4.21 Eğilmede çekme deneyi sonrası basınç deneyi.....	40
Şekil 4.22 Isomet 2104 cihazı.....	41
Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan klinoptilolit örneğinin XRD kırınım desenleri.....	44
Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan klinoptilolit numunesinin SEM görüntüsü.....	44
Şekil 5.3 Çalışmada kullanılan analsim numunesinin XRD kırınım desenleri.....	45
Şekil 5.4 Çalışmada kullanılan analsim numunesinin SEM görüntüsü	46
Şekil 5.5 Harç numunelerinin DKY ve kuru özgül ağırlıkları.....	48
Şekil 5.6 Harç numunelerinin su emme oranları	49
Şekil 5.7 Harç numunelerinin ultrases geçiş hızı.....	50
Şekil 5.8 Harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımları-özgül ağırlığı	52
Şekil 5.9 Harç numunelerinin eğilme sonrası bas. dayanımları-özgül ağırlığı.....	52
Şekil 5.10 Harç numunelerinin ısıl iletkenlik-özgül ağırlığı	56
Şekil 5.11 Beton numunelerinin ısıl iletkenlik-özgül ağırlığı.....	56
Şekil 5.12 Harç numunelerinin özgül ısı ve özgül ağırlık değerleri	57
Şekil 5.13 Beton numunelerinin özgül ısı ve özgül ağırlık değerleri	57

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Doğal zeolitlerin sınıflandırılması	11
Çizelge 4.1 Portland çimentosu fiziksel ve kimyasal özellikleri	20
Çizelge 4.2 Agregaların fiziksel özellikleri	23
Çizelge 4.3 Agregaların boyut dağılım (granülometrik) analizi	25
Çizelge 4.4 Puzolanik aktivite deneylerinde kullanılan malzeme miktarları	28
Çizelge 4.5 Çimento harçlarının isimleri	30
Çizelge 4.6 Harç karışım miktarları	30
Çizelge 4.7 Mutlak hacim yöntemi ile belirlenen karışım miktarları	37
Çizelge 5.1 Fiziksel özellikler.....	42
Çizelge 5.2 Doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu	43
Çizelge 5.3 Klinoptilolit (Gördes) Mineralojik Bileşimi	43
Çizelge 5.4 Doğal zeolitlerin puzolanik aktivite değerleri	47
Çizelge 5.5 Çimento harçlarının özgül ağırlık ve su emme oranları	48
Çizelge 5.6 Çimento harçlarının ultrases geçiş hızları.....	50
Çizelge 5.7 Çimento harçlarının eğilmede çekme ve sonrası basınç dayanımları.....	51
Çizelge 5.8 Doğal zeolitlerin termal özellikleri	53
Çizelge 5.9 Harç numunelerin termal özellikleri	54
Çizelge 5.10 Beton numunelerin termal özellikleri	55

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society of Testing Materials
CEN	: The European Committee for Standardization
C₃S	: Trikalsiyum Silikat
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
DN	: Doğal Nem Oranı
DS	: Doyma Suyu Miktarı
EN	: Avrupa Normları
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
MPa	: Megapascal
Op	: Opak Mineral
PÇ	: Portland Çimentosu
SiO₂	: Silisyum Dioksit
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TS	: Türk Standartları Enstitüsü
V_h	: 1 m ³ Betondaki Hava Hacmi
V_w	: 1 m ³ Betondaki Su Hacmi
W_a	: 1 m ³ Betondaki Agregat Kütlesi
W_c	: 1 m ³ Betondaki Çimento Kütlesi
XRD	: X-Işını Kırınım Yöntemi
γ_a	: Agreganın Doymuş Yüzey Kuru Birim Kütlesi
γ_{ai}	: Agregat Sınıfının Doymuş Kuru Yüzeyli Özgül Kütlesi
γ_c	: Çimentonun Doymuş Yüzey Kuru Birim Kütlesi
ρ	: Özgül Ağırlık



1. GİRİŞ

Enerji, bir ülkenin ekonomik durumunu normal seviyeden toplumsal gelişimin yükseklerine taşıyacak bir varlıktır. Enerji ihtiyacı ilk insandan itibaren tüm medeniyetlerin en önemli konularından biri olmuştur. Tarihin ilk dönemlerinden elektriğin icadı ve fosil kaynakların kullanımına kadar insanlık için bugünkü kadar etkili olmayan enerji gereksinimi özellikle de sanayi inkılabı ile birlikte önemini gitgide arttırmıştır.

Yirmi birinci yüzyılın başlarında dünyada kentlerde yaşayan nüfus oransal olarak kırsalda yaşayanları geçti ve projeksiyonlara göre ise 2050 yılında kentleşme oranının %70'lere ulaşacağı tahmin ediliyor. Kentsel nüfusun hızla yükselmesi, üretim ve tüketim faaliyetlerinin hızlanmasını tetiklediğinden dünya üzerinde enerjinin gelecek yıllardakinden daha da değerli olacağı sonucu hâsıl olmaktadır. İçinde bulunduğumuz zaman itibariyle gelişmekte olan ülkelerde yükselen enerji talebi, fosil kaynakların rezervlerinin azalması ve ayrıca çevresel sorunlara yol açması gibi sebeplerden ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilim sürekli olarak artmaktadır.

Zengin fosil kaynaklara sahip olmayan ülkeler için enerji ithalatı önemli bir gider kalemi olmakla beraber stratejik olarak da enerji konusunda başka ülkelere bağımlı olma durumuna yol açmaktadır. Temelde enerji ulaşım, sanayi ve konut sektörlerinde yoğunluklu olarak kullanılmaktadır. Kentleşme oranının yükselmesi, hane halkı sayısının azalması ve tüketim alışkanlıklarını etkilemesi bakımından konut sektörü ile enerji temini arasında yadsınamaz bir bağ mevcuttur. Gelişmiş ülkelerde enerjinin kullanım alanlarına bakıldığında %27 oranı ile en fazla enerji kullanımı konutlarda gerçekleşmektedir. Konutlarda enerji tüketimi %70 oranında elektrik enerjisi olarak gerçekleşmekte ve tüketilen enerjinin bir neticesi olarak sera gazı içeren atmosferik emisyonların %40'ı konutlar tarafından salınmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu teknolojiler olması, karbon salınımını azaltması ve milli bir kaynak olması gibi sebepler, enerji gereksinimi yüksek düzeyde olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından konunun önemini daha da arttırmaktadır. Enerjinin her geçen gün daha değerli duruma gelmesi, yenilenebilir

enerjinin dünya üzerinde yükselen bir değer olmasıyla birlikte enerji tasarrufu konusu da daha ön plana çıkmaya başlamıştır.

Güneş dünyaya ve diğer gezegenlere enerji sağlayan evrenin birincil enerji kaynağıdır. Güneşin ışınım yoluyla sadece Dünya'ya ulaşan kısmından sağlanacak enerji tüm dünya ihtiyacının oldukça üzerindedir. Güneş gibi doğal ve çevre dostu bir kaynaktan enerji temin etmek amacıyla 1970'lerden sonra çalışmalar hızlanmıştır. Güneş enerjisi sistemlerinden enerji temini, gelişen teknoloji imkânlarından daha hızlı ilerleme kaydederek yatırım maliyetlerinin düşmesiyle birlikte ticari bir yatırım fonksiyonu haline gelmiştir.

Binalarda kullanılan enerjinin diğer kullanım alanlarına göre oransal olarak büyüklüğü, binaların tasarım ve üretim aşamalarında enerji etkin metotları anlamlı kılmaktadır. Binalarda tasarım aşamasında binanın konumlandırılması, cephe elemanları, yalıtım özellikleri, aktif ve pasif ısıtma ile soğutma sistemleri enerji etkin yapı tasarım ve üretiminin ana bileşenleridir. Bu bileşenlerin hepsini kapsayıcı olarak bina yapımında kullanılan malzemelerin hammadde halinden mamul olarak kullanıma hazır hale gelene kadar geçirdiği imalat süreçlerinde harcanan enerji miktarı da üzerinde durulması gereken noktalardan biridir. Zira bir yapıda kullanılan yapı malzemesinin üretim ve teşkil sürecinde ne denli az enerji harcanıyorsa malzeme de o denli ekonomik ve çevre dostudur denebilir.

Binalarda güneş enerjisi iklimlendirme ve aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır. Bu anlamda aktif sistemlerden faydalandığı gibi pasif sistemlerden de faydalanılmaktadır. Zeolitik tüflerin ısı depolama kapasitelerinin yüksek olduğu ve hafif beton üretimlerinde de zeolitlerin agrega kullanımına uygunluğu ile çimento kullanım miktarını azaltmak amaçlı ikame (yer değiştirme) malzemesi kullanımları, öğütme enerjileri düşük ve kolay işlenebilir oluşları literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır.

Zeolitlerin en önemli kullanım alanları güneş enerjisinin depolanması, soğutma ve ısıtmadır. Güneş enerjisi doğada devamlılığı olan, gün içinde sadece gündüzleri etkili olabilen, mevsimsel olarak da etkisi azalan ya da artış gösteren bir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla güneşlenmenin meydana geldiği zaman aralığında elde edilebilecek olan güneş enerjisinin diğer zamanlarda da kullanılabilmesini sağlamak, bunun için de bir

saklama ya da depolama yöntemi geliştirmek önemli bir gereklilik halini almıştır. Güneş enerjisinden yararlanmanın yakın tarihteki ilk uygulamalarına bakıldığında, sıcak iklim bölgelerindeki evlerin geniş termal kütleyle sahip, oldukça kalın duvarlarla inşa edildiği, bunların gündüzleri topladıkları ısıyı geceleri salıverdikleri, gün boyu da serinlik yaydıkları görölür. Türkiye ve İtalya gibi zeolitik tüflerin bolca bulunduğu ölkelerde bu tip doğal taşlardan inşa edilmiş kalın duvarlara sahip yapılara sıkça rastlamak mümkündür.

Tüm bunların yanı sıra, çimento klinkeri üretim teknolojisi ekolojik olarak zararlı ve enerji tüketimi yüksektir. Doğaya zararlı olan CO₂, NO₂ ve SO₃ gibi gazların portland klinkeri üretiminde yüksek miktarda ortaya çıkması ve havaya yayılması çevreye büyük oranda zarar vermektedir. Çimento üretiminde harmanlama veya yüksek miktarda mineral katkı (zeolit gibi) kullanımı çimento üretimini hem ekolojik hem de ekonomik açıdan daha kabul edilebilir bir seviyeye getirmektedir.

Zeolit minerallerinin, harç ve beton malzemesinin içeriğinde kullanılması ile enerji depolama kabiliyetlerinin tespiti bu çalışmanın ana amaçlarından biridir. Bu amaçla çalışmada, doğal ve puzolan özellikli iki farklı zeolit (analsim ve klinoptilolit), farklı oranlarda (%0, %10, %30 ve %50) kullanılarak üretilen katkılı çimento ile üretilen çimento harç ve beton numunelerin ısı depolama kabiliyetleri ile bu numunelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin ne yönde etkileneceği incelenmektedir. Çalışmada üretilen deney serilerinden elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Binalarda Isı Depolama

Dünya üzerinde enerji talebinin önemli ölçekte artması ve bu durumun gelecek yıllarda da geçerliliğini koruyacağı tartışılmaz bir gerçektir. Fosil yakıtların kaynaklarının kısıtlı olması ve çevre üzerinde oluşturduğu baskıdan dolayı enerji tasarrufu konusu tüm insanlığın odaklanması gereken bir konudur. Ekonomik gelişmeye bağlı olarak insan eylemlerinin çoğu yapılarda gerçekleşmeye başladığından gelişmişlik düzeyi arttıkça yapı sayısı da artmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).

Binaların hem yapım hem de kullanım aşamasında belirli konfor şartlarında minimum enerji harcaması istenen bir durumdur. Bu nedenle yapıların tasarımında geleneksel yöntemlerden enerjiyi daha etkin kullanan sistemlere doğru bir yönelme durumu söz konusudur. Enerji etkin yapı tasarımının ana hedefi, yapıyı oluşturan tüm malzeme ve bileşenlerin üretimi, yapının tasarımı yanı sıra kullanımı, bakımı, işletimi ve iklimlendirme sistemlerinin seçim ve yönetimine kadar geniş bir alan çerçevesinde, yapının standardını düşürmeden enerji girdilerinin bireysel ve toplumsal yarara yönelik olarak miktar ve maliyetini mümkün olduğunca düşürmektir (Utkutuğ, 1999).

Enerji etkin yapı tasarımında binanın konumu, diğer binalarla olan mesafesi, binanın yönlendirilişi, bina formu, bina kabuğu, doğal havalandırma düzeni etkili olan parametrelerdir. Bu parametrelerden hareketle binaların aktif ve pasif sistemler aracılığıyla enerji etkin olarak tasarlanması mümkündür (Demircan ve Gültekin, 2015). Binalarda mekanik ve elektrik sistem kullanılarak yapı elemanlarıyla oluşturulan düzeneklere aktif sistemler, mekanik ve elektrik sistem kullanılmaksızın yapı elemanlarıyla oluşturulan düzeneklere pasif sistemler denilmektedir. Kendi enerjisini üreten ve kullanımda sıfır enerji ile konfor şartlarını sağlayan binaların literatürde kullanılmasıyla paralel olarak, pasif enerji sistemlerinin hem servis gereksinimi olmaması hem de çevresel hassasiyetler göstermesi sebepleri ile aktif enerji sistemlerine oranla kullanımı daha çok tavsiye edilmektedir. Çünkü pasif

iklimlendirme seçeneği, insanın iklimsel gereksinimlerinin doğal koşullar yardımıyla minimum ek enerji gerektirecek şekilde karşılayan sistemlerdir (Ok, 2007).

Binaların arzu edilen iç ortam iklim koşullarını sağlayabilmesi için, tasarım aşamasında mekânsal konfor şartlarını düzenleyecek hususların dikkate alınması gerekmektedir. Binanın ısı kayıp ve kazançlarının dengelenmesinde güneş enerjisinin etkili bir faktör olarak kullanılması iç ortam koşullarının düzenlenmesinde pasif iklimlendirme seçeneklerine önemli bir katkı sunmaktadır.

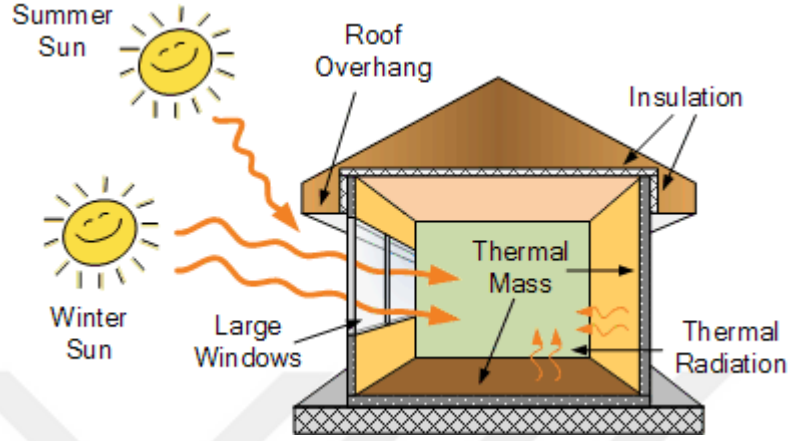
Binalarda harcanan enerjinin alt basamaklarına inildiğinde, iklimlendirme uygulamalarında harcanan enerjinin, genel tüketim içinde yaklaşık %80'lik bir paya karşılık geldiği görülmektedir (Yılmazoğlu, 2010). Binalarda pasif sistemlerin daha etkili şekilde kullanılmaya başlamasıyla birlikte güneş enerjisinin kullanımı diğer enerji etkin uygulamalara nazaran daha dikkat çekici bir konu olarak görülmektedir. Güneş enerjisinin konutlarda en temel kullanımı ışınım sağlanan kışın gündüz vakitlerinde yapıların bünyesinde bulunan yapı malzemeleri marifeti ile depolanarak ısı kayıplarının arttığı gece saatlerinde, gündüz depolanan enerjiden telafi edilmesi şeklindedir.

Güneş enerjisinin güneşlenme süresince depolanması ve güneşlenmenin olmadığı zamanda kullanımına ilişkin etkin, ekonomik ve güvenilir teknoloji ve yöntemler geliştirilmektedir. Isı depolama sisteminin boyutları, uygulanan depolama yöntemi ve ısı depolama materyallerine bağlı olarak, herhangi bir uygulama için düşük sıcaklıkta kısa veya uzun süre için ısı depolanabilir. Kısa süreli depolama olarak gündüz depolanan enerjinin gece kullanımı, uzun süreli depolama olarak da yaz döneminde depolanan enerjinin kış döneminde kullanımı örnek gösterilebilir.

Güneş enerjisinin yapılarda en verimli kullanılan enerji türü olduğu söylenebilir. Güneş enerjisi yapılarda aktif ve pasif iklimlendirme sistemlerinde kullanılabilirdiği gibi elektrik üretiminde de kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinin pasif bir iklimlendirme yöntemi olarak binalarda kullanılmasında toplama, depolama ve dağıtım fonksiyonları etkilidir. Binada kullanılan yapı malzemelerinin ısı depolama yeteneği, kışın ısıtma fonksiyonu durduğu anda hızlı soğumayı, yazın ise özellikle güneşe maruz yaşam alanlarında iç ortam sıcaklığının

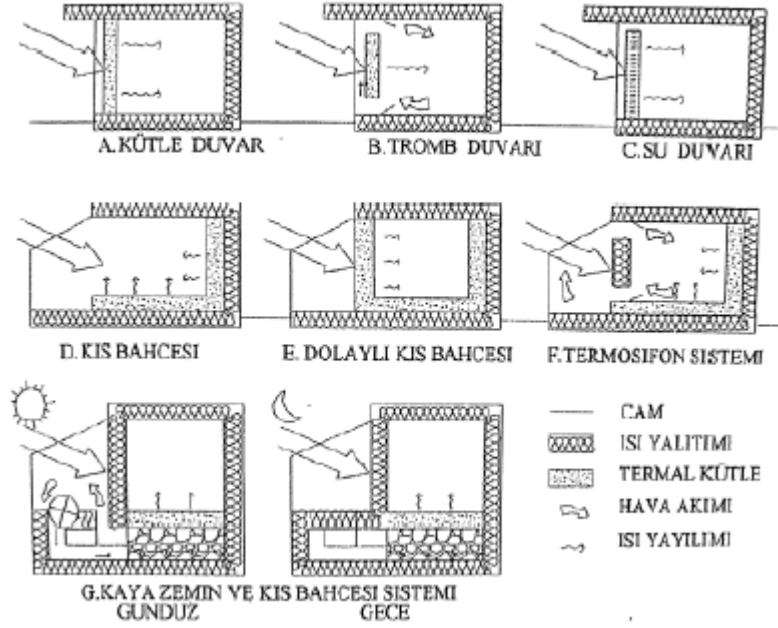
gündüz saatlerinde aşırı yükselmesini önleyerek yapının iklimlendirilmesine pasif iklimlendirme seçeneği olarak katkıda bulunur.



Şekil 2.1 Binalarda pasif güneş enerjisi döngüsü

Güneş enerjisi Şekil 2.1’de görüldüğü üzere mevsimlere göre farklı açılarla yeryüzüne ışınım sağlar. Kış aylarında daha eğik açılarla etki ederken yaz aylarına doğru daha dik açılarla etkimeye başlar. Kışın güneşli saatlerde binaya ışınım yoluyla giren güneş ışınları termal kütlelerde depo edilerek havanın serinlediği akşam vakitlerinde ısısal konforu sağlayabilmek adına dağıtım fonksiyonuna geçer. Bu çevrimin sağlanabilmesinde en önemli faktörlerden biri de binanın güneş ışınlarından en fazla faydalanan güney cephesinin binanın yönlendirilmesi ve şeklinin belirlenmesi aşamasında optimum faydayı sağlayacak şekilde tasarım parametrelerine yansıtılmasıdır.

Binalarda ısı depolama fonksiyonu yüklenen termal kütleler binada enerji korunumunu sağlayan bir yapı elemanı olarak teşkil edilse de nispeten ilk yatırım maliyetini arttırmaktadır (Güngör, 1993). Bina türü yapılar için her ne kadar ilk yatırım maliyeti önemli olsa da elde edilecek enerji tasarrufunun kabul edilebilir bir vadede ilk yatırım maliyeti üzerinde oluşan ilaveyi telafi etmesi mümkün olabilmektedir. Böylelikle de binanın kendi iç dinamikleri ile güneş enerjisini gerektiğinde depolayıp gerektiğinde kullanılır kılması enerji etkin yapı tasarımı açısından dikkate değer bir özelliktir.



Şekil 2.2 Güneş enerjisi pasif depolama yöntemleri (Danacı ve Gültekin, 2009)

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere binanın ana kütlesi veya altında teşkil edilecek depolama amaçlı farklı bir kütle termal kütle olarak kullanılabilir. Böylelikle güneş enerjisini pasif yöntemlerle depolayıp kullanılabilmesini sağlayan sürekli bir döngü kolaylıkla sağlanabilmektedir.

Yapılarda ısı depolama yöntemleri eskiden beri geleneksel yöntemlerle kullanılmaktadır. Gizli ısı depolama yöntemi olarak faz değiştiren malzemelerin mikrokapsülenerken duvar malzemesinde kullanıldığı örnekler mevcuttur.

Demir, tuğla, ahşap, plastik, beton ve sıva gibi yapı teknolojisi için kullanılan malzemeler arasında, beton ve sıva, büyük kütle veya hacim bakımından önemli yapı elemanlarıdır. Daha yüksek enerji depolayan bu büyük kütle, termal enerji depolamada önemli bir avantaj olacaktır. Büyük kütleli beton sütunlar, bir bina yapımında kullanılan malzemenin neredeyse yarısını oluşturmaktadır (Ünal ve Özrahat, 2014).

2.2 Isı Depolama Yöntemleri

Mevcut enerjiyi daha sonra kullanılmak üzere farklı bir enerji türüne dönüştürme ve ihtiyaç halinde depolanan enerjinin kullanılması yöntemi, üretim ve tüketim

süreçlerinde uzun yıllar tercih edilmektedir. Isı değişimlerinden doğrudan etkilenen ve ısı enerjisine ihtiyaç duyulan alanlarda ısının depolanarak işletme maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır ki böylelikle enerji verimliliği sağlanır.

Genel olarak ısı enerjisi termokimyasal, duyulur ve gizli ısı depolama olmak üzere üç şekilde depolanabilmektedir.

2.2.1 Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama yönteminde, depolama maddesinin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan duyulur ısıdan yararlanır. Duyulur ısı depolama işlemi katı ve sıvı malzemeler ile sağlanabilir. Katı malzemeler ucuz ve temini kolay olmasına rağmen depolamada büyük hacimler gerektirmektedir. Isı depolamada kullanılan katı malzemeler için yoğunluk (kg/m^3), özgül ısı ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$), ısı iletkenlik ($\text{W/m}^\circ\text{C}$) ve ısı yayılımı (m^2/s) ısı depolama kabiliyetini belirleyen önemli etkenlerdir.

Duyulur ısı depolama yönteminde depolanan toplam enerji, depolama malzemesinin kütlesine, özgül ısısına ve sıcaklık değişimine bağlıdır. Temel denklemi 2.1'de verilmiştir.

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) = V\rho c_p\Delta T \quad (2.1)$$

Denklemde,

Q	: Depolanan enerjiyi,
m	: Malzemenin kütlesini,
c_p	: Malzemenin özgül ısısını,
ΔT	: Malzemenin sıcaklık değişimini,
V	: Malzemenin hacmini,
ρ	: Malzemenin özgül ağırlığını ifade eder.

Duyulur ısı depolamada, depolama malzemesinin çalışma sıcaklığı, ısı iletkenliği ve yayılımları, farklı malzemelerin uyumluluğu, buhar basıncı, ısı kaybı katsayısı ve maliyet boyutu önemli etkenlerdir (Herrmann ve Kearny, 2002).

2.2.2 Gizli Isı Depolama

Gizli ısı depolamasında, faz değişimi gösteren maddelerin uygun sıcaklık aralığında faz değiştirirken bünyesine katılan/ortaya çıkan gizli ısının kullanımı etkilidir. Bu depolama şeklinde kullanım amacına göre depolamaya uygun maddenin belirli

sıcaklıklarda ergime, buharlaşma gibi faz değişim özellikleri önemlidir (Zhou ve ark., 2012).

Isı depolamaya müsait olan faz değişimleri; katı-katı ve katı-sıvıdır. Sıvı-buhar faz değişimi, gaz fazın depolanmasında basınçlı depolama şartları gerektirmesi sebebi ile ısı depolamaya uygun değildir. Katı durumdaki bir malzeme kristalleşerek diğer bir katı faza dönüştüğünde (katı-katı değişimi), kristalleşme ısısı şeklinde ısı depolanır. Malzeme ilk durumdaki katı fazına yeniden dönüştüğünde, faz değişimi sırasında depolanan ısı da geri kazanılır. Katı-katı faz değişimi sırasında ortaya çıkan gizli ısı kayda değer bir miktarda değildir. Katı- sıvı faz değişiminde hacim değişimi diğer faz değişimlerine oranla daha kısıtlıdır. Katı-sıvı faz değişimi ve kristalleşme ısısı yüksek katı-katı hacimlerine oranla yüksek ısı depolama imkânı sunması sebebi ile uygulamada daha fazla tercih edilmektedir. Faz değiştiren malzemeler sabit sıcaklık koşullarında enerji değişimi gerçekleştirdiğinden iklimlendirme sistemlerinde (ısıtma ve soğutma) ısı depolama ve yeniden kazanım açısından sağladığı avantajlar sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Konuklu ve ark., 2014).

2.2.3 Termokimyasal Isı Depolama

Termokimyasal depolama yönteminde ise ısı enerjisi bir bileşiğin bağ enerjisi olarak depolanabilir ve aynı enerji tersinir kimyasal tepkimelerle serbest bırakılabilir (Yılmazoğlu, 2010). Bu yöntemle enerji uzun süre depolanabilir ve tepkimelerde ortaya çıkan yüksek enerji değerinden ötürü yüksek depolama kapasitelerine erişilebilir. Gizli ısı depolama sistemlerine nazaran daha karmaşık olan termokimyasal ısı depolama sistemlerinde bileşenlerin kendi aralarında etkileşimleri çok önemlidir (Ceylan ve ark., 2017).

Termokimyasal ısı depolama yöntemi, yüksek sıcaklıkta nükleer veya güneş enerjisi uygulamalarında ve endüstriyel kazanlardaki damıtma çevrimlerinde uygulanmaktadır. Güneş enerjisinin tersinir kimyasal tepkimelerle depolanması gelişme aşamasında olan yeni bir yöntemdir. Düşük sıcaklıktaki uygulamalar için kimyasal tepkimelerle ısı depolanmasına ilişkin önemli gelişmeler sağlanmış olmakla birlikte uygulamada karşılaşılan önemli sorunlar termokimyasal ısı depolama yönteminin yaygın olarak uygulanmasını sınırlandırmaktadır (Yılmaz, 2005).

2.3 Isıl İletkenlik

Isı iletimi; bir katı malzeme veya durgun akışkan içerisindeki sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısının geçmesidir. Bir katı cisim içinde sıcaklık farkları varsa yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine ısı, iletim yolu ile geçer. Isıl iletkenlik katsayısı (k), Bir malzemenin birim kalınlığı boyunca birim alandan birim sıcaklıkta ısı transfer hızıdır. İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile belirlenir.

$$k = q\Delta L / \Delta T \quad (2.2)$$

Burada ısı iletkenlik katsayısının (k) hesaplanmasında q, A kesitinden geçen ısı akısını, ΔT , ΔL kalınlığında oluşan sıcaklık farkını ifade eder.

Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (k) ne kadar küçükse yalıtımı o kadar iyi anlamına gelmektedir.

2.4 Isıl Yayınım Katsayısı

Termofiziksel bir özellik olan ısı yayınım katsayısı ısının malzeme içinde ne kadar hızlı yayıldığını gösterir. Düşük ısı yayınım, ısının çoğunun malzeme tarafından soğurulduğunu çok az miktarının da iletildiği anlamını taşır (Çengel, 2011).

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (2.3)$$

Burada ısı yayınım katsayısının (α) hesaplanmasında k, ısı iletkenliği; ρ , özgül ağırlığı; c_p ise özgül ısıyı ifade eder.

2.5 Isı Kapasitesi

Isı geçişinde karşımıza çıkan $\rho \cdot c_p$ çarpımı, bir malzemenin ısı kapasitesi olarak isimlendirilir. Malzemenin özgül ısı c_p ve ısı kapasitesi $\rho \cdot c_p$; bir malzemenin ısı depolama kabiliyetini gösterir.

2.6 Zeolitler

Zeolit, geniş anlamdaki tanımıyla alkali ve toprak alkali katyonları ihtiva eden sulu alümina silikat olarak tanımlanır. Tabiatta volkanik tüfler ile tuzlu su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucu oluşurlar.

Zeolitin yapısında kanallardan mütevellit geniş boşluklar bulunup gözenekli bir yapıya sahiptirler. Mikro gözenekli kristalize yapıları sayesinde geniş iç ve dış yüzey alanı oluşturarak iyon değişimi ve kimyasal reaksiyonlara yatkınlık göstermektedir. Bir zeolitin iki karakteristik fiziksel özelliği, iyon değişimi ve tersine çevrilebilir dehidrasyon kabiliyetidir (Smith, 1963). Bu özellikleri sayesinde elek ve filtre araçları görevi görürler. Modifiye edilmiş zeolitik malzemeler farklı kimyasal özelliklere sahip geniş bir kirletici aralığını eşzamanlı olarak sıralamak için eşsiz ve çok yönlü bir malzeme olarak işlev görebilir (Qiang ve ark., 2013).

Yapısal olarak kil minerallerine benzeyen zeolitlerin yaklaşık 50 adet doğal ve 150 adet sentetik türleri vardır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Doğal zeolitlerin sınıflandırılması (Barrer, 1978)

Sınıfı	Alt Sınıfı
Analsim	Analsim, Lomontit
Natrolit	Natrolit, Tomsolit, Edingtonit
Şabazit	Şabazit, Eriyonit, Gmelibit
Filipsit	Filipsit, Gismondin
Höyländit	Höyländit, Klinoptilolit, Stilbit
Mordenit	Mordenit, Ferriyetit, Deshiartit
Föyasit	Foyasit, Linde A
Melanofiyagit	Klarat, Melanofiyagit Grubu SM-39

Klinoptilolit en yaygın kullanılan, üzerine sayısız araştırma yapılmış ve endüstriyel alanda en çok kullanılan zeolit türlerinden birisidir. Klinoptilolitin fayda sağlandığı alanlarda yaygın kullanımından dolayı üretim ve satış imkânları oldukça geniştir. Analsimin de klinoptilolite oranla daha az bilinirliği olmasına rağmen rezerv durumu ölçüsünde kullanım alanları hızla genişlemektedir.

Zeolitler ile ilgili son yıllarda beton içinde belirli oranda çimento ikamesi olarak kullanımına dair pek çok çalışma yapılmış ve olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Zeolitin çimento ikamesi olarak kullanılması puzolanik özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcı özelliği çok az olan veya hiç olmayan fakat yeterli incelikte öğütülmesiyle su ortamında kalsiyum hidroksitle birleşerek hidrolik bağlayıcılık kabiliyeti edinen silisli veya silikalı ve alüminalı malzemeler olarak

tanımlanırlar. Puzolanik aktivite ise, puzolanın içindeki aktif silisin Ca(OH)_2 ve su ile reaksiyona girebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Akgün ve Yazıcıoğlu, 2017). Puzolanik malzemenin içeriğinde yüksek oranda bulunan ve puzolanik tepkimedeki temel elementlerden olan silis taneciklerinin amorf kristal yapısı puzolanik etkinliğe tesir eden faktörlerden biridir (Bulut ve Tanaçan, 2009). Zeolitin çimentoya dahil edilmesi, çimento hidrasyonu ve çimento benzeri hidratlı ürünlerin oluşumu sırasında oluşan Ca(OH)_2 tüketimine katkıda bulunur (Perakki ve ark., 2003). Puzolanın içindeki aktif silisin Ca(OH)_2 ve su ile reaksiyona girmesi sonucunda ilaveten oluşan CSH jelleri dayanım artışını da beraberinde getirmektedir (Erdoğan, 2013).

Doğal zeolitler uzun zamandır beton içinde belirli oranlarda çimentonun yerine geçerek kullanılmaktadır ve bu alanda çok sayıda müspet sonuç doğuran nitelikte çalışmalar yapılmaktadır. Zeolitin beton üzerinde puzolanik asitlere sahip olduğu bulunmuştur. İçindeki reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 Ca(OH)_2 'yi $\text{C} \pm \text{S} \pm \text{H}$ jeline dönüştürür ve alüminyum sertleştirir, sertleşmiş çimento betonunun mikro yapısını iyileştirir ve betonu daha geçirimsiz hale getirir (Chan ve Ji, 1999).

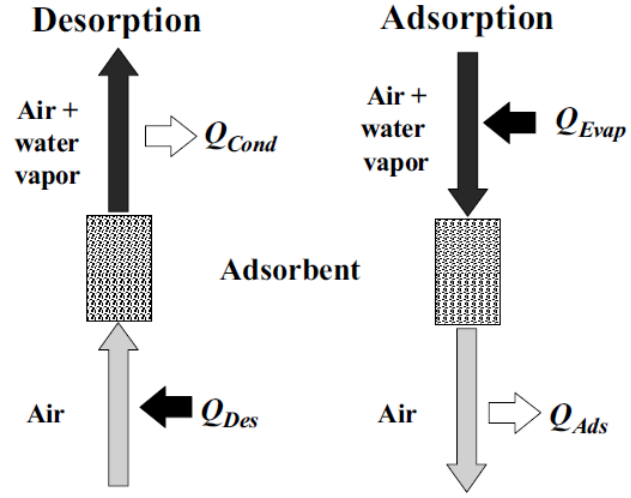
Bir maddenin puzolanlık özelliğinin ve puzolanik aktivitesinin tespitinde maddenin mineralojik, kimyasal ve fiziksel gibi çeşitli özelliklerinin tayini ve puzolan/bağlayıcı karışımının yapısal ve mekanik özelliklerinin saptanması yöntem olarak kullanılmaktadır (Kurugöl, 2017). Standartlarda ASTM C311 (2005), TS 25 (2008) olarak yer alan deneyler uygulanmaktadır. Silis ve Ca(OH)_2 miktarı kimyasal deneylerle belirlenir. Si/Al oranı, daha uzun hidrasyon sürelerinde puzolanik aktiviteyi kontrol eden ana parametrelerden biri olduğu bilinmektedir. (Özen ve ark., 2016). Mekanik deneylerle belirli oranlarda kireç ya da çimento ikamesi olarak kullanılan puzolanlarla üretilen harçların eğilme ve basınç dayanımları tespit edilerek puzolanların aktif silise sahipliği belirlenir. Zeolitin CH ile reaksiyonundan elde edilen sonuçlara göre puzolanik reaksiyonunun, diğer puzolanlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Reaktif yapıdaki SiO_2 miktarı ve puzolanın özgül yüzey alanının genişliği bu aktivite avantajında önemli rol oynadığı söylenebilir (Uzal ve ark., 2010).

Portland çimentosunun hidrasyonu nedeniyle serbest kireç suda çözünür ve düşük mukavemete sahiptir ki bu da çimentodaki en büyük zayıflıktır. Çimentoya eklenen puzolan, çimentoda serbest kireci bağlar, kurtuluşunu önler ve gücünü artırır. Bu kademeli fakat sürekli bağlanma işlemi, Portland çimentosu üzerindeki puzolanik çimentoya üstünlük sağlar (Oymael, 2010).

2.6.1 Zeolitlerin Isı Depolama Kabiliyetleri

Doğal zeolitlerin varlığı yüzyıllardır bilinse de zeolit bilimi ve teknolojisinin endüstriyel alanda kullanımı son yüzyılda dikkate değer seviyeye ulaşmıştır. Zeolitlerin geniş kullanım alanı olan bir mineral olmasına karşın özellikle de son yıllarda ısı depolama kabiliyetiyle ön plana çıkmaya başlamıştır.

Doğal zeolitler yüksek ısı emme özelliklerinin yanı sıra yapısal kararlılığını bozmaksızın hidrasyon ve dehidrasyon kabiliyetlerinden dolayı çeşitli termal depolama ve solar teknolojiye dayanan soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır (Dincer ve Rosen, 2002). Zeolitlerin termal kütle (adsorbent) olarak ısı depolama uygulamalarında kullanımına pek çok örnek bulunmaktadır. Adsorpsiyonlu ısı depolama sistemleri zeolitlerin gözenekli ve buhar tutucu yapısından yararlanır. Böylelikle zeolitler binaların yapı malzemelerinde kullanıldığında binanın nem içeriğini de düzenlemektedir (Özkahraman ve Işık, 2003). Suyun tersinir buharlaşma özelliğinden faydalanılarak hava refakatinde su buharı ve ısı termal kütle yatağına iletilir. Desorpsiyon modunda sıcak hava akımı dolgulu yatağa girer, suyu adsorbentten desorbe ederek yatak soğutucusundan çıkar ve doymuş hale gelir. Adsorpsiyon modunda önceden nemlendirilmiş, serin hava desorbe olmuş paketlenmiş yatağa girer. Adsorban su buharını adsorbe eder ve adsorpsiyon ısını serbest bırakır. Sıcak ve kuru halde çıkan hava binaların ısıtılması için kullanılabilir (Hauer, 2002). Bahsedilen döngü Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Adsorbsiyonlu ısı depolama sistemi

Doğal zeolitlerin ısı depolama kabiliyetlerinin yüksek olması, çimento ikamesi olarak kullanıldığında beton dayanım sonuçlarının istenen seviyede olması gibi özellikleri betonarme binalarda ısı depolama malzemesi olarak kullanılabileceği yönünde olumlu işaretler doğurmaktadır. Özellikle de bu çalışmada kullanılan iki farklı zeolit grubunun benzer termal özellikler gösterdiği bilinmektedir (Alberti ve Vezzalini, 1984).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Başığit, (2010), çalışmasında esasen doğal volkanik gözenekli tüf olan, güçlü absorpsiyon kabiliyeti, geniş özgül yüzey alanı ve hafifliği bulunan zeolitin (klinoptilolit) 0, 5, 10 ve 15 oranında betonda kullanarak su / çimento oranı 0.50'de tutulması şartı ile üretilen betonun termo-mekanik özellikleri ölçmüştür. Betonda termal iletkenliğin zeolitle azaldığı ancak basınç mukavemetinin betonda artan zeolit oranı ile arttığı bulunmuştur.

Alver ve ark., (2010), yaptıkları çalışma ile Gördes ve Bigadiç klinoptilolitlerinin termal özelliklerini incelemek üzere 30-550 °C aralığında diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılarak tüm klinoptilolit numuneleri için bir kütle kaybı adımı gözlemlenildi. Tüm klinoptilolit örneklerinde, 30 ve 200 °C arasında büyük, hızlı kütle kayıpları ve daha yüksek sıcaklıklarda daha yavaş ve daha az önemli kütle kayıpları olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca tüm zeolitlerin TG eğrileri, genellikle dehidrasyona bağlı olarak 30-500 °C sıcaklıkta %9.26 ila %10.32 arasında bir kütle kaybı olduğu anlaşılmıştır.

Öcal, (2014), yüksek sıcaklığın doğal zeolit katkılı betonun bazı özelliklerine etkisi üzerinde çalışmıştır. Bu kapsamda doğal zeolit kullanılarak %0, %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 yer değiştirme miktarlarında 7 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımlarda betonların su / bağlayıcı oranı sabit tutularak akışkanlaştırıcı kullanımı ile çökme değerleri 13 ± 2 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kuru birim ağırlık, su emme oranı, boşluk oranı, basınç dayanımı değerleri ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklık karşısındaki davranışlarını tespit etmek için, numuneler elektrikli fırında 250 °C, 500 °C, 750 °C ve 1000 °C sıcaklıklara kadar ısıtılarak bu sıcaklıklarda iki saat süreyle bekletilmişlerdir. Deneyler sonucunda yüksek sıcaklığa maruz kalan doğal zeolit katkısının beton dayanımını artırıcı yönde etki ettiği anlaşılmış, doğal zeolit ilavesinin betonun ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Özkahraman ve ark., (2003), kaynaklanmış tüflerin içerisinde %15 oranında bulunan zeolit minerali olan analsimin yapı malzemesi olarak kullanım durumu üzerine araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde zeolitlerin de dahil olduğu kaynaklanmış tüflerin %40'lık gözenek oranı ile binaların dış duvarlarında beton

malzemesine oranla %60'lık iklimlendirme yönünden tasarruf yapılacağı sonucuna varmışlardır.

Bilgin, (2014), doğal zeolit mineralinin güneş saklamasında adsorpsiyon ve iyon değişim özelliklerine bağlı olarak kullanıldığını ortaya koymuştur. Sıcaklığa bağlı olarak klinoptilolit ve şabazitin küçük yapıların ısıtılması ve kondüsyonlanması yani ısı değiştirici olarak zeolitlerin kullanılması mümkün olduğundan bahsetmiştir.

Dinçer ve Rosen, (2002) zeolitlerin yüksek ısı emme ve hidrate/dehidrate olurken yapısal kararlılığını sürdürme kabiliyetinin onları çeşitli termal depolama ve güneşe bağlı iklimlendirme faaliyetlerinde oldukça verimli bir malzeme haline getirdiğini belirtmişleridir.

Trník ve ark., (2015), çalışmalarında, doğal zeolit içeren yüksek performanslı betonun çimento bağlayıcısının %0'dan %60'a kadar kütle oranında değişen termal özelliklerini incelemişlerdir. Ölçümler, bir argon atmosferinde 25°C ila 1000°C sıcaklık aralığında 5°C/min hızında diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) ve termogravimetri (TG) ile gerçekleştirmişlerdir. Termal özellikler, yüksek sıcaklıklarda incelenen malzemelerin mineral bileşiminde değişiklikler oluşturduğunu göstermiştir. Reaksiyon ısısının zeolit miktarının artışı ile azaldığı, zeolit kütlelerinin %20'nin üzerine çıktığı durumda kristalleşme gözlenmiştir.

Karakurt ve ark., (2010), yaptıkları çalışmada, doğal zeolit (klinoptilolit), gaz beton üretiminde agrega ve bağlayıcı faktör olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, doğal zeolit takviyeli üretim numunelerinde termal iletkenliğin kontrol numunelerine göre daha az olduğu görüldü. Böylelikle doğal zeolit takviyeli gaz betonların duvar bloklarında kullanılması ile malzemenin özgül ağırlığı azaltılması ve daha yüksek bir bina yalıtım performansı sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Albayrak ve ark., (2006), Kılınçarslan, (2007), yaptığı çalışmalarda da benzer sonuçlara varılmıştır.

Johannes ve ark., (2015), binalar için tasarladıkları bir ısı depolama sisteminde ısı depolama fonksiyonunu zeolit üzerinden kurgulamışlardır. Bu çalışmada 2 saat boyunca en az 2000W mantıklı ısıtma gücü sağlamak için bir zeolit termal enerji depolama sistemini geliştirmek ve karakterize etmek amaçlanmıştır. Sonuç olarak

reaktörün 2 saatten fazla bir süre boyunca, 2.25 kW'lık sabit bir güç, yani 27.5 W/kg malzeme temin edebildiği sonucu ortaya konulmuştur.

Snellings ve ark., (2010), yaptığı çalışmada ağırlıklı olarak bir zeolitik fazdan oluşan tüflerden analsim, şabazit, klinoptilolit, erionit ve filipsitin, çimento ve su ile hidrasyonundan sonra meydana gelen kimyasal ekzotermik reaksiyonların doğasını ve sırasını araştırmak için izotermal iletkenlik kalorimetresi deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak portlanditin çözünmesi ile zeolit yüzeyinde C-S-H jelinin çökmesini sağlar ve bu reaksiyon sonucunda sürekli bir ısı yayılımı gözlemlendiği, zeolitin yapısındaki Ca elementi reaksiyonlar sonucunda ortamın pH özelliğini etkilediği görülmüştür. Ayrıca zeolitin çerçeve yapılarının açıklığı da çözünme durumunu etkileyen önemli bir parametre olduğu kanaatine varılmıştır.

Vejmelkova ve ark., (2012), yürütmüş oldukları çalışmada, beton içeriğinde çimento yerine %10, %20, %40 ve %60 oranlarında doğal zeolit yer değiştirilmeli numunelerin ısı iletkenliği, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı yayılım özellikleri geleneksel beton ve değişken oranlı numunelerle kendi içinde karşılaştırılmıştır. Isı iletkenlik, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı yayılım özellikleri ISOMET 2104 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Portland çimentosunun doğal zeolit ile kütlece %20 oranında değiştirilmesi ile elde edilen betonun, ısı özellikler bakımından kullanıma en uygun seçenek olduğu kanaatine varılmıştır. Vejmekova ve ark., (2013), çalışmalarından elde edilen deney sonuçlarına göre, malzemedeki artan nem miktarı ile termal iletkenliğin %50 oranına kadar arttığı, kuru haldeki en yüksek termal iletkenliğin en düşük gözenekliliğe karşılık gelen referans betonuna ait olduğu, hacimsel ısı kapasitesinin de nem oranına bağlı olarak arttığı, ısı yayılım özelliğinin ise artan zeolit miktarına oranla azaldığı tespit edilmiştir.

Vejmelkova ve ark., (2014), çalışmalarında karmaşık Portland-çimento esaslı bağlayıcıda, kütlece %60 oranına kadar çimento esaslı doğal zeolit içeren betonun temel fiziksel özellikler, mekanik ve kırılma mekaniği özellikleri, dayanıklılık özellikleri ve higrometrik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda %20'lik zeolit yer değiştirmeli betonun basınç dayanımı, eğilme mukavemeti, etkili kırılma tokluğu, etkili tokluk ve spesifik kırılma enerjisinin yer değiştirmesiz betona nazaran daha olumsuz sonuçlar verdiği görüldü. Öte yandan

donma direnci, buz çözücü tuz direnci ve $MgCl_2$, NH_4Cl , Na_2SO_4 ve HCl 'e karşı kimyasal direncin ise daha olumlu sonuçlar verdiği görüldü. Su emilim katsayısı, su buharı difüzyon katsayısı, su buharı emme izotermeleri, ısı iletkenlik ve özgül ısı değeri ölçülen değerleri kullanılarak değerlendirildiğinde, %20 doğal zeolit yer değiştirmeli numunelerin en verimli sonuçları verdiği sonucuna varılmıştır.

Soulayman ve ark., (2008), yaptığı çalışmada, üç tip zeolitin (analsim, filipisit ve şabazit) yaklaşık %50'sini ihtiva eden, topraklanmış Suriye doğal zeolitik tüf örneklerinden 350 rpm hızında 20 dakika öğütülmüş 45-900 mikron aralığında 10 toz fraksiyonu incelenmiştir. Fraksiyonların su tutma, ısı ıslamde su kaybı, enerji depolama kabiliyetine ilişkin yapılan araştırma sonucuna göre, Suriyeli doğal zeolitik tüfün, 100 °C'nin altında ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilceği öngörülmüştür. Konvansiyonel düz plakalı güneş kolektörlerinin çalışma sıcaklığı genellikle 100 °C'nin altında olduğundan, zeolit grubu mimerallerin güneşten elde edecek ısının depolanması hususunda depolama malzemesi olarak tayin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim, (2011), yaptığı çalışma ile çimento yer değiştirme malzemesi olarak zeolit ve silis dumanı içeren çimento harçlarının fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmış, elde edilen sonuçlar, kontrol harcındaki ile kıyaslanmıştır. %10 sabit silis dumanı ve sabit su/kum miktarları ile ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 ve %30 oranlarında değişen zeolit yer değişimleri harç numuneleri hazırlanmıştır. Karışımların, su ihtiyacı, priz süresi, hacim genleşmesi, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme, porozite, kuru birim ağırlık, aşınma direnci ve karbonatlaşma derinliği ölçülmüştür. Yürütülen deneyler kapsamında elde edilen bulgular, çimento yerine ikame edilen zeolit ve silis dumanının, harcın özelliklerini iyileştirerek kontrol harcına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Sallı Bideci ve ark., (2013), çalışmalarında çimento üretiminde klinkerin azaltılarak yerine %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında zeolit katkısının kullanımı neticesinde çimento harç özelliklerinde gözlenen etkiyi incelemişlerdir. Araştırmada zeolit katkılı çimento harç numunelerinin, fiziksel ve kimyasal analizleri, 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile SEM görüntüleri incelenmiştir. Çalışmada, katkılı çimento özellikleri bakımından en uygun değerler %10 zeolit katkılı çimento harçlarından

elde edilmiştir. Böylelikle doğal zeolit yer değiştirmeli çimento kullanımında enerji tasarrufu ve çevre kirliliğinin azaltılması yönünde olumlu katkı sağlanacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Dayı ve ark., (2013), çalışmalarında zeolit, uçucu kül ve atık cam, ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında Portland çimentosu klinkeri ile birlikte üçlü katkılı çimentolar elde edilmiştir. Üretilen çimentoların öğütme süresi sabit tutulmuştur. Üretilen kompoze çimentoların kimyasal kompozisyonları ve fiziksel özellikleri ile 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımları kontrol çimentosu olan CEM I Portland çimentosu numunesi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçları, üretilen Portland kompoze çimentoların TS EN 197-1'e uygun olduğunu ve çimento üretiminde zeolit, uçucu kül ve atık camın katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Özen ve ark., (2016) yaptıkları çalışma ile Türkiye'den temin edilen beş doğal zeolit (üç klinoptilolit ve bir adet mordenit ve analsim içeren kayaç) puzolanik etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda, tane büyüklüğü gibi çeşitli kimyasal-fiziksel parametrelerin etkisini de değerlendirilmiştir. Puzolanik etkinin etkinliği XRD ve FTIR analizleri ile izlenmiştir. Bu iki analiz yönteminden XRD yönteminin daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Klinoptilolit numunelerinin puzolanik aktivitesinin daha iyi sonuçlar verdiğini sonucuna ulaşılmıştır.

Ahmadi ve Shekarchi, (2010), çalışmalarında İran'dan elde edilen zeolit puzolan olarak beton içindeki kullanılabilirliği silis dumanı katkısı ile karşılaştırılmıştır. Doğal zeolit ve silis dumanının puzolanik aktivitesi termogravimetrik yöntemle incelenmiş, farklı oranlarda çimento yer değiştirmeli olarak söz konusu numunelerin kullanıldığı betonlar üretilmiştir. Ayrıca her iki malzemenin de ASTM C 1260 ve ASTM C 1567 sınırlandırılmasına yönelik karşılaştırma yapılmıştır. Sonucunda ise zeolit silis dumanı kadar puzolanik özelliği göstermediği ancak mekanik dayanıma silis dumanından daha fazla katkıda bulunduğu ve dayanım özellikleri olarak geleneksel betondan daha iyi sonuçlar verdiğini görülmüştür.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Portland Çimentosu

Çimento doğada bulunan kalker taşı ve killerin ısıtılmak sureti ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Beton karışımı içinde su ile reaksiyona girdiğinde sertleşerek beraberindeki agregaların dayanım özelliğinden de faydalanarak beton için bir bağlayıcı görevi görmektedir.

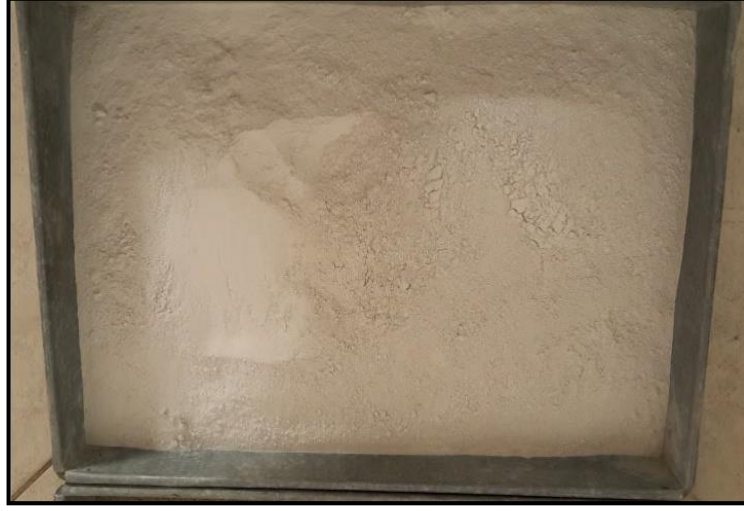
Bu çalışmada, Ünye Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fabrikadan temin edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Portland çimentosu fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	Çimento Ağırlıkça (%)	Çimentonun Fiziksel Özellikleri	
SiO ₂	19.68	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.07
Al ₂ O ₃	5.37	Priz başlangıcı, dk.	156
Fe ₂ O ₃	3.36	Priz sonu, dk.	268
CaO	62.57	Hacim genişmesi, mm	1.00
MgO	0.96	Blaine özgül yüzey (cm ² /g)	3210
SO ₃	2.70	2 gün. basınç dayanımı, MPa	30.8
Kızdırma kaybı	4.14	7 gün. basınç dayanımı, MPa	43.1
Toplam SiO ₂	20.22	28 gün. basınç dayanımı, MPa	52.2

4.1. 2 Doğal Zeolitler

Çalışmada, Manisa/Gördes bölgesinden temin edilen klinoptilolit türü doğal zeolit ile Ordu/Perşembe bölgesinden temin edilen analsim türü doğal zeolit kullanılmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Deneyde kullanılan klinoptilolit numunesi



Şekil 4.2 Deneyde kullanılan analsim numunesi

4.1.3 Süperakışkanlaştırıcı Beton Katkısı

Betonda kullanılan katkı malzemelerinden olan süperakışkanlaştırıcı beton katkısı, betonun su içeriğini ve özelliklerini olumsuz yönde değiştirmeksizin işlenebilirliğini arttıran malzemelerdir. Betonun içindeki çimentonun homojen dağılmasını sağlayıp betonun su gereksinimini azaltarak betonun su geçirimsizliğine ve yoğunluğuna olumlu anlamda katkıda bulunur.

Deney çalışmasında belli oranda çimento ve klinker ile yer değiştirmeli zeolit ile hazırlanan harç ve beton numunelerinde TS EN 934-2+A1 beton katkıları

standardına uygun Polinaftalin sülfonat kondensat ve hidroksi karboksilat esaslı Reoplast-600 olarak anılan, 7.30 pH, 1.11g/cm³ özgül ağırlık ve %21.23 katı madde oranlı, süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesi beton karışım suyuna belirli oranlarda ilave edilerek kullanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Üretimlerde kullanılan süperakışkanlaştırıcı

4.1.4 Agregalar

Beton hazırlanırken su ve çimentonun yanı sıra kum ve çakıl gibi malzemeler bir araya getirilir. Betonun dayanımına doğrudan etki eden bu malzemelere agrega denir. Agregalar tane boyutlarına göre, ince (kum, kırma kum) ve iri (çakıl, kırma taş) agregalar olarak iki gruba ayrılırlar.

Agregalarda aranan özellikler:

- Kararlı, sert yapıda, boşluksuz olmalı,
- Zayıf taneler ve organik maddeler içermemeli (deniz kabuğu, odun, kömür vb.),
- Basınç ve aşınma özellikleri bakımından yeterli dayanım ve dayanıklılığa olmalı,
- Betonun kimyasal yapısına zarar verebilecek özellikte olmamalı,

- Tane boyutlarının düzgün, yüzeyinin aderansı arttıracak şekilde pürüzlü ve temiz olmalıdır.

Agregaların betonda kullanımında uygunluğunun kontrolü amacıyla elek analizi, özgül ağırlık, yassılık ve su emme özelliklerini tayin edebilmek amacıyla çeşitli analizler belirli periyotlarla tekrarlanır. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır. Betonda kullanılacak agregalar için standartlarda pek çok deney yöntemi geliştirilmiştir Yukarıda belirtilen agreganın fiziksel özelliklerinin tayininde kullanılan standartlar Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2 Agreganın fiziksel özellikleri (Başpınar Tuncay ve ark., 2015)

Analiz	İlgili Standart
Özgül ağırlık	TS 699 (2009)
Gevşek ve sıkışık birim yığın yoğunluğu	TS EN 1097-3 (1999)
Tane yoğunluğu ve su emme oranı	TS EN 1097-6 (2002)
Tane büyüklüğü dağılımı	TS 3530 EN 933-1/A1 (2009)
İncelik modülü	TS 706 EN 12620+A1 (2009)
Asitte çözünebilen sülfat	TS EN 1744-1+A1 (2013)
Organik madde içeriği	ASTM C 40-04 (2004)
Yassılık indeksi	BS 812, Part 105-1 (1985)
Donmaya-çözölmeye karşı direci tayini	TS EN 1367-1 (1999)
İri agregaların parçalanmaya karşı direnci (Los Angeles)	TS EN 1097-2 (2010)
İri agregaların aşınmaya karşı direnci (Mikro Deval)	TS EN 1097-1:2011 (2011)

Deneysel çalışmalar için kullanılacak olan agregalar tepsilerle elek analizi öncesi nemini giderebilmek için etüvde kurutulur (Şekil 4.4). Etüvde kurutulan agrega taneleri etüvden alındıktan sonra bir süre soğumaya tabi tutulur. Sonrasında deneyde kullanılması istenen agrega boyutlarına uygun şekilde büyükten küçüğe doğru sırasıyla dizilerek agregalar sınıflandırılır (Şekil 4.5). Elekler yardımı ile sınıflandırılan agregalardan bir görünüm Şekil 4.6’de verilmektedir.



Şekil 4.4 Agregaların etüvde kurutulması

Beton karışımlarında 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm aralığında agregalar kullanılmıştır. Kullanılan agregalar Ordu Altaş Hazır Beton tesislerinden temin edilmiştir. Elek analizi TS 3530 EN 933-1 ve TS 130 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve kullanılacak 3 sınıf agrega ayrıştırılmıştır. Agregaların boyut dağılım analizi Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.5 Elek analizinde kullanılan elek takımı



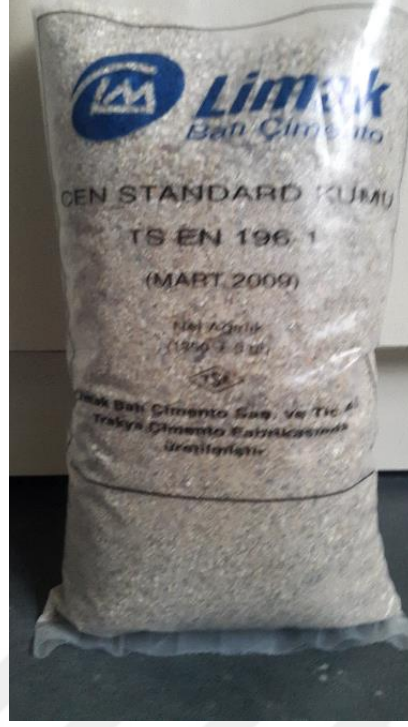
Şekil 4.6 Sınıflandırılmış agregalar

Çizelge 4.3 Agregaların boyut dağılım (granülometrik) analizi

Elek Boyutu, mm	Kümülatif Geçen, %		
	0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm
8	100	100	100
5.6	100	100	66.8
4	100	100	-
2	100	-	-
1	82.3	-	-
0.5	64.1	-	-
0.25	38.4	-	-
0.125	18.7	-	-
0.063	6.1	-	-

4.1.5 CEN Standart Kumu

Deney çalışmalarında harç yapımında kullanılan CEN standart kumu çimento ve/veya bağlayıcı malzemenin dayanımını ölçmek amacıyla kullanılır. Homojen, tercihen yuvarlak tanecikli ve silisyum dioksit miktarı en az %98 olan doğal silis kumu özelliğinde olmalıdır (Şekil 4.7). Limak Batı Çimento San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen CEN Standart kumu TS EN 196-1 standartlarına uygundur.



Şekil 4.7 CEN standart kumu

4.1.6 Karışım Suyu

Betonda kullanılacak su içilebilir nitelikte olmalıdır. TS 500'e göre karışım suyu asit özelliğe olmamalı ($pH > 7$), sülfat etkisi oluşturmamalıdır. İçeriğindeki tuz miktarı harç, beton ve donatıya zarar vermeyecek miktarda olmalıdır. Su, çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yağlayıcı etki oluşturmak ve bunun sonucunda betonun işlenebilir olma imkânı sağlar.

4.2 Yöntem

Deneysel çalışmada hazırlanan beton numunelerinin karışım hesabı TS EN 802 standardına uygun olarak yapılmıştır. Beton karışımında kullanılacak agrega miktarı tayin edilirken granülometri eğrisinde belirtilen agrega oranları kullanılmıştır. Deney konusu beton ve harç karışımlarında kullanılacak olan analsim ve klinoptilolit miktarı ağırlıkça çimento ile yer değiştirilerek 4 farklı oranda hem beton hem de harç ihtiva eden karışım hazırlanmıştır. Karışımındaki iki farklı zeolit %10, %30, %50 oranlarında klinker ile yer değiştirmiş, klinker miktarı ise aynı oranlarda azaltılmıştır. Bunlara karşılık zeolit ikame edilmemiş (%0) geleneksel harç ve beton numuneler hazırlanmıştır. Beton ve harç numuneleri üzerinde dayanıma yönelik deneylerin yanı sıra ısı depolama kabiliyetinin ölçülebilmek için termal özellikler de belirlenmiştir.

Deneilerin bir kısmı Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bir kısmı Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Zeolitin Fiziksel, Kimyasal, Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Çalışmada kullanılan doğal zeolit numunelerinin kayaç özellikleri TS EN 1097-6 standardında, bağlayıcılık özellikleri ise TS EN 197-1 standardında belirtilen özgül ağırlık ve su emme oranlarının tespiti yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

Deneilerde kullanılan doğal zeolit örnekleri bilyeli öğütücülerde öğütülerek çimento inceliğinin altında olmak üzere öğütülmüştür. Klinoptilolit numunesi edinildiği firmadan öğütülmüş halde alınmış, analsim numunesi ise Ünye Çimento A.Ş.'de incelik parametresi 45-µm elekten ASTM C 430 standardına kapsamında elekten geçen malzeme yüzdesi kullanılacak şekilde öğütülmüştür.

Klinoptilolit numunesinin kimyasal kompozisyonunu tayin etmek amacıyla Gördes Zeolit Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Laboratuvarında X-Işınları Difraksiyon (XRD) Analizi yaptırılmıştır. XRD analizi "Bruker D8 Advance" X-Işınları Difraktometresinde, CuK_{α} radyasyona tabi tutularak ve nikel filtre kullanılarak 40kV/40mA sayım koşullarında 2-45 °2θ arasında çekim hızına ulaşılarak deneyler tamamlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu yardımı ile Klinoptilolit numunesinden elde edilen SEM görüntüleri de malzeme analiz raporlarında bulunmaktadır. Analsim numunesinin kimyasal kompozisyonunun tespiti için ise X-Rays Fluorescence Spectrometer (XRF) analizi yapılmıştır. X-Rays Diffraction (XRD) analizi, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, Mineraloji ve Petrografi Laboratuvarlarından, Votorantim Çimento A.Ş. ve AcmeLabs (Canada) laboratuvarlarından elde edilen kimyasal analiz sonuçları karşılaştırma amaçlı olarak yaptırılmıştır. Numunenin XRD analizinde Cu X-ışın tüplü Panalytical X'Pert Powder XRD analiz cihazı kullanılarak 2°-70° arasında XRD difraktogram çekimleri yapılmıştır. Analsim örneğinin taramalı elektron mikroskobu kullanılarak tespit edilen SEM görüntüleri de MTA tarafından yapılan analiz sonuç raporlarından elde edilmiştir.

4.2.2 Puzolanik Aktivite Deneyleri

Bir tür puzolanın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girme hızı, puzolanik aktivitesi, beton tasarımında önemli bir bileşendir. Bir puzolanın, puzolanik aktivitesi TS 25’de tanımlanan puzolanik aktivite deneyi ile belirlenir. ASTM C-618’de de benzeri bir puzolanik aktivite deneyi tanımlanmaktadır. Bu deneylerle belirli bir incelikte öğütülmüş doğal puzolanın, su ve kalsiyum hidroksitle karışımı sonucu oluşan harcın dayanımına bağlı olarak tespit edilen hidrolik özelliği tayin edilmektedir (Akgün, 2017). Puzolanik aktivite deneylerinde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Tez konusu çalışmada hazırlanan numuneler kalıplarda buharlaşmayı önlemek amacıyla üstü kapalı şekilde 24 saat (23 ± 2) °C’lik oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ardından etüvde (55 ± 2) °C bir süre bekletilerek soğumaya bırakılmıştır. Bir sonraki aşamada ise TS EN 196-1 standardında belirtildiği şekliyle basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.4 Puzolanik aktivite deneylerinde kullanılan malzeme miktarları

	TS 25	Miktar	
		Klinoptilolit	Analsim
Sönmüş Kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	150 g	150 g	150 g
Puzolan	$2 \times 150 \times (\text{puzolan} \text{öz. ağı.} / \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ öz. ağı.})$ (g)	$2 \times 150 \times (2.11/2.15)$ = 294.42 g	$2 \times 150 \times (2.28/2.15)$ = 318.14 g
Standart kum	1350 g	1350 g	1350 g
Su	$0.5 \times (150 + \text{puzolan})$ (g)	$0.5 \times (150 + 294.42)$ = 222.21 g	$0.5 \times (150 + 318.14)$ = 234.07 g

4.2.3 Agregada Deneyleri

Agregaların özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılan pek çok yöntem mevcuttur. Agregada deneyleri betonda kullanılacak agreganın özelliklerini tespit edebilmek ve betonda kullanımının uygunluğunu belirlemek amacı ile yapılır.

4.2.3.1 Agreganın Mineralojik ve Petrografik Analizi

Agregada, beton dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde belirleyici rol oynayan ve beton bileşiminde kullanılan önemli bir bileşendir. Agregada ve sertleşmiş çimento hamuru betonu oluşturan iki farklı heterojen malzemedir. Agreganın, betonun amacına hizmet edebilmesi ve betonarmada sağlıklı işlev görebilmesi amacıyla dayanım noktasında beklentiyi karşılaması gerekmektedir. Betonun dayanımında en

önemli etken ise bileşimindeki agregaların özelliğidir. Agreganın betonun dayanımını sınırlamakla birlikte, istenmeyen özellikleri içermesi halinde betonun dayanım ve yapısal performansını negatif yönde etkilemesi de söz konusu olabilmektedir (Neville, 1996).

Beton üretiminde ince (4 mm altı) ve iri (4 mm üstü) olmak üzere iki farklı boyutta agreganın kullanılmaktadır. Agreganın temin edildiği ana kayacın fiziksel, mineralojik ve petrografik özellikler, tane şekli, boyutu, yüzey dokusu, adsorpsiyon gibi özellikleri beton karışımının kalitesini ve dayanımını etkileyen faktörlerdir.

Agregaların petrografik analizi TS 10088 EN 932-3 standardına göre belirlenmektedir. Çalışmada kullanılan agregaların mineralojik ve petrografik analizi agregaların temin edildiği Altaş Hazır Beton tarafından yaptırılmış olup, agregalara ait olan özellikler bu analiz sonuçlarından derlenmiştir.

4.2.3.2 Agreganın Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Oranı

Beton bileşim hesabında kullanılan agreganın yüzey neminden oluşacak olan su miktarı karışımda kullanılacak suyun miktarını doğrudan etkilemektedir. Beton karışımında su/çimento oranı kritik bir öneme sahip olduğundan agreganın su emme oranını önemli hale getirmektedir. Bu nedenle istenen nitelikte beton üretiminde betonda kullanılacak agreganın yüzey nem oranının bilinmesi ve karışım suyundan çıkarılarak bileşim hesabı yapılması gerekmektedir. Ayrıca beton üretiminde kullanılacak agreganın su emme oranı ile birlikte özgül ağırlığının da bilinmesi malzemenin doğru tanımlanması açısından önemlidir. Deneysel çalışmada kullanılacak agregaların özgül ağırlıkları ve su emme oranı TS EN 1097-6 standardında belirtildiği şekilde tayin edilmiştir.

4.2.4 Çimento Harç Numunelerin Üretimi

Çalışmanın bu bölümünde ağırlıkça %0, %10, %30 ve %50 miktarlarda doğal zeolit içeren ve klinker ile yer değiştirmeli olarak hazırlanmıştır. Çimento harç numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımları, özgül ağırlıkları, su emme oranları, ultrases geçiş hızları, ısı depolama kapasiteleri ve ısıl iletkenlik katsayıları belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Doğal zeolit yer değiştirmeli çimento harçlarında belirli oranlarda klinoptilolit ve analsim kullanılmıştır. Belirli oranlarda zeolit yer değiştirmeli harç numunelerinin isimlendirmeleri Çizelge 4.5’de verildiği şekilde yapılmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 4.5 Çimento harçlarının isimleri

Harç Numunesi	Açıklama ve İçerik
G	CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu (geleneksel)
A10	Ağırlıkça %10 oranında Analsim ikameli çimento harcı
A30	Ağırlıkça %30 oranında Analsim ikameli çimento harcı
A50	Ağırlıkça %50 oranında Analsim ikameli çimento harcı
K10	Ağırlıkça %50 oranında Klinoptilolit ikameli çimento harcı
K30	Ağırlıkça %50 oranında Klinoptilolit ikameli çimento harcı
K50	Ağırlıkça %50 oranında Klinoptilolit ikameli çimento harcı

Çimento harç numunelerinin üretimleri için karışım hesabı sonrasındaki karışım miktarları Çizelge 4.6’da yer almaktadır. Harç üretimlerinde su/çimento oranı, CEN standart kumu miktarı, katkı maddesi miktarı (akışkanlaştırıcı), çimento ile ikame edilecek zeolit miktarları tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 Harç karışım miktarları

Harç Karışımları	1 m ³ için Harç Reçetesi						
	G	A10	A30	A50	K10	K30	K50
Portland Çimentosu, kg/m ³	450	405	315	225	405	315	225
Öğütülmüş Zeolit, kg/m ³	-	45	135	225	45	135	225
Su, kg/m ³	225	225	225	225	225	225	225
Su / Çimento Oranı	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Standart Kum, kg/m ³	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Akışkanlaştırıcı, kg/m ³	-	13.5	18.0	22.5	13.5	18.0	22.5

TS EN 196-1 standardında belirtilen deneylerde kullanılmak üzere Çizelge 4.6’da yer alan malzemeler belirtilen oranlarda tartılarak (Şekil 4.8) toplam 450 g bağlayıcı malzeme (PÇ+öğütülmüş doğal zeolit), 1350 g CEN standart kumu, 225 ml su ve harcın işlenebilirliğinin sağlanması amacıyla değişken oranlarda kullanılan

süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak oluşturulan karışım karıştırıcı (Şekil 4.9) ile hamur kıvamına getirilmek sureti ile karıştırılmıştır.

TS EN 196-1 standardında belirtildiği üzere su ve çimento karıştırma kabına çimento ve su kaybından kaçınılması için konur. 30 saniyelik karıştırmanın ardından kumun tamamı kesintisiz olarak 30 saniye içinde kaba ilave edilir. Karıştırıcı yüksek hıza getirilir ve karıştırmaya bu hızla 30 saniye daha devam edilir. Ardından karıştırıcı durdurulur ve 90 saniye beklenir. Bu sürenin ilk 30 saniyelik kısmında, kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç lastik veya plastik sıyrıcı ile sıyrılıp kabın ortasında toplanır. Karıştırmaya 60 saniye daha yüksek hızda devam edilir.



Şekil 4.8 Hassas terazi



Şekil 4.9 Çimento harç karıştırıcı

Şekil 4.10'daki haliyle üretim aşamasından geçen ve homojen olarak üretilen harç numunesi Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilen daha önce yağlanan kalıplara yerleştirildi.

Harcın kalıplara yerleştirilmesi esnasında kalıp harç doldurma başlığı sarma tablasına sıkıca tutturulur. Har, her bir kalıp bölümüne iki tabaka (her tabaka yaklaşık 300 g.) halinde doldurulur. Birinci tabaka harç, karıştırma kabından, uygun bir kepçe kullanılarak bir veya daha fazla kademe kalıbın her bölümüne aktarılarak oluşturulur.



Şekil 4.10 Harç Üretim Aşaması



Şekil 4.11 Numune kalıpları (20 x 60 x 150 mm)

Üretilen çimento harç numunelerinin ısıl özelliklerinin tayininde kullanılacak ölçme cihazının problemlerine uygun ölçülerde (20 x 60 x 150 mm) kalıplar özel üretim olarak Şekil 4.11'deki haliyle üretildi.



Şekil 4.12 Numune kalıpları (40 x 40 x 160 mm)

Harç numunelerin üretiminde 20 x 60 x 150 mm ebadındaki metal kalıplar termal özelliklerin belirlenmesi amacıyla, 40 x 40 x 160 mm ebadındaki kalıplar (Şekil 4.12) ise eğilmede çekme ve sonrasında basınç dayanımı belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Kalıplara standardına uygun olarak yerleştirilen harç numunelerinin içinde boşluk kalmaması için sarsma tablasında (Şekil 4.13) sarsma işlemi uygulanmıştır. Birinci harç tabakası, büyük yayıcı kullanılarak aynı kalınlıkta olacak şekilde yayılır. Yayma işleminde büyük yayıcı mümkün olduğu kadar düşey tutulur, çıkıntı kısımları harç doldurma başlığının üst yüzeyine oturtularak her kalıp bölümü boyunca ileriye ve geriye doğru hareket ettirilir. Ardından, birinci harç tabakası, sarsma tablası 60 defa düşürülerek sıkıştırılır. İkinci harç tabakası, kalıp seviyesinden yukarıda olacak şekilde birinci tabakanın üzerine doldurulur, küçük yayıcı kullanılarak yayılır ve sarsma tablasına 60 düşü daha yapılarak sıkıştırılır.

Numunelerin üst yüzeyi mala ile düzeltilerek numunelerin karıştırılmaması için isimlendirmeleri yapılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.13 Sarsma tablası



Şekil 4.14 Kalıplara yerleştirilmiş deney numuneleri

Numuneler dökümden 24 saat süre ile laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiş ve 22 ± 2 °C sıcaklığındaki suda 28 gün muhafaza edilmiştir (Şekil 4.15). 28 gün sonra kürden çıkarılan numuneler 24 saat ortam sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 4.15 Numunelerin suda kürlenmesi

4.2.5 Beton Numunelerin Üretimi

Çalışmanın bu bölümünde ağırlıkça %0, %10, %30 ve %50 miktarlarda doğal zeolit içeren ve klinker ile yer değiştirmeli olarak hazırlanmıştır. Beton numunelerin basınç dayanımları, özgül ağırlıkları, su emme oranları, ısı depolama kapasiteleri ve ısıl iletkenlik katsayıları belirlenmesi amaçlanmaktadır. Beton numunelerinin isimlendirilmesi harç numunelerinde olduğu gibi Çizelge 4.5’de verilmektedir.

Beton üretiminde daha önce boyutlarına göre sınıflandırılan agregalar karışım hesabında belirlenen oranlara göre önceden nemlendirilen mikserle konularak doyma suyu dikkate alınarak sırasıyla çimento, su ve akışkanlaştırıcı eklenerek üretim sağlanmıştır.

Beton ve harç numuneleri numune kalıplarının küçük olmasından dolayı ve pratiklik açısından Şekil 4.9’de gösterilen çimento harç karıştırıcı ile yoğurulmuştur. Kalıplara yerleştirilmiş deney numunelerine ait bir görünüm Şekil 4.14’de verilmektedir.

28 günlük dayanıma sahip beton ve harç numunelerin doymun kuru yüzeyli ve etüv kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak doymun kuru yüzeyli ve kuru özgül ağırlıklar ile su emme oranları hesaplanmıştır. 40 x 40 x 160 mm ebadındaki kalıplara dökülen harç numunelerine eğilmede çekme dayanımı deneyi ve sonrasında kırılan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

Beton numunelerinin üretiminde bileşim hesabı TS 802 standardında belirtildiği gibi mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır. Söz konusu hesap yöntemi aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Bu hesaba göre;agrega ağırlığı (W_a), W_c ; çimento kütleini, W_a ; agrega kütleini, V_w ; su hacmini, W_h ; hapsedilmiş hava miktarını, γ_a ; agrega özgül ağırlığını ve γ_c ; çimento özgül ağırlığını göstermek üzere;

$$V_a = \frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (4.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Deney çalışmalarına esas beton karışımlarında üç farklı granülometrik özelliğe sahip agrega kullanılacağından her bir sınıf agreganın kütlece oranı (B_i) ve doymun kuru yüzeyli özgül ağırlığı (γ_{ai}) (4.1) bağıntısı yerine,

$$\sum_{i=1}^n \beta_i \frac{W_a}{\gamma_{ai}} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (4.2)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Bu bağıntıdan hareketle toplam agrega kütlei her bir agrega sınıfının kütlece oranları ile çarpıldığında ($W_{ai} = \beta_i \cdot W_a$) her bir sınıftaki agrega kütleleri hesaplanmaktadır. Bu hesap ile ulaşılan agrega kütleleri doymun kuru yüzeyli agrega kütleini ifade etmektedir. Yüzey nemi durumuna göre agrega miktarı hesaplar iken;

$$DS = (SE - DN)\gamma_a \quad (4.3)$$

Bağıntısı kullanılmakta olup burada,

DS : Agreganın doyma suyu miktarını,
SE : Kütlece su emme oranını,
DN : Doğal nem oranını ifade eder.

Yukarıda açıklanan hesap yöntemi ile belirlenen karışım miktarları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Mutlak hacim hesap yöntemi ile belirlenen karışım miktarları

Beton Bileşen Miktarları							
Beton Karışımları	G	A10	A30	A50	K10	K30	K50
Portland Çimentosu, kg/m ³	350	315	245	175	315	245	175
Öğütülmüş Zeolit, kg/m ³	-	35	105	175	35	105	175
Su, kg/m ³	175	175	175	175	175	175	175
Su / Çimento Oranı	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0-2 mm Agregası, kg/m ³	531	520.5	512.1	503.4	519.6	509.1	498.6
2-4 mm Agregası, kg/m ³	531	520.5	512.1	503.4	519.6	509.1	498.6
4-8 mm Agregası, kg/m ³	708	694	682.8	671.2	692.8	678.8	664.8
Akışkanlaştırıcı, kg/m ³	-	10.5	14	17.5	10.5	14	17.5

4.2.6 Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tespit Deneyi

Kalıplarından çıkarılan beton ve harç numuneleri 28 gün suda kürlendikten sonra suya doygun kuru yüzeyli ve kuru özgül ağırlıkları tespit etmek için Şekil 4.14'de gösterilen özgül ağırlık sehpası kullanılmıştır. Su emme oranı tespitinde etüvden çıkarılan numunelerin (Şekil 4.17) yüzeyleri kurularak, etüv kurusu ağırlığı ise 24 saat, 105±5 °C'de bekletilerek belirlenmiştir.



Şekil 4.16 Özgül ağırlık sehpası



Şekil 4.17 Numunelerin etüvde kurutulması

4.2.7 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrases deneyinde, küp numunelerin iki yüzeyi arasına konulan problar aracılığıyla ultrases akımı verilerek geçiş süresinin mikro saniye olarak ultrases ölçüm cihazı ile ölçümü esas alınır. Şekil 4.18 ve 4.19'de gösterilen bu ölçüm ASTM C 597 standardı doğrultusunda yapılır.



Şekil 4.18 Ultrases ölçümü



Şekil 4.19 Ultrases cihazı

4.2.8 Eğilmede Çekme ve Sonrası Basınç Deneyi

Betonun eğilmede çekme dayanımı Türk Standardı TS EN 12390-5 (Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini) ile tespit edilmektedir.

Betonun eğilme çekme dayanımının tespiti için hazırlanan 40 x 40 x 160 mm ebadındaki prizmatik beton kiriş numuneler standardına uygun olarak mesnetlerine yerleştirildi. Beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından (L/2 mesafesinden) yükleme yapılarak kırılma anındaki kuvvet okunarak deney gerçekleştirildi (Şekil 4.20). Eğilme deneyi sonrasında kırılan numuneler üzerinde de basınç deneyi gerçekleştirildi (Şekil 4.21).



Şekil 4.20 Eğilmede çekme deneyi



Şekil 4.21 Eğilmede çekme deneyi sonrası basınç deneyi

4.2.9 Isıl İletkenlik ve Isı Depolama Değerleri Tespit Deneyleri

Ölçüm cihazı problemlerine uygun olarak hazırlanan harç ve beton karışımları 20 x 60 x 150 mm ebadındaki çelik kalıplara döküldü. Laboratuvar şartlarında 24 saat kalıplarında bekletildi. Sonrasında kalıplarından çıkartılan numuneler 28 gün suda kürlendiler.

%0, %10, %30, %50 klinoptilolit ve analsim yer değiştirmeli harç (7 seri) ve beton (7 seri) numuneler toplam 14 seri halinde, Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında mevcut olan Şekil 4.22’de görülen ISOMET 2104 koduyla anılan ısı iletkenlik ve ısı depolama değeri (ısı kapasitesi) ölçer cihaz ile deneye tabi tutulmuştur. TS EN ISO 8990, ISO 6946 standartlarında öngörülen prensiplere göre yapılan ısı iletkenlik deneyleri sonucunda farklı oranlarda çimento yer değiştirmeli harç ve beton numuneleri ile kayaçların ısı iletkenlik değerleri (k) tespit edilmiştir. Aynı ölçüm cihazı ile yine harç ve beton numuneleri ile kayaçların ısı depolama kapasite değerleri (c_p) tespit edilmiştir. Söz konusu ölçüm cihazı, DIN 51046, TS EN 993-15 normuna göre sıcak tel metodunu kullanarak ölçüm yapmaktadır. 22-25 °C oda sıcaklığında ve her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçümler yapılmıştır. Bu

ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak numunelerin k ve c_p değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.22 ISOMET 2104 Cihazı

ISOMET 2104 ölçüm cihazı, ısı iletim katsayısını $0.04-0.06 \text{ W/mK}$ aralığında %5 hassasiyet seviyesinde, hacimsel özgül ısıyı $4.0 \times 10^4 - 4.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ aralığında %15 hassasiyet seviyesinde ölçebilme kabiliyetine sahiptir. Doğal taşlar, kayalar ve beton gibi sertleşmiş malzemelerin termal özelliklerinin tespiti için geliştirilmiş, 3 farklı katı yüzey probu olan cihaz ölçüm şartlarında ortam sıcaklığı ekrandan okunabilmektedir (Devecioğlu ve Biçer, 2012).

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1 Portland Çimentosu ve Doğal Zeolitlerin Özellikleri

5.1.1 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemelerden klinoptilolit numunelerin blaine ve özgül ağırlıkları üretici firma tarafından yapılan deney sonuçlarından, analsim numunelerinin ki ise Ünye Çimento A.Ş. malzeme laboratuvarında yapılan deney sonuçlarından elde edilmiştir. Agregata ve çimentonun özgül ağırlık özellikleri de yine tedarikçi firmalarca yapılan akredite özellikteki deney sonuçlarından alınmış olup (Çizelge 5.1).

Çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin fiziksel özellikleri ve XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi) analizi ile belirlenen kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler	Zeolitler		Portland Çimentosu
	Analsim	Klinoptilolit	
Özgül ağırlık(kg/m ³)	2280	2110	3070
Blaine inceliği (özgül yüzey alanı) (cm ² /g)	4780	4079	3210

Analsimin özgül ağırlığı, klinoptilolite göre %8 kadar; blaine inceliği (özgül yüzey alanı) ise %15 fazladır. Analsim ve klinoptilolitin özgül ağırlığı portland çimentosuna göre sırasıyla %26 ve %32 daha azdır. Analsim ve klinoptilolitin blaine inceliği ise portland çimentosuna göre sırasıyla %33 ve %21 daha fazladır.

Çizelge 5.2 Doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon	Klinoptilolit (%)	Analsim(%)
SiO ₂	64.70	46.71
Al ₂ O ₃	11.21	17.24
Fe ₂ O ₃	1.38	9.21
CaO	2.08	3.03
MgO	0.79	5.29
Na ₂ O	0.38	4.84
K ₂ O	3.78	4.08
Kızdırma Kaybı	11.80	7.00

5.1.2 Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

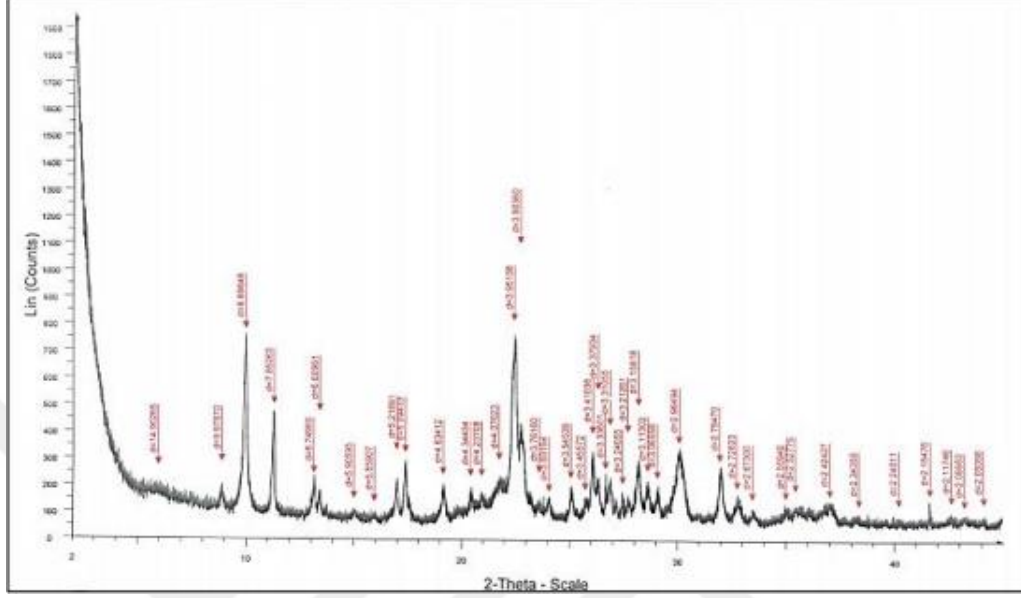
Klinoptilolit numunesi ile ilgili numunenin temin edildiği Gördes Zeolit Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen raporda numunenin XRD (X- Işınları Difraksiyon) analizi ile belirlenen mineralojik bileşim sonucundan hareketle numunenin zeolit endüstriyel hammaddesi özelliğinde olduğu anlaşılmaktadır. Klinoptilolit örneğinin XRD analizi neticesinde tespit edilen modal mineralojik bileşimi Çizelge 5.3'de verilmektedir.

Çizelge 5.3 Klinoptilolit (Gördes) mineralojik bileşimi

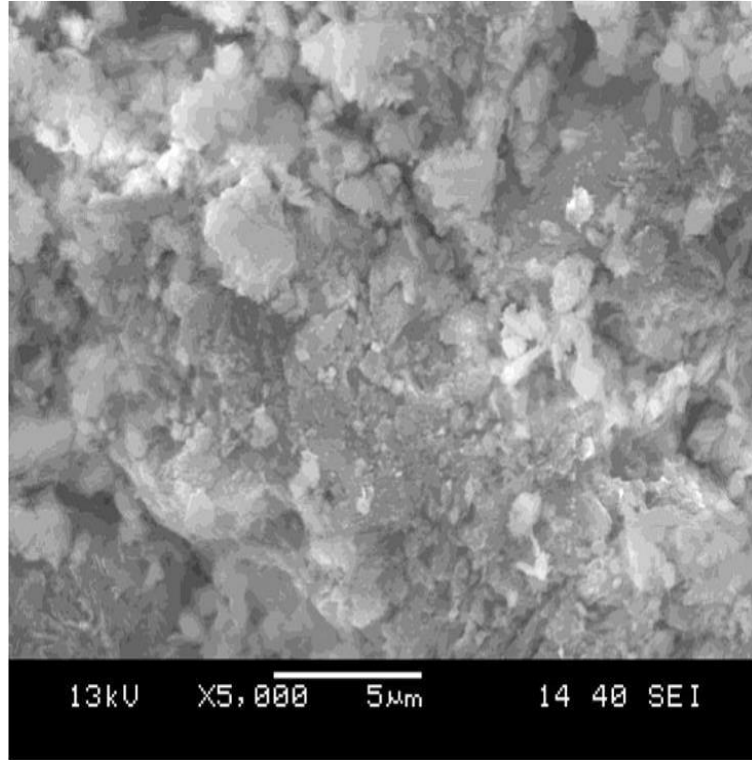
%	İçerik	Mineral Grubu
80-85	Klinoptilolit (Zeolit Grup Minerali)	Zeolit
10-15	Opal/Kristobalit/Tridimit	Silikat/Silis
<5	İllit-Mika	Silikat/Kil/Mika
<2	Na ve K-Feldspat	Silikat/Feldspat
<2	Kuvars	Silikat/Silis

Numunenin büyük çoğunluğu zeolit grubu minerallerinden höylandit – klinoptilolit ihtiva etmektedir. Numunedeki klinoptilolit oranı %80-85 aralığındadır. Silis grubu minerallerinden Opal/Kristobalit/Tridimit örneğine %10-15 oranında rastlanılmıştır. Klinoptilolite oranla çok daha düşük oranlarda (%2-5) illit mika, kuvars ve feldspat içerdiği görülmüştür (Çizelge 5.3). İçeriği araştırılan klinoptilolit numunesinin literatürdeki genel kullanım koşullarını sağladığı tespit edilmiştir. Numuneye ait X ışınları difraktometresi analizi Şekil 5.1'de yer almaktadır. Taramalı elektron

mikroskobu ile Klinoptilolit örneğinin incelenmesi neticesinde elde edilen SEM görüntüleri Gördes Zeolit firması tarafından yapılan analiz sonuçlarından bulunmuştur (Şekil 5.2).



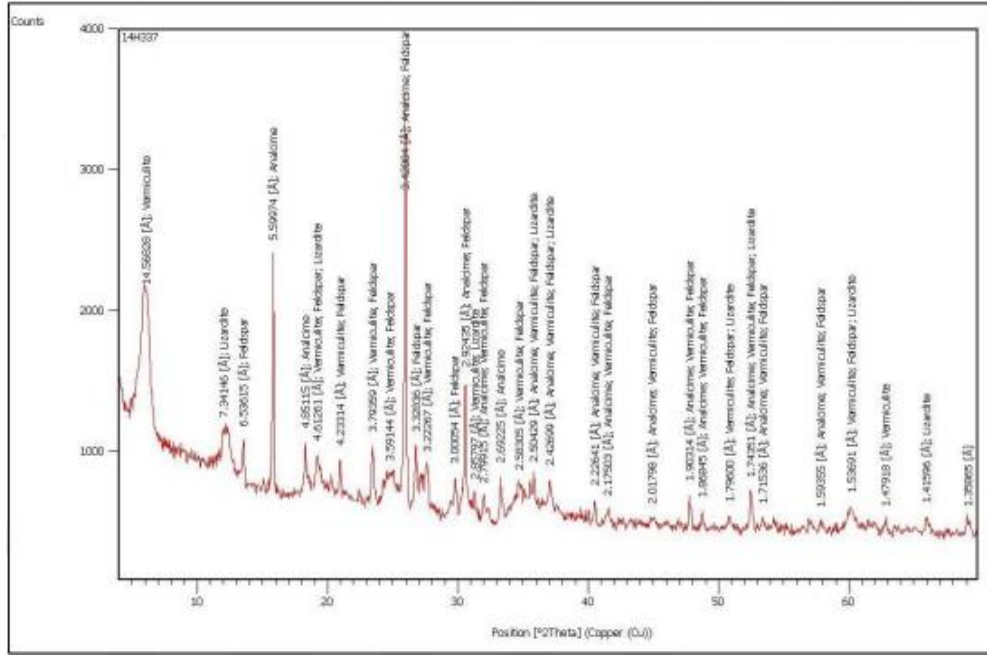
Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan klinoptilolit örneğinin XRD kırınım desenleri



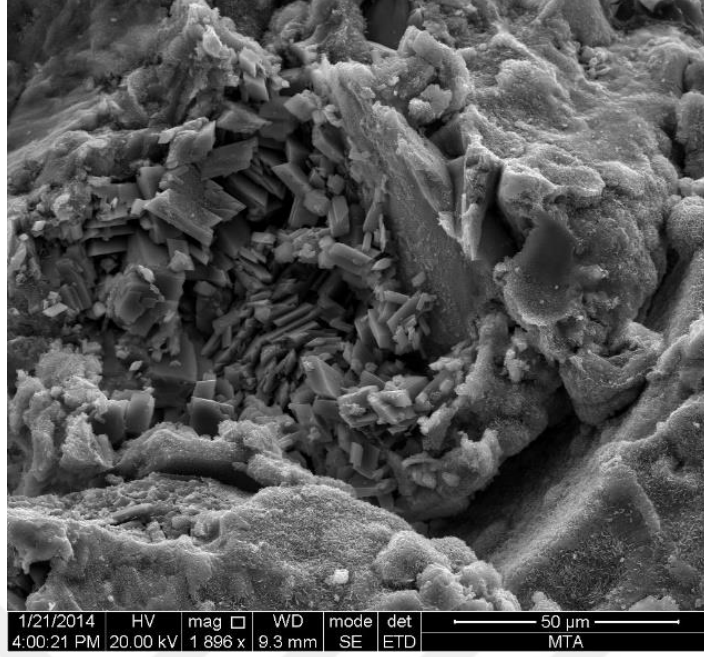
Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan klinoptilolit numunesinin SEM görüntüsü

Analsim zeolitinin alındığı kayaca esas mineralojik karakteristik özellikler KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında tayin edilmiştir. Deneyler sonucunda analsim bileşiminin cam kıymıkları nevinden kristal içerikten oluşan vitrik tüf halinde olduğu, altere olmuş zeolit ve klorit formatında bulunduğu gözlemlenmiştir. Analsim içeriğinde ojit/piroksen ve eser miktarda biyotit görülmüş, kripton, ksilen ve silis parçacıklarına rastlanılmıştır. Ayrıca numunelerin yapısında %5'ten daha az oranda opak mineraller yer almakta iken ihmal edilebilir seviyede karbonatlaşma silisleşme belirtileri görülmüştür. İncelemeye esas analsim numunesinin klinoptilolit numunesinde olduğu gibi literatürdeki genel kullanım koşullarını sağladığı tespit edilmiştir.

Numuneye ait X ışınları difraktometresi analizi Şekil 5.3'de yer almaktadır. Taramalı elektron mikroskobu ile analsim örneğinin incelenmesi neticesinde elde edilen SEM görüntüleri MTA Genel Müdürlüğü, Mineraloji ve Petrografi Laboratuvarından danışmanlık hizmet alımı yolu ile sağlanmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Çalışmada kullanılan analsim numunesinin XRD kırınım desenleri



Şekil 5.4 Çalışmada kullanılan analsim numunesinin SEM görüntüsü

5.1.3 Puzolanik Aktivite

TS 25 standardında doğal puzolanların uygunluk şartları belirlenirken numunelerin puzolanik aktivite deneyine tabi tutulduğunda kireç-doğal puzolan karışımlarından oluşan örneklerin 7 günlük basınç dayanım değerleri dikkate alınmıştır. Minimum 4 MPa değerinin sağlanması ön koşulu aranmakla birlikte yapılan deneysel çalışma neticesinde klinoptilolit için 9.02 MPa, analsim için 6.30 MPa değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Buna ek olarak standartta belirtilen bir diğer özellik ise numunedeki SiO_2 , Al_2O_3 , ve Fe_2O_3 bileşenlerinin kütlece toplamının minimum %70 oranını sağlamasıdır. Yine deney sonuçlarına göre de bu değerlerin klinoptilolit için %77.30, analsim için ise %73.16 olduğu saptanmıştır. Bu bilgiler neticesinde bu çalışma kapsamında kullanılacak analsim ve klinoptilolit numunelerinin puzolanik aktivitesinin yüksek olduğu ve puzolan olarak kullanılabilirliğinin müspet olduğu görülmüştür. Yine standardına göre, puzolanların özgül yüzey alanları $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 'dan daha büyük olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan puzolanların özgül yüzey alanları klinoptilolit için $4079 \text{ cm}^2/\text{g}$, analsim için $4780 \text{ cm}^2/\text{g}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Puzolanik aktivite deneylerinde doğal zeolitlerin özgül yüzey alanları portland çimentosu inceliğinin altında olduğu için, puzolan ve söndürülmüş kireç arasındaki

reaksiyon artmıştır. Bu durum puzolanik aktivitenin değerinin artışına neden olduğu düşünülmektedir. Bu değerler, çalışmada kullanılan zeolitlerin puzolan olarak kullanılabilirlik potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.4 Doğal zeolitlerin puzolanik aktivite değerleri (Yazıcıoğlu, 2016)

Puzolanik Aktivite Değerleri		
TS 25 limit değerleri	Klinoptilolit	Analsim
Kireç-puzolan karışımı 7 günlük bas. day.> 4MPa	9.02MPa	6.30MPa
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ ağırlıkça>%70	%77.30	%73.16
Özgül yüzey alanı> 3000cm ² /g	4079 cm ² /g	4780 cm ² /g

5.2. Agregada Deneyleeri

5.2.1. Agreganın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Tez çalışmasındaki beton numunelerin üretimlerinde, Giresun ili, Tirebolu ilçesinden temin edilen ve TS 706 EN 12620+A1:2009'a uygun, 0/8 mm aralığında tane büyüklüğüne sahip doğal beton agregası kullanılmıştır. Agregalar, Ordu ilindeki Altaş Hazır Beton santralinden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan agregalar %2.22 su emme oranına, 2.60 g/cm³ tane yoğunluğuna ve 1.39 g/cm³ yığın yoğunluğuna sahiptir. Agregaların temin edildiği firma tarafından gönderilen performans beyanında numunenin gözenekli, kristalize özellikte olduğu beyan edilmiştir.

Agregalar alkali silika reaktifliği %0.105, klorür içeriği %0.0034 ve toplam kükürt içeriği %0.00122 olup %0.09 kil topraklarına sahiptir. Numunelerin hafif madde oranı ise %0.30 olarak beyan edilmiştir.

5.2.2 Agreganın Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Yine agregalara ait performans beyanında, agreganın alterasyona maruz kaldığı, albitleşme, zeolitleşme, kalsitleşme ile birlikte çok az killeşme özellikleri gösterdiği belirtilmiştir. Agregada, izomorf bir özellik sergileyen plajiyoklas birincil mineral grubu olarak bünyesinde yer almakta, ferromagnezyen mineral de bulundurmaktadır. Kimyasal olarak nötüre çok yakın bazik özellik sergilenmekte olup %13 mertebesinde ayırık kristal yapıya rastlanmıştır. Ayrıca %19 oranında alterasyona

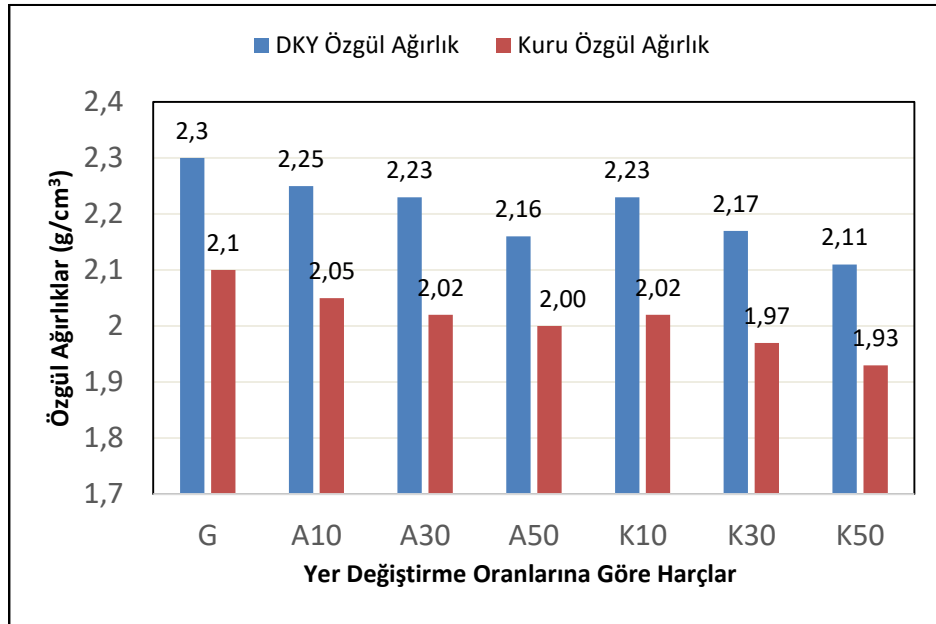
uğramış bazik kayaç örnekleri bulunmaktadır. Agreganın petrografik tanımı kuvars olarak anılmaktadır.

5.3 Çimento Harç Numunelerinin Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

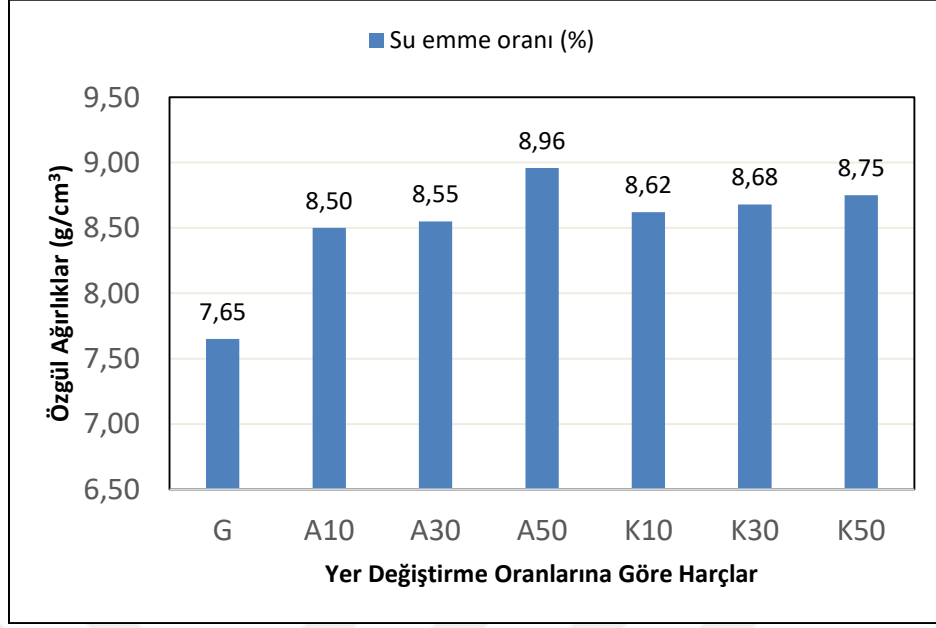
Deneysel çalışmalarda ağırlıkça %0, %10, %30 ve %50 miktarlarda doğal zeolit içeren klinker yer değiştirmeli olarak kullanılan çimento harçlarının doygun kuru yüzeyli (DKY) ve kuru özgül ağırlıkları ile su emme oranları Çizelge 5.5’de verilmiştir. Çimento harçlarına göre özgül ağırlık ve su emme oranı değişim grafikleri Şekil 5.5 ve 5.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.5 Çimento harçlarının özgül ağırlık ve su emme oranları

Çimento Harçları	Özgül Ağırlıkları (g/cm ³) (28 Günlük)		Su Emme Oranı (%)
	DKY	Kuru	
G	2.30	2.10	7.65
A10	2.25	2.05	8.50
A30	2.23	2.02	8.55
A50	2.16	2.00	8.96
K10	2.23	2.02	8.62
K30	2.17	1.97	8.68
K50	2.11	1.93	8.75



Şekil 5.5 Harç numunelerinin DKY ve kuru özgül ağırlıkları



Şekil 5.6 Harç numunelerinin su emme oranları

Çizelge 5.5’de verilen çimento harçlarının özgül ağırlıkları incelendiğinde, analsim ve klinoptilolit numunelerinde yer değiştirme oranlarına göre benzer bir değişim karakteristiği görülmektedir.

Geleneksel çimento harçları ile analsim yer değiştirmeli harçların (G, A10, A30, A50) DKY özgül ağırlıkları sırasıyla %2.22, %3.04, %6.08 ve kuru özgül ağırlıkları %2.38, %3.80, %4.76 azalmıştır.

Geleneksel çimento harçları ile klinoptilolit yer değiştirmeli harçların (G, K10, K30, K50) DKY özgül ağırlıkları sırasıyla %3.14, %5.99, %9.01 ve kuru özgül ağırlıkları %3.96, %6.59, %8.80 azalmıştır.

Geleneksel çimento harçları ile analsim yer değiştirmeli harçların (G, A10, A30, A50) su emme oranları sırasıyla %10, %10.5, %14.6 artmıştır.

Geleneksel çimento harçları ile klinoptilolit yer değiştirmeli harçların (G, K10, K30, K50) su emme oranları sırasıyla %11.2, %11.8, %12.6 artmıştır.

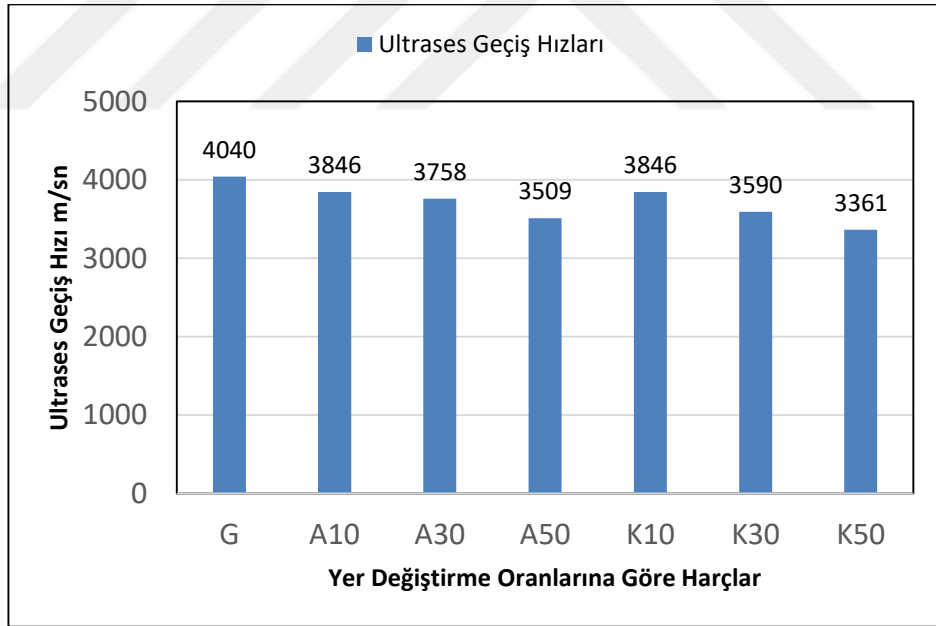
Yukarıdaki çizelge ve grafikler dikkate alındığında, her iki doğal zeolit için yer değiştirme miktarları arttığında harçların özgül ağırlıklarının azaldığı, su emme oranlarının ise arttığı görülmektedir.

5.4 Ultrases Geçiş Hızı

Deneysel çalışmalarda ağırlıkça %0, %10, %30 ve %50 miktarlarda doğal zeolit içeren klinker yer değiştirmeli olarak kullanılan imento harçlarının ultrases geçiş hızları izelge 5.6’de verilmiştir. Çimento harçlarına göre ultrases geçiş hızı değişim grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.6 imento harçlarının ultrases geçiş hızları

Çimento Harçları	Ultrases Geçiş Hızı (m/sn)
G	4040
A10	3846
A30	3758
A50	3509
K10	3846
K30	3590
K50	3361



Şekil 5.7 Harç numunelerinin ultrases geçiş hızı

Şekil 5.7’ye göre hem analsim hem de klinoptilolit miktarı arttıca harç numunelerinde geçiş hızının azaldığı görülmektedir. Ses geçiş hızı doğal zeolit içermeyen “G” geleneksel numunesinde en yüksektir. Genel olarak aynı zeolit yer değiştirme oranlı numuneler arasında klinoptilolit numunelerinde ses geçiş hızı

analsim numunelerine göre daha düşük seyretmiştir. Ultrases geçiş hızının yüksek olduğu numunede boşluk miktarının daha az olduğu anlamına gelmektedir.

Geleneksel çimento harçları ile analsim yer değiştirmeli harçların (G, A10, A30, A50) ultrases geçiş hızları sırasıyla %4.80, %6.98, %13.14 azalmıştır.

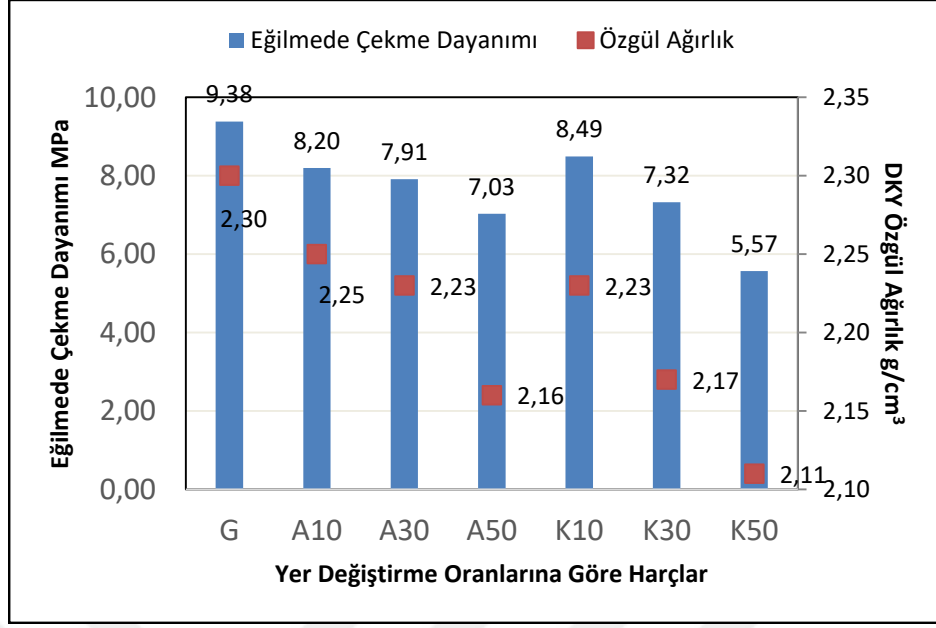
Geleneksel çimento harçları ile klinoptilolit yer değiştirmeli harçların (G, K10, K30, K50) ultrases geçiş hızları sırasıyla %4.80, %11.13, %16.80 azalmıştır.

5.5 Çimento Harç Numunelerin Eğilmede Çekme ve Sonrası Basınç Dayanımları

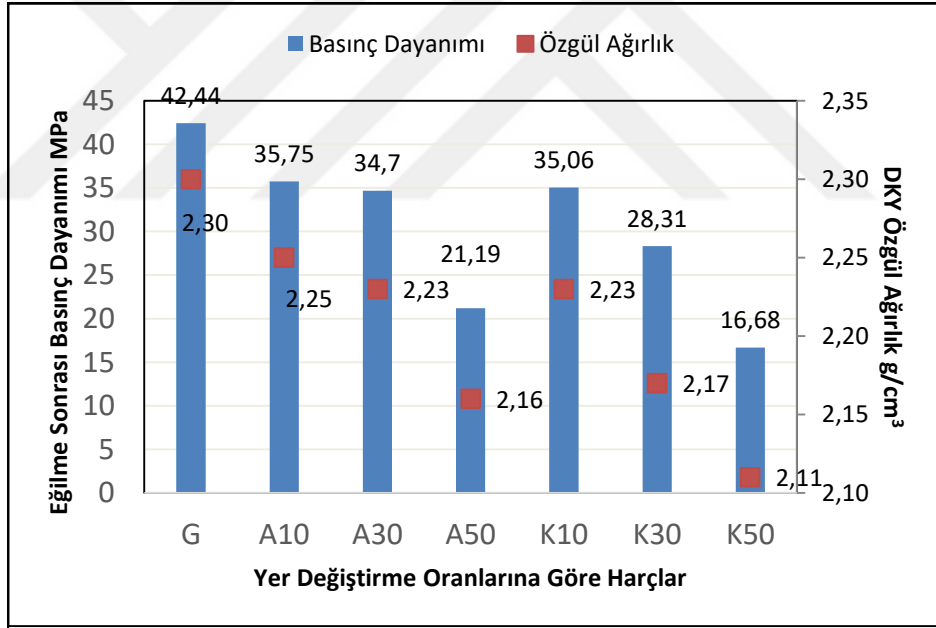
Çimento harç numunelerinin eğilmede çekme ve sonrası basınç dayanımları ile özgül ağırlıkları Çizelge 5.7’de, değişim grafikleri ise Şekil 5.8 ve 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.7 Çimento harçlarının eğilmede çekme ve sonrası basınç dayanımları

Çimento Harçları	Özgül Ağırlıklar (DKY) (g/cm³)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa) (28 Günlük)	Basınç Dayanımları (MPa) (28 Günlük)
G	2.30	9.38	42.44
A10	2.25	8.20	35.75
A30	2.23	7.91	34.87
A50	2.16	7.03	21.19
K10	2.23	8.07	35.06
K30	2.17	7.32	28.31
K50	2.11	5.57	16.68



Şekil 5.8 Harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımları-özgül ağırlığı



Şekil 5.9 Harç numunelerinin eğilme sonrası basınç dayanımları-özgül ağırlığı

Geleneksel çimento harcı olarak çalışmada yer alan doğal zeolit içermeyen “G” numunesinin eğilmede çekme ve sonrası basınç dayanım değerleri doğal zeolit içeren numunelere göre daha yüksektir.

Geleneksel çimento harçları ile analimsiz yer değiştirmeli harçların (G, A10, A30, A50) eğilmede çekme dayanımları sırasıyla %14.39, %18.58, %33.42; eğilme sonrası basınç dayanımları %18.71, %21.71, %102.28 azalmıştır.

Geleneksel çimento harçları ile klinoptilolit yer değiştirmeli harçların (G, K10, K30, K50) eğilmede çekme dayanımları sırasıyla %16.23, %28.14, %68.40; eğilme sonrası basınç dayanımları %21.05, %49.91, %154.43 azalmıştır.

Yukarıdaki eğilmede çekme ve sonrası basınç dayanımı grafikleri benzer yönde eğilim göstermiştir. Eğilmede çekme ve sonrası basınç dayanımları, özgül ağırlıklarla karşılaştırıldığında aynı değişim karakteristiğinde ve birbirini doğrular niteliktedir.

5.6 Doğal Zeolitlerin Isıl İletkenlik ve Özgül Isı Değerleri

Doğal zeolitlerin (analsim ve klinoptilolit) kayaç formundan elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda bulunan ısı iletkenlik, özgül ısı değerleri, özgül ağırlık ve ısı yayılım katsayısı değerleri Çizelge 5.8’da verilmektedir.

Çizelge 5.8 Doğal zeolitlerin termal özellikleri

Doğal Zeolitler	Öz. Ağ. (ρ) (kg/m ³)	Isıl İlet. (k)(W/mK)	Özgül Isı (C _p) (J/kg.K)	Isı Kap.C*10 ⁻⁶ (J/m ³ .K)	Isıl Yay. Kats. (α) (10 ⁻⁶ m ² /s)
Analsim	2280	1.13	771.93	1.76	0.64
Klinoptilolit	2110	0.61	777.25	1.64	0.36

Analsimin ısı kapasitesi, ısı yayılım katsayısı (α) ve ısı iletkenlik (k) değerleri klinoptilolite göre sırasıyla %7.3, %77.0 ve %85.2 daha fazladır. Ayrıca, her iki kayacın özgül ısı değerleri (c_p) ise hemen hemen aynıdır.

5.7 Çimento Harç ve Beton Numunelerin Isıl İletkenlik ve Özgül Isı Değerleri

Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında ISOMET 2104 cihazıyla TS EN ISO 8990, ISO 6946 standardına uygun olarak gerçekleştirilen ısı iletkenlik deneyleri farklı oranlarda klinoptilolit ve analsim yer yer değiştirmeli numuneler ile yer değiştirmesiz geleneksel harç/beton numuneleri üzerinde uygulanmıştır. Bu deneyler sonucunda Çizelge 5.9 ve 5.10’de yer alan ısı iletkenlik ve ısı kapasite değerleri tespit edilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak da ısı kapasitesi ve ısı yayılım değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9 Harç numunelerin termal özellikleri

Harç Numuneleri	Öz. Ağ. (ρ) (kg/m ³)	Isıl İlet. (k)(W/mK)	Özgül Isı (C _p) (J/kg.K)	Isı Kap.C*10 ⁻⁶ (J/m ³ .K)	Isıl Yay. Kats. (α) (10 ⁻⁶ m ² /s)
G	2300	2.47	730.43	1.68	1.47
A10	2250	2.90	720.00	1.62	1.79
A30	2230	2.57	708.52	1.58	1.63
A50	2160	2.46	703.70	1.52	1.62
K10	2230	2.82	865.47	1.93	1.46
K30	2170	2.48	811.06	1.76	1.41
K50	2110	2.31	815.17	1.72	1.34

Harç numuneler için ısı iletkenlik (k) değeri, analsim yer değiştirmeli numunelerde klinoptilolit yer değiştirmeli numunelere göre daha yüksek çıkmakla birlikte geleneksel harç numunesi yalnızca %50 yer değiştirmeli analsim ve klinoptilolit numunesinden yüksek ısı iletkenlik değeri sahtir. Isıl iletkenlik (k) değeri zeolit yer değiştirme oranı artıkça azalmaktadır. Harç numunelerde özgül ısı (c_p) değerleri klinoptilolit numunelerinde analsim numunelerine oranla daha yüksek çıkmaktadır. Geleneksel harç numunesinin “c_p” değerinin klinoptilolit yer değiştirmeli numunelerin tamamından az olduğu, analsim yer değiştirmeli numunelerin tamamından ise fazla olduğu gözlenmiştir (Çizelge 5.9).

Özetle; harç numunelerde her iki zeolit için de yer değiştirme miktarı artıkça ısı iletkenlik, özgül ısı, ısı kapasitesi ve ısı yayınım katsayısı değerleri azalmıştır. Analsim yer değiştirmeli harç numunelerin ısı iletkenlik ve ısı yayınım katsayısı değerleri, klinoptilolit yer değiştirmeli numunelere göre yüksek; özgül ısı ve ısı kapasitesi değerleri ise düşüktür.

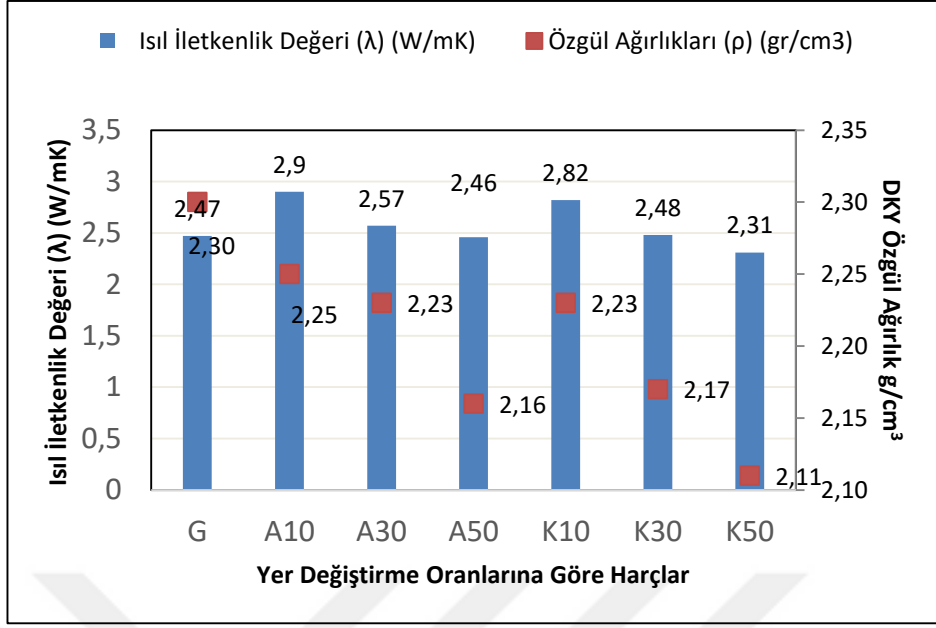
Çizelge 5.10 Beton numunelerin termal özellikleri

Beton Numuneleri	Öz. Ağ. (ρ) (kg/m^3)	Isıl İlet. (k) (W/mK)	Özgül Isı (C_p) (J/kg.K)	Isı Kap. $C*10^{-6}$ ($\text{J/m}^3.\text{K}$)	Isıl Yay. Kats. (α) ($10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)
G	2440	2.02	745.90	1.82	1.10
A10	2400	2.01	683.33	1.64	1.22
A30	2300	1.97	765.22	1.76	1.12
A50	2210	1.53	642.53	1.42	1.07
K10	2420	2.22	694.21	1.68	1.32
K30	2350	2.28	723.40	1.70	1.34
K50	2310	2.13	709.96	1.64	1.30

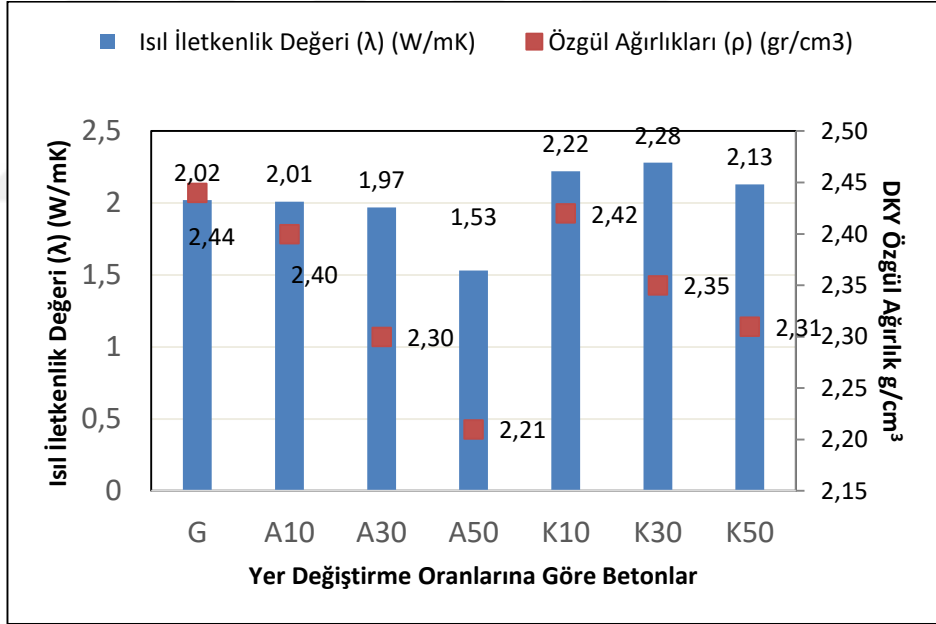
Beton numuneler için ısıl iletkenlik (k) değerleri genel olarak doğal zeolit yer değiştirmesi arttıkça azalmakta ve en yüksek değerleri klinoptilolit yer değiştirmeli numunelerde sağlamaktadır. Ayrıca analsim yer değiştirmeli numunelerin tamamının ısıl iletkenlik (k) değerleri yönünden geleneksel beton numunesinden düşük kaldıkları görülmüştür. Beton numunelerde özgül ısı (c_p) değerleri bakımından geleneksel beton numune en yüksek değeri sağlamakta, doğal zeolit katkılı numuneler birbirine yakın değerler vermesine karşın her iki yer değiştirme grubunda da en yüksek değerler %30 yer değiştirmeli numunelerde görülmüştür (Çizelge 5.10).

Şekil 5.9 ve 5.10'da görüldüğü üzere doğal zeolit yer değiştirmeli harç ve beton numunelerinde, numunenin özgül ağırlığı ile ısıl iletkenlik değeri arasında lineer artış eğilimi bulunmaktadır. Numune, içeriğindeki zeolit yer değiştirme oranı ve çeşidine bağlı olarak yoğunlaştıkça, ısıl iletkenlik değeri de artmaktadır.

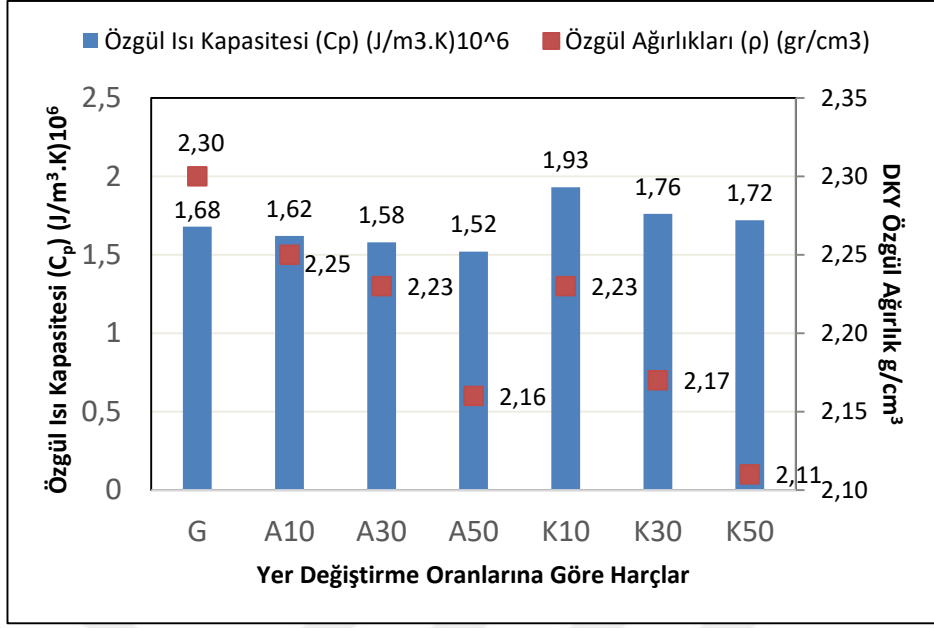
Özetle; harç numunelerde görülen düzenli değişim eğilimleri beton numuneler için gözlenememiştir. Beton numunelerin harç numunelere göre daha heterojen (agrega fazından dolayı) bir yapıya sahip olması bu durumun sebebi olarak gösterilebilir.



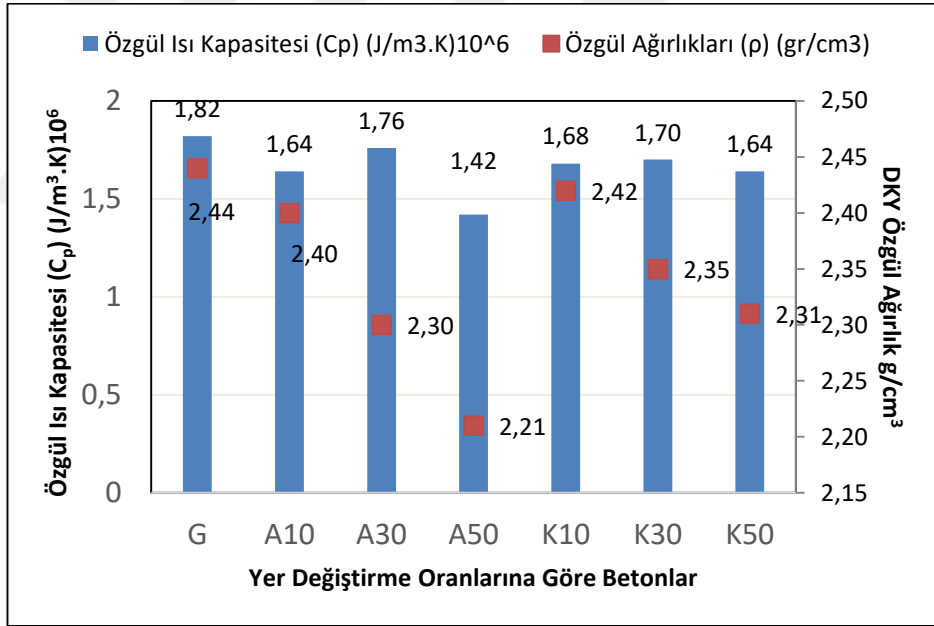
Şekil 5.10 Harç numunelerinin ısı iletkenlik-özgül ağırlığı



Şekil 5.11 Beton numunelerinin ısı iletkenlik-özgül ağırlığı



Şekil 5.12 Harç numunelerinin özgül ısı ve özgül ağırlık değerleri



Şekil 5.13 Beton numunelerinin özgül ısı ve özgül ağırlık değerleri

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin yapılarda depo edilip uygun zamanda kullanılabilmesi amacıyla yapı malzemelerinin termal kabiliyetleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Olumlu termal özellikler gösteren katkıların katkılı çimento üretimlerinde kullanımına dair literatürde pek çok çalışma mevcuttur. Zeolit minerali içeren kayaçlar, ısı depolama kabiliyetlerinin ve puzolanik aktivitesinin yüksek olması, düşük enerji ile öğütülebilirliği, doğal ve yerel oluşu, rezerv durumu gibi olumlu özelliklere sahiptir. Bunun yanı sıra, belli oranlarda zeolit içeren harç ve beton numunelerin dayanım ve dayanıklılıklarının iyileştiği bilinmektedir. Bu noktadan hareketle iki farklı doğal zeolit (analsim ve klinoptilolit) türü içeren katkılı çimentolar kullanılarak üretilen harç ve beton numunelerin ısı depolama kabiliyetleri bu çalışmada analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bazı sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

1. Çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin özgül ağırlıkları portland çimentosuna göre daha düşüktür. Ancak, doğal zeolitlerin blaine incelikleri portland çimentosuna göre daha yüksektir.
2. Doğal zeolitlerin TS 25'e göre belirlenen puzolanik aktiviteleri (dayanım aktivite indeksleri) analsim için 6.30 MPa, klinoptilolit için ise 9.02 MPa olarak belirlenmiştir. Buna göre, çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin puzolan olarak kullanılabilirlikleri standardın uygunluk kriterlerini sağlamaktadır.
3. Deneysel çalışmalarda ağırlıkça %0, %10, %30 ve %50 miktarlarda doğal zeolit içeren klinker yer değiştirmeli olarak kullanılan çimento harçlarında her iki doğal zeolit için yer değiştirme miktarları arttığında, harçların özgül ağırlıklarının azaldığı, su emme oranlarının ise arttığı görülmektedir.
4. Harç numunelerinde, her iki doğal zeolit için yer değiştirme miktarları arttığında ultrases geçiş hızlarının azaldığı görülmektedir.

5. Harç numunelerinde, her iki doğal zeolit için yer değiştirme miktarları arttığında eğilimde çekme ve sonrası basınç dayanımları azalmaktadır. Harç numunelerin özgül ağırlıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırmada da hem özgül ağırlık hem de dayanımlar aynı değişim karakteristiğinde ve birbirini doğrular nitelikte azalmaktadır. Bu azalma %30 yer değiştirme oranına kadar kabul edilebilir seviyededir.
6. Analsim kayacının ısı kapasitesi, ısı yayılım katsayısı (α) ve ısı iletkenlik (k) değerleri klinoptilolit kayacına göre daha fazladır. Ayrıca, her iki kayacın özgül ısı değerleri (c_p) ise hemen hemen aynıdır.
7. Harç numunelerde her iki zeolit için de yer değiştirme miktarı arttıkça ısı iletkenlik, özgül ısı, ısı kapasitesi ve ısı yayılım katsayısı değerleri azalmıştır. Analsim yer değiştirmeli harç numunelerin ısı iletkenlik ve ısı yayılım katsayısı değerleri, klinoptilolit yer değiştirmeli numunelere göre yüksek; özgül ısı ve ısı kapasitesi değerleri ise düşüktür. Doğal zeolitlerden klinoptilolit içeren harç numunelerin ısı depolama kabiliyeti analsim içeren numunelere göre bir miktar daha iyi olmakla birlikte, en yüksek özgül ısı değeri K10 deney serisi numunelerinde gözlenmiştir. Bunun yanı sıra analsim içeren harç numunelerinin özgül ısı değerleri geleneksel numunelere göre önemsenmeyecek ölçüde daha düşüktür.
8. Harç numunelerde görülen düzenli değişim eğilimleri beton numuneler için gözlenememiştir. Beton numunelerin harç numunelere göre daha heterojen (agrega fazından dolayı) bir yapıya sahip olması bu durumun sebebi olarak gösterilebilir.
9. Burada yukarıda saptanan sonuçların çalışmada kullanılan doğal zeolitler ve bu deneysel çalışma şartlarında geçerli olduğunu belirtmekte fayda vardır. Farklı bölgelerden elde edilecek olan zeolit türleri üzerinde daha çok çalışmanın gerçekleştirilmesi gerektiği açıktır.
10. Bilindiği gibi harç ve betonların, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinden taviz vermeden ısı depolama kabiliyetlerini iyileştirmek için tasarım bileşenlerinin performanslarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki sonuçlara göre katkılı çimento üretimlerinde zeolit alternatif bir katkı malzemesi olabileceği (ısı depolama kabiliyetinden ötürü) düşünülmektedir.

11. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, bu tez çalışmasındaki parametreler dikkate alınarak, zeolitik tüflerden klinoptilolitin katkı çimento üretimlerinde kullanılmasıyla sağlanan üstünlüklerin analsim ile de sağlanabileceği görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Ahmadi, B., & Shekarchi M. (2010). Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*, 32, 134-141.
- Akgün, Y., (2017). Determination of pozzolanic activity for using natural zeolite analcime in sustainability additive cement products. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(2), 187-193.
- Akgün, Y. & Yazıcıoğlu Ö. F. (2017). Analsimin puzolanik aktivitesi ve priz sürelerinin belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 135-147.
- Alberti, A., & Vezzalini, G. (1984). Topological changes in dehydrated zeolites: Breaking of T-O-T bridges. *In Proc Sixth Int'l Zeolite Conf, Reno, Nevada, 1983*. D Olson, A Bisio (eds) Butterworths, Guildford, UK, 834-841
- Albayrak, M., Yörükoğlu, A., Karahan, S., Atlıhan, S., Aruntaş, Y. H., & Girgin, I., (2007). Influence of zeolite additive on properties of autoclaved aerated concrete. *Buildind and Environment*, 42(9), 3161-3165.
- Anonim, (1976). Testing of ceramic materials; determination of thermal conductivity up to 1600 °C according to the hot wire method, thermal conductivity up to 2 W × K⁻¹ × m⁻¹. Deutsches Institut für Normung (DIN), Yayın No: DIN 51046, Berlin.
- Anonim, (1979). Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi(Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu ile). Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 3285, Ankara.
- Anonim, (1985). Testing aggregates. Methods for determination of particle shape. Flakiness index. British Standards Institution (BSI), Yayın No: BS 812, Part 105-1, London.
- Anonim, (1992). Çimento Portland Çimentoları. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 19-22, Ankara.
- Anonim, (1994). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. American Society for Testing and Materials (ASTM), Yayın No: ASTM C 618, Philadelphia.
- Anonim, (1998). Beton deney numunelerinin basınç dayanımı tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 3114 ISO 4012, Ankara.

- Anonim, (1998). Standard test method for pulse velocity through concrete. American Society for Testing and Materials (ASTM), Yayın No: ASTM C 597, Philadelphia.
- Anonim, (1999). Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 1097-3, Ankara.
- Anonim, (2002). Beton-sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 12390-5, Ankara.
- Anonim, (2002). Isı yalıtımı- Kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini- Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN ISO 6990, Ankara.
- Anonim, (2004). Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete. American Society for Testing and Materials (ASTM), Yayın No: ASTM C 40-04, Philadelphia.
- Anonim, (2006). Refrakter ürünler-Yoğun ve şekillendirilmiş-Deney metotları- Bölüm 15: Kızgın tel (paralel) metodu ile termal iletkenlik tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 993-15, Ankara.
- Anonim, (2008). Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 25, Ankara.
- Anonim, (2009). Agregaların ısıl ve bozunma özelliklerini tayin için deneyler - bölüm 1: Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 1367-1, Ankara.
- Anonim, (2009). Beton agregaları. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 706 EN 12620+A1, Ankara.
- Anonim, (2009). Beton karışım hesap esasları. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 802, Ankara.
- Anonim, (2009). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 196-1, Ankara.
- Anonim, (2009). Tabii yapı taşları-Muayene ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 699, Ankara.
- Anonim, (2010). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 1097-2, Ankara.

- Anonim, (2011). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro-Deval). Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 1097-1:2011, Ankara.
- Anonim, (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - Eleme metodu. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS 3530 EN 933-1, Ankara.
- Anonim, (2012). Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 197-1, Ankara.
- Anonim, (2013). Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Kimyasal analiz. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 1744-1+A1, Ankara.
- Anonim, (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 1097-6, Ankara.
- Anonim, (2013). Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN 934-2+A1, Ankara.
- Anonim, (2017). Yapı bileşenleri ve yapı elemanları - Isıl direnç ve ısı geçirgenlik - Hesaplama yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Yayın No: TS EN ISO 6946, Ankara.
- Barrer, R. M. (1978). Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. London and New York Academic Press, London, England, 497pp.
- Başpınar Tuncay, E., Yağmurlu, F., Ceylan, H. (2015). Karaöz (Antalya-Türkiye) civarındaki dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 5(1), 48-57.
- Başığit, C. (2010). The effect of zeolit rate on the thermo-mechanical properties of concrete. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(7), 968-971.
- Bilgin, Ö. (2014). Natural zeolite minerals as storage of energy. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(2), 741-744.
- Bilim, C. (2011). Çimento harçlarında ikame malzemesi olarak zeolit ve silis dumanı kullanılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 339-345.
- Bulut Ü., & Tanaçan L. (2009). Perlitin puzolanik aktivitesi. *İTÜ Dergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 8(1), 81-89.

- Ceylan İ., Zuhur S., & Gürel A. E. (2017). Isı depolama yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, Kasım-Aralık Sayısı, 38-47.
- Chan, S. Y. N., & Ji, X. (1999). Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes. *Cement & Concrete Composites*, 21, 293-300.
- Çengel, Y. (2011). Isı ve kütle transferi. Güven Yayınevi, İzmir, 878s.
- Danacı, H.M., & Gültekin, R.E. (2009). Yapılaşmada güneş enerjisi kullanımı ve estetik çözüm örnekleri. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Haziran, Diyarbakır.
- Dayı M., Aruntaş H.Y., Çavuş M., & Şimşek O. (2013). Zeolit, Uçucu Kül Ve Atık Cam Malzemelerin Portland Kompoze Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28(3) 491-499.
- Demircan, R. K., & Gültekin, A. B. (2015). Binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelenmesi. 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu, 28-30 Mayıs, Ankara.
- Devecioğlu, A. G., Biçer, Y. (2012). Genleştirilmiş kil agregalı betonların ısı özelliklerinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3(2), 75-81.
- Dincer, I., & Rosen, M. (2002). Thermal energy storage: Systems and Applications. John Wiley & Sons, New York, USA, 237pp.
- Erdoğan Alver, B., Sakızcı M., & Yörükoğulları E. (2010). Investigation of clinoptilolite rich natural zeolites from Turkey a combined XRF TG DTG DTA and DSC study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 100(1), 19-26.
- Güngör, A. (1993). Binaların doğal ısıtma ve soğutulması için güneş enerjili pasif sistemlerin kullanımı. *TMMOB MMO Yayını*, Temmuz Sayısı, 20-25.
- Hauer, A. (2002). Thermal energy storage with zeolite for heating and cooling application. IEA, ECES IA Annex 17, Advanced Thermal Energy Storage Through Phase Change Materials and Chemical Reactions-Feasibility Studies and Demonstration Projects. 3rd Workshop, 1-2 October, Tokyo, Japan.
- Herrmann, U., & Kearny, D. W. (2002). Survey of thermal energy storage for parabolic trough power plants. *Journal of Solar Energy Engineering*, 124(2), 145-152.

- Johannes, K., Kuznik, F., Hubert, J. L., Durier, F., & Obrecht, C. (2015). Design and characterisation of a high powered energy dense zeolite thermal energy storage system for buildings. *Applied Energy*, 159(1), 80-86.
- Karakurt, C., & Topçu, I. B. (2011). Effect of blended cements produced with natural zeolite and industrial by-products on alkali-silica reaction and sulfate resistance of concrete. *Construction and Building Material*, 2011(25), 1789-1795.
- Kılınçarslan, Ş. (2007). Zeolit içeren betonların termomekanik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 262-267.
- Konuklu, Y., Ünal, M., & Paksoy, H. O. (2014). Microencapsulation of caprylic acid with different wall materials as phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 120, 536-542.
- Kurugöl S. (2017). Puzolanik aktivite tespit yöntemleri: Fiziksel metodlar. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 38(1), 21-39.
- Neville A. M. (1996). Properties of Concrete. Forth and Final Edition, John Wiley, G Sons. 56-80pp.
- Ok, V. (2007). Sağlıklı kentler için pasif iklimlendirme ve bina aerodinamiği. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim, İzmir.
- Oymael, S. (2010). Examinations of the internal structure of zeolite blended cements. *Trakya University Science Journal*, 11(1), 29-39.
- Öcal, R. (2014). Yüksek sıcaklığın doğal zeolit katkılı betonlar üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde.
- Özen, S., Öncüoğlu, M. C., Liguori, B., Gennaro, B., Cappelletti, P., Gatta, G. D., Iucolano, F., & Colella, C. (2016). A comprehensive evaluation of sedimentary zeolites from Turkey as pozzolanic addition of cement-and lime-based binders. *Construction and Building Materials*, 105, 46-61.
- Özkahraman, H. T., & Işık, E. C. (2003). Isparta kaynaklanmış tüflerinin kaplama taşı olarak kullanılmasının önemi ve uygun yapıştırma harcı Üretimi. IV. Mermer Sempozyumu, 18-19 Aralık, Afyon.
- Perakki, T., Kakali, G., & Kontoleon F. (2003). The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement. *Microporous and Mesoporous Materials*, 61, 205-212.
- Qiang, X., Jie, X., Lina, C., Chunjie, L., Deyi, W., Zhenjia, Z., & Hainan, K. (2013). A new sorbent that simultaneously sequesters multiple classes of pollutants

- from water: Surfactant modified zeolite. *Science Chine Technological Sciences*, 56(7), 1749-1757.
- Sallı Bideci Ö., Bideci A., & Oymael S. (2013). Zeolit katkılı çimento özelliklerinin incelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(3), 70-76.
- Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılar da kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Smith, J. V. (1963). Structural classification of zeolites. *Mineralogical Society of America Special Paper*, 1, 281-290.
- Snellings, R., Mertens, G., & Elsen, J. (2010). Calorimetric evolution of the early pozzolanic reaction of natural zeolites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101(1), 97-105.
- Soulayman, S., & Yunusova, S. A. (2008). Use of natural Syrian zeolitic tuff in solar thermal applications. *Bullet of PFUR Series Mathematics. Information Sciences. Physics*, 4, 104-108.
- Trník, A., Scheinherrová, L., Medved', I., & Černý R. (2015). Simultaneous DSC and TG analysis of high-performance concrete containing natural zeolite as a supplementary cementitious material. *Journal of Therm Anal Calorim*. 121(67), 67-73.
- Utkutuğ, G. (1999). Binayı oluşturan sistemler arası etkileşim ve ekip çalışmasının önemi. Mimar Tesisat Mühendisi İşbirliği IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 4-7 Kasım, İzmir.
- Uzal, B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu M.C., & Çulfaz, A. (2010). Pozzolanic activity of clinoptilolite: A comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan. *Cement and Concrete Research*, 40, 398-404.
- Ünalın S., & Özrahı E. (2014). The concrete columns as a sensible thermal energy storage medium and a heater. *Heat and Mass Transfer*, 50(8), 1037-1052.
- Vejmelkova, E., Konakova, D., Kuovana, T., Keppert, M., Zumar, J., Rovnanikova, P., Kersner, Z., Sedlmajer, M., & Cerny, R. (2015). Engineering properties of concrete containing natural zeolite as supplementary cementitious material: Strength, toughness, durability, and hygrothermal performance. *Cement & Concrete Composites*, 55, 259-267.
- Vejmelkova, E., Kulovana, T., Keppert, M., Ondracek, M., & Cerny, R. (2012). Natural zeolite as environmentally friendly supplementary cementitious material in concrete. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 165, 275-285.

- Vejmelkova, E., Kulovana, T., Ondracek, M., & Cerny, R. (2013). Application of natural zeolite as supplementary cementitious material in concrete production. Central Europe towards Sustainable Building 2013, Low-tech and high-tech materials and Technologies for sustainable buildings, 26th – 28th June, Prague, Czech Republic.
- Yazıcıoğlu, Ö. F. (2016). Çimento ve beton endüstrisinin sürdürülebilir üretimlerinde doğal zeolit (analsim)'in puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ordu.
- Yılmaz, M. Ö. (2005). Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Yılmazoğlu, M. Z. (2010). Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması. *Politeknik Dergi*, 13(1), 33-42
- Zhou, D., Zhao, Y., C., & Tian Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials in building applications. *Applied Energy*, 92, 593-605.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Talha YILMAZ
Doğum Yeri : Ordu
Doğum Tarihi : 25.08.1989
Yabancı Dili : İngilizce
E-mail : talha.yilmaz@hotmail.com
İletişim Bilgileri : 533 381 00 15

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/ Program	Üniversite	Yıl
Lisans	İnşaat Müh.	İstanbul Teknik Üniversitesi	2011

İş Deneyimi:

Görev	Görev Yeri	Yıl
İnşaat Mühendisi	TCDD Genel Müdürlüğü	2011
İnşaat Mühendisi	İller Bankası Genel Müdürlüğü	2011-2013
İnşaat Mühendisi	İller Bankası Samsun Bölge Müdürlüğü	2013-2014
İnşaat Mühendisi	OSKİ Genel Müdürlüğü	2014-2015
İnşaat Mühendisi	Ordu Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü	2015-...

Yayınlar :

1. Türkiye'nin Çevre Politikası Çerçevesinde Kentsel Altyapı Yatırımları, 11/2015
[Ulusal]