



T.C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANALSİM TAŞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ: YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ

UMUT ÇALIŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2019

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

**ANALSİM TAŞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ: YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ**

UMUT ÇALIŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORDU 2019

TEZ ONAY

Umur ÇALIŞ tarafından hazırlanan "ANALSİM TAŞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ: YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.12.2019 tarihinde yapılmış ve jüri tarafından oy birliği ile Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN

Jüri Üyeleri

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN
Yenilenebilir Enerji, Ordu Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER
Yenilenebilir Enerji, Ordu Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Mete AVCI
Makine Mühendisliği, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

İmza

Mithat Akgün
Mehmet Sami Güler
Mete Avci

27/12 / 2019 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 30/12/2019 tarih ve 2019 / 77.1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Selahattin Maden
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Selahattin MADEN

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.



UMUT ÇALIŞ

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 TAŞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ: YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ

UMUT ÇALIŞ

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 51 SAYFA

TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN

Karadeniz bölgesinin dağları volkanik tüf olup bu tüfler farklı yapıda taşlardan oluşmaktadır. Bu taşlar yapılarına göre farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bölgemizde yaygın olarak zeolitin bir türü olan analsim taşı bulunmaktadır. Analsim taşı geçmişten bugüne işlenme kolaylığı ve yüksek ısı depolama kapasitesinden dolayı sırasıyla, taş bina yapımında ve fırın içi taşı olarak kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, analsim taşı içerdiği gözenekli yapı nedeniyle fırın içi gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında yüksek termal gerilmeler nedeniyle çatlamalara neden olabilmektedir. Boşluk çapının artışıyla, ilgili çatlamlar yüksek düzeyli gaz genişlemeleriyle desteklenerek patlamaya dönüşmektedir. Bu durum, fırın kullanım ömrü kısaltmakta ve bakım onarım maliyeti artmaktadır.

Bu çalışmada, Karadeniz bölgesinde doğal halde bulunan analsim taşının farklı tane boyutlu formlarına ait mekanik ve ısı özellikleri deneysel olarak incelenecektir. Ulaşılabilecek çıktılar üzerinden, farklı kullanım sıcaklıkları için optimum tane boyutları tanımlanarak analsim taşı bireysel ve endüstriyel kullanıma kazandırılacaktır. Bu amaçla, bağlayıcı malzeme ile harç yapılmış faklı tane boyutlu (1mm, 2mm ve 4 mm) numuneler üç farklı ısıtma sıcaklığında test edilmiştir. Deneysel sonuçlar yoğunluk, kırılma dayanımı, eğilme dayanımı, kırılma formu ve renk değişimi olmak üzere beş temel büyüklük ölçülmüştür. Ayrıca, ham formdaki analsim taşının özgül ısı belirlenmiş ve her bir fırınlama sıcaklığı için tane boyutu-mukavemet eğrileri çizilmiştir.

Ham analsime göre, 200°C, 400°C ve 600°C ısıtma sıcaklıklarında 1mm, 2mm ve 4mm tane boyutları için basma dayanımının sırasıyla, %70.91, %131.49, %81.98 oranında arttığı belirlenmiştir. Tane boyutunun artışıyla, 1 mm boyutlu numuneye göre, basınç dayanımı sırasıyla %68.15 (2 mm) ve %72.70 (4 mm) oranında azalmıştır. Aynı şekilde 1 mm boyutlu numuneye göre eğilme dayanımı ise sırasıyla %18.60 (2 mm) ve %29.06 (4 mm) oranında azalmıştır. Ham analsimin rengi sıcaklığın artışı ile açık yeşilden kahve rengine dönüşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Analsim Taşı, Duyulur Isı Depolama, Malzeme Dayanımı.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ANALSIM STONE: HIGH TEMPERATURE EFFECT

UMUT ÇALIŞ

**ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES**

RENEWABLE ENERGY

MASTER THESIS, 51 PAGES

SUPERVISOR: Assist. Prof. Dr. Mithat AKGÜN

The mountains of the Black Sea region are volcanic tuff and these Tuffs are composed of stones of different structures. These stones are used for different purposes according to their structure. Analsim Stone, a type of zeolite, is commonly found in our region. Because of its ease of processing and high heat storage capacity, Analsim Stone has been used in building construction and in-Kiln stone, respectively.

However, analsim stone can cause cracking due to high thermal stresses in high temperature applications such as in-oven due to the porous structure it contains. With the increase of the gap diameter, the related cracks are supported by high-level gas expansions and turn into explosions. This reduces the life of the furnace and increases the cost of maintenance and repair.

In this study, mechanical and thermal properties of different grain-sized forms of analsim Stone found in the Black Sea region will be studied experimentally. Through the outputs to be reached, the optimum grain sizes for different usage temperatures will be defined and the analsim stone will be brought into individual and industrial use. For this purpose, different grain size (1mm, 2m and 4 mm) samples made of binding material and mortar were tested at three different heating temperatures. In the experiments, five basic sizes were measured: density, fracture strength, bending strength, fracture form and color change. In addition, the specific temperature of the analsim stone in raw form was determined and grain size-strength curves were drawn for each firing temperature.

According to raw analsime, pressure resistance for 1mm, 2mm and 4mm grain sizes increased by % 70.91 , % 131.49 and % 81.98 at 200 °C, 400 °C and 600 °C heating temperatures, respectively. With the increase in grain size, relative to the 1 mm sized sample, its compressive strength decreased by 68.15% (2 mm) and 72.70 % (4 mm) respectively. Likewise, the bending resistance of the 1 mm sized sample was reduced by 18.60% (2 mm) and 29.06% (4 mm) respectively. The color of the raw analsim has changed from light green to brown color with the increase in temperature.

Keywords: Analsim Stone, Material Strength, Sensible Heat Storage.

TEŐEKKÖR

Tez konunun belirlenmesi, çalıőmanın yűrűtűlmesi ve yazımı esnasında gűstermiő olduėu destek ve liderliėinden dolayı danıőman hocam sayın Dr. Őėr. Ŭyesi Mithat AKGŬN'e teőekkűr ederim

Aynı zamanda, bu zorlu ve uzun sűrete gűstermiő oldukları anlayıő ve destekleri ile ideallerimi gerçekleőtirmemi saėlayan, onlara ayırmam gereken zaman dilimlerinde kendilerinden taviz vererek, bu tezin oluőmasında bűyűk sabır gűsteren aileme yűrekten teőekkűrű bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1 Türkiye ve Dünya’da Enerji.....	3
1.2 Yenilenebilir Enerji.....	4
1.3 Isı Depolama Yöntemleri.....	4
1.3.1 Duyulur Isı Depolama.....	5
1.3.1.1 Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama.....	7
1.3.1.2 Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama.....	8
1.3.2 Gizli Isı Depolama.....	8
1.3.3 Termokimyasal Isı Depolama.....	10
1.4 Zeolit ve Özellikleri.....	10
1.5 Zeolitlerin Isı Depolama Özellikleri.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM	18
3.1 Materyal.....	18
3.1.1 Analsim Taşı.....	18
3.1.2 Portland Çimento.....	21
3.1.3 Karışım Suyu.....	21
3.2 Yöntem.....	22
3.2.1 Öğütme İşlemi.....	23
3.2.2 Harç Yapımı ve Numune Üretimi.....	25
3.2.3 Fırınlama İşlemi.....	31
3.2.4 Testler.....	33
3.2.4.1 Basınç Deneyi.....	33
3.2.4.2 Eğilme Deneyi.....	35
3.2.4.3 Özgül Ağırlık Deneyi.....	36
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	37
4.1 Numunelerin Test Sonuçları.....	37
4.1.1 Basınç Deneyi.....	37
4.1.2 Eğilme Deneyi.....	41
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	46
6. KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 İnce Taneli Analsim.....	18
Şekil 3.2 Kalın Taneli Analsim.....	18
Şekil 3.3 Deney Numunesi Analsimin XRD Kırılma Deseni.....	20
Şekil 3.4 Deney Numunesi Analsimin SEM Görüntüsü.....	20
Şekil 3.5 Karışım Suyu Ölçü Kabı.....	21
Şekil 3.6 Boyut Küçültme ve Sınıflandırma Laboratuvarı	23
Şekil 3.7 Ham Haldeki Analsim Taşı	23
Şekil 3.8 Taş Kırma ve Boyutlama Makinesi	24
Şekil 3.9 Elek Takımı ve Eleme Makinesi	24
Şekil 3.10 Boyutlandırılmış Analsim Taşı.....	25
Şekil 3.11 Hassas Terazı	26
Şekil 3.12 Harç Karıştırıcı	27
Şekil 3.13 Kap İçindeki Harç Karışımı.....	27
Şekil 3.14 Numune Kalıbı	28
Şekil 3.15 Numune Kalıbı	28
Şekil 3.16 Sarsma Tablası Harç Numunesi.....	29
Şekil 3.17 Kalıplanmış Deney Numunesi.....	29
Şekil 3.18 Numunelerin Suda Kürlenmesi	30
Şekil 3.19 Şahit Numunelerin Kesimi	31
Şekil 3.20 Endüstriyel Tip Kül Fırını	31
Şekil 3.21 Fırın İçindeki Numuneler	32
Şekil 3.22 Fırınlanmış Şahit Numuneler.....	33
Şekil 3.23 Basınç Deneyi.....	34
Şekil 3.24 Basınç Testi Yapılmış Küp Numuneler.....	35
Şekil 3.25 Eğilme Deneyi	36
Şekil 4.1 Ham Analsim Taşının (50x50x50 mm) Sıcaklığa Bağlı Basınç Dayanımı	39
Şekil 4.2 Üç Farklı Boyutta İşlenmiş Analsim Taşının (50x50x50 mm) Sıcaklığa Bağlı Basınç Dayanımı	39
Şekil 4.3 Üç Farklı Boyutta İşlenmiş Analsim Taşının (50x50x50 mm) Malzeme Boyutuna Bağlı Basınç Dayanımı.....	40
Şekil 4.4 Ham Analsim Taşının (40x40x160 mm) Sıcaklığa Bağlı Eğilme Basınç Dayanımı	42
Şekil 4.5 İşlenmiş Analsim Taşının (40x40x160 mm) Sıcaklığa Bağlı Eğilme Basınç Dayanımı	42
Şekil 4.6 İşlenmiş Analsim Taşının (40x40x160 mm) Malzeme Boyutuna Bağlı Eğilme Basınç Dayanımı.....	43
Şekil 4.7 Eğilme Dayanımı Testi Yapılmış Numuneler	44
Şekil 4.8 Eğilme Dayanımı Testi Yapılmış Numuneler	44
Şekil 4.9 Fırınlanmış Şahit Numuneler.....	45

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Dünyada Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanım Süreleri.	3
Çizelge 1.2 Duyulur Isı Depolamada Kullanılan Katı Metaryaller.	7
Çizelge 1.3 Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri	8
Çizelge 1.4 Faz Değiştiren Bazı Maddelerin Fiziksel Özellikleri.	9
Çizelge 1.5 Doğal Zeolitlerin Sınıflandırılması.	11
Çizelge 1.6 Analsimin Termal Özellikleri.	12
Çizelge 3.1 Portland Çimentosu Tipik Özellikleri.....	21
Çizelge 3.2 1 mm'lik Analsim Taşı Harç Reçetesi	25
Çizelge 3.3 2 mm'lik Analsim Taşı Harç Reçetesi	26
Çizelge 3.4 4 mm'lik Analsim Taşı Harç Reçetesi	26
Çizelge 4.1 Basınç Deneyine Tabi Tutulan 50x50x50mm Boyutundaki Numunelerin Sıcaklık ve Tane Boyutuna Bağlı Olarak Basınç Dayanımı Değerleri	38
Çizelge 4.2 Eğilme Deneyine Tabi Tutulan 40x40x160mm Boyutundaki Numunelerin Sıcaklık ve Tane Boyutuna Bağlı Olarak Eğilme Dayanımı Değerleri.....	41

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	:	Santigrat Derece
J	:	Joule
Q_d	:	Depolanan Enerji
m	:	Malzemenin Kütlesi
ΔT	:	Sıcaklık Farkı
C_p	:	Özgül Isı
Q_g	:	Gizli Isı
d/dk	:	Devir/Dakika
Lt	:	Litre
K	:	Isı iletim katsayısı
MW	:	Megavat
V	:	Malzemenin Hacmi
ρ	:	Malzemenin özgül ağırlığı

1. GİRİŞ

Mevcut fosil enerji kaynakları bilindiği üzere gün geçtikçe azalmaktadır. Buna karşın son yıllarda hızlı bir şekilde artan dünya nüfusu, şehirleşme ve sanayileşme enerji tüketiminin ve talebinin artmasına neden olmaktadır. Enerji tüketimi, ülkelerin gelişmişlik düzeyi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Teknolojinin gelişmesiyle beraber ülkelerin enerji ihtiyacı artmakta ama enerji ihtiyaçlarının büyük bölümünü karşıladığı fosil yakıtlar ise azalmaktadır.

Günümüz itibari ile dünyada kentlerde yaşayan nüfus oransal olarak kırsal nüfusundan fazladır ve tahminlere göre ise 2050 yılında kentleşme oranının %70'lere dayanacağı tahmin edilmektedir. Şehir nüfusun sürekli olarak yükselmesi, üretim tüketim faaliyetlerinin artmasına neden olduğundan enerjinin ileriki yıllarda daha da değerli olacağı kesindir. Gelişmekte olan ülkelerin enerji talebinin sürekli olarak artış göstermesi, fosil kaynakların giderek azalması ve ayrıca fosil kaynakların çevresel sorunlara yol açması gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir enerjiye ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır.

Günümüzde enerji sistemleri genellikle fosil enerjinin kullanımı üzerine kurulmuş olup gün geçtikçe tüketim oranı artan talebe bağlı olarak hızla artmaktadır. Fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz vb.) kullanılmasındaki bu artış, dünyanın geleceğini tehdit etmektedir. Fosil yakıtlar günümüzde sanayi üretim tesislerinin, motorlu taşıtların ve konutlardaki ısınma faaliyetlerinin kullanılması sonucunda yüksek düzeyde sera gazı (CO₂, CH₄, N₂O) ortaya çıkarmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı, sera gazlarının hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevreye ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkilere neden olduğunu açıklamıştır. Ayrıca atmosferde bulunan sera gazlarının %99.5'inin fosil yakıt kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir.

Bu olumsuzlukların farkında olan uluslararası kuruluşlar çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Türkiye'nin de üyesi olduğu Kyoto Protokolü de bu çalışmalar arasında yer almaktadır. Sera gazı emisyonlarını azaltmak ve çevresel zararları önlemek için yapılan protokolle çoğu ülkede yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması ve enerji üretimiyle ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının çevre ile dost olmasının dışında bu kaynakları kullanma teknolojisine ve bilgisine sahip olan ülkelerin dışa bağımlılığı azalmıştır. Özellikle ülkemiz gibi enerji ihtiyacı fazlalaşan ancak yerli kaynakları bu

ihtiyacı karşılamaya yetmeyen ülkelerin enerji ithal etmesi gerekmektedir. Bu yüzden enerjinin ekonomik kullanımı çok önemlidir. Zengin fosil kaynakları bulunmayan ülkeler için enerji ithalatı çok büyük bir gider olmakla beraber, stratejik olarak da enerjinin ithal edildiği ülkelere bağımlı olma gibi dezavantajlı bir duruma düşürmektedir. Enerji temel olarak ulaşım, sanayi ve konut sektörlerinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Her geçen gün dünya nüfusunun artmasıyla beraber konut sektörü için kullanılan enerji miktarı da buna bağlı olarak artış göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde sektörel bazda dağılım yapıldığında %27 oranı ile en fazla enerji kullanımının konutlarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu tüketim neticesinde konutlardan, sera gazı içeren atmosferik emisyonların %40'ı salınmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı fosil kaynaklar bakımından fakir olan ülkemizde gün geçtikçe artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek, daha az enerji ithal etmek ve çevre ile dost enerji üretebilmek için son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yoğun ilgi gören bir konu haline gelmiş ve bu kaynaklara yapılan yatırımlar artmıştır.

Yenilenebilir enerjinin çevreye dost olması, karbon salınımını azaltması ve milli kaynak olması gibi nedenlerden dolayı, enerji ihtiyacı fazla olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından önemini daha çok arttırmaktadır. Enerjinin gün geçtikçe değerinin yükselmesiyle beraber yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün biraz daha artmaktadır.

Bu deneysel çalışmada amaç, doğada ham halde bulunan ve zeolitin bir türü olan analsim taşının çeşitli tane boyutlarında öğütülerek harç malzemesi ile karıştırıldıktan sonra elde edilen numunelerin mukavemet değerlerinin artırılması, ısı depolama malzemesi olarak kullanımı ve yüksek sıcaklıklarda taşlarda oluşan çatlakların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Zeolitlerin en önemli kullanım alanları güneş enerjisinin depolanması, soğutma ve ısıtmadır. Zeolit tüflerinin ısı depolama kabiliyetlerinin yüksek olması, kolay işlenebilir oluşları, hem ekolojik hem de ekonomik açıdan daha kabul edilebilir bir malzeme olması sebebiyle ısı depolamada kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada, doğada ham halde bulunan ve zeolitin bir türü olan analsim taşının çeşitli tane boyutlarında öğütülerek harç malzemesi ile karıştırıldıktan sonra elde edilen numunelerin mukavemet değerlerinin belirlenmesi, ısı depolama malzemesi olarak

kullanımı ve yüksek sıcaklıklarda taşlarda oluşan çatlakların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle, analsim taşı özel sektör ve ülke ekonomisine kazandırılacaktır.

1.1 Türkiye ve Dünya’da Enerji

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan toplam enerji, dünyanın ihtiyacı olan toplam enerjinin yaklaşık % 2’sine karşılık gelmektedir. Buna büyük hidroelektrik santrallerin üretimi de katıldığı zaman, oran % 17.7’yi bulmaktadır. Enerji talebinin geri kalanı birincil fosil yakıt kaynaklarından oluşmaktadır. Bu kaynaklar hızla tükendiği bilinen ve rezervlerinin ömrü altmış yılı geçemeyen doğalgaz ve petrol ve rezervi iki yüz yıldan fazla yetecek düzeyde olan kömür yatakları oluşturmaktadır. Ülkemizde ise neredeyse tüm konvansiyonel enerji kaynakları bulunmakla birlikte bu kaynakların dünya rezervleriyle karşılaştırıldığında miktar ve kalite olarak yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Ülkemiz petrol ve doğalgaz rezervi bakımından fakir olup, kömür rezervleri bakımından oldukça zengindir. Örneğin linyit rezervimiz dünyadaki linyit rezervinin % 2’sini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olan hidrolik, jeotermal ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından ülkemiz gayet iyi durumdadır.

Dünyanın enerji ihtiyacı her sene yaklaşık %4-5 düzeyinde artmaktadır, bu ihtiyacı karşılayacak olan fosil yakıt rezervi ise hızlı olarak tükenmektedir. Ayrıca fazla miktarda fosil yakıt kullanımı ortalama sıcaklığı, son bin yılın en yüksek değerine ulaştırmış, yoğun hava kirliliğinin ve sel/fırtına gibi doğal afetlerin artmasına neden olmuştur.

Çizelge 1.1 Dünyada Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanım Süreleri (Kırtlar ve Ark., 2007)

BÖLGE (yıl)	PETROL (yıl)	DOĞALGAZ (yıl)	KÖMÜR (yıl)
Kuzey Amerika	43.5	11.2	269
Latin Amerika	9.1	75.2	240
OECD Üyesi Avrupa	19.9	25.8	192
OECD Dışı Avrupa	95.1	68.9	329
Orta Doğu Afrika	25.1	>100	325+
Asya ve Okyanusya	17.6	53.0	171
Toplam Dünya	43.1	64.9	236

1.2 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, enerji üretimi için doğal süreçlerden yararlanılan, kullanılan kaynakların tükenme hızından çok daha hızlı bir sürede kendini yenileyebilen enerji türüdür.

Yenilenebilir enerjiye örnek verecek olursak, güneş ışığı, rüzgar enerjisi, su gücü, jeotermal enerji, biyoyakıtları sayabiliriz. Yenilenebilir enerji türlerinin, doğalgaz, kömür, petrol gibi tükenme riski yoktur. Yenilenebilir enerji kaynakları sonsuz ve devamlıdır. Ayrıca fosil yakıtlara kıyasla en büyük avantajı doğa dostu olmalarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başka bir avantajı ise dünyanın her ülkesinde bulunabilmesidir. Bu kaynakların kullanımının, mevcut teknik ve ekonomik sorunlara çözüm olması halinde 21. yy'daki en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir.

Enerji ihtiyacının artması ve fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle, son yıllarda yapılan çalışmaların çoğu, yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra yüzey veya yer altı suları, sanayideki atık ısının değerlendirilmesi ve elektrik enerjisiyle ısı depolanması konularına yönelmiştir.

Fosil enerji kullanımına devam etme olanağının kalmadığı, kabul edilmesi gereken bir gerçektir. Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle kullanımı gittikçe artmakta olan, bu enerji kaynaklarının yerine çevrenin kendi doğal ürünü olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması zorunluluk haline gelmiştir.

Toprak, hava, su kirliliği, bitki örtüsünün ve hayvanların yok olması gibi çevre sorunları, bu sorunlardan etkilenmekte olan insanlarda gelecek kaygısı uyandırarak çevrenin korunmasına olan hassasiyet de giderek artmıştır.

1.3 Isı Depolama Yöntemleri

Enerji depolanmasında birçok yöntem olmasına rağmen, uygulamadaki kolaylığı sebebiyle, bir dönüşüm ya da çevrimle elde edilen ısı enerjisini depolama, yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Isı enerjisi, maddeyi meydana getiren atom veya moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjileri toplamıdır ve atomik dönme, öteleme ve titreşim hareketi sonucu oluşur (Yılmazoğlu, 2010). Enerji tasarrufu ve verimliliğinin artırılması, yeni enerji kaynaklarını kullanmaktan daha ekonomiktir. Isı enerjisi depolama sistemleri sayesinde fosil yakıtların kullanımı azaltılıp, artan enerji ihtiyacına alternatif çözüm sağlanmıştır.

Isı enerjisi depolanması ise, yüksek veya düşük sıcaklıklarda ısı enerjisinin geçici olarak depolanması olarak ifade edilebilir. Bu sistem, depolamaya enerji sağlanması, elde edilen enerjinin depolanması ve depolanan enerjinin talep edilen zamanlarda kullanılması amacı gütmektedir.

Isı enerjisi depolama, enerjinin elde edilmesi ve kullanılması arasındaki yer ve zaman farkını sıfırlayarak, ısıtma ve soğutma sistemlerinde, enerjinin daha etkili ve verimli kullanılmasını ve böylece enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bunun dışında ısı enerjisi depolama sistemlerinin kullanılmasıyla fosil yakıtların daha az kullanılmasını ve ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbonlara (CFC) ihtiyaç olmadan çevre dostu iklimlendirme tekniklerini geliştirme fırsatı sunmaktadır.

Ekonomik olarak uygulanabilir bir sistemde, ısı depolamanın maliyeti düşük olmalıdır. Bundan dolayı, ısı depolamak için kullanılan materyalin maliyetinin düşük ve kolay elde edilebilir olması dışında, depo ve ısı değiştiricinin maliyetinin de kabul edilebilir değerde olmasıyla sağlanır. Ayrıca bu sistemin üretimi, dağıtımı, kurulumu veya çalışması sırasında çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek zehirli veya tehlikeli olan materyallerin kullanılmaması gerekir. Bu kriterlerin doğru belirlenmesi, ısı depolama sistemlerinin etkin ve verimli kullanılabilmesi için gereklidir.

Bir ısı depolama sisteminde olması gereken başlıca özelliklere değinmek gerekirse, birim kütle veya birim hacim için ısı depolama kapasitesinin yüksek olması, çalışma sıcaklıklarına uygun özelliklere sahip olması, depolanan ısının geri kazanılabilir nitelikte olması, depolama materyalinin korozif, toksik etkili ve yanıcı özellikte olmaması, sistemin az maliyetli ve kullanım ömrünün uzun olmasını sayabiliriz.

1.3.1 Duyulur Isı Depolama

Bir maddenin sıcaklığı azaldıkça açığa çıkan enerjiye veya bir maddenin sıcaklığı arttıkça maddenin aldığı enerjiye duyulur ısı denir. Depolama malzemesinin sıcaklığının depolanan enerjinin miktarı ile değişimine duyulur ısı depolama diyoruz. Başka bir deyişle, duyulur ısı depolama; maddenin bir fazdan diğer bir faza (katı, sıvı, gaz) tamamen geçtikten sonraki fazında ısının depolanması veya depolanmış ısının geriye verilmesi periyodudur.

Bu sistemde enerji; su, hava, yağ, kaya yatakları, tuğla, kum veya toprak gibi bir depolama ortamının sıcaklığını değiştirerek ortaya çıkan duyulur ısıdan yararlanılarak depolanır (Dinçer ve Rosen, 2002). Duyulur ısı depolamasında ısı yüklendiğinde ya da ısı çekildiğinde depodaki ortamın sıcaklığı değişir (Ökten ve Özdemir, 2016).

Bu sistemlerde kullanılan depolama malzemelerinin birçoğu doğada çok miktarda bulunur ve genellikle uygun fiyatlıdır. Ayrıca, bu malzemelerden ısı depolamak için kullanılmak üzere geliştirilmiş olan teknoloji, verimli sistemlerde kullanılması için uygundur. Bu sebeplerden dolayı, günümüzde en çok kullanılan ısı depolama uygulaması olarak duyulur ısı depolama yöntemi tercih edilir.

Bu sistemde, depolama malzemesinin ısı kapasitesinin yüksek olması, yanma ve tutuşma özelliğinin olmaması, malzemenin uzun ömürlü olması ve özelliklerini koruyabilmesi, çevreye dost ve korozif olmaması ayrıca malzemenin kolay bulunur ve ucuz olması istenmektedir. Duyulur ısı depolama sisteminin verimliliği; ısı depolamada kullanılacak olan materyalinin özgül ısısına, yoğunluğuna ve ısı iletkenliğine bağlıdır.

Duyulur ısı depolama sistemlerinde karşılaşılan en önemli sorunlar; ısı depolama süresi boyunca, depolama sıcaklığı devamlı yükseldiğinden dolayı çok fazla miktarda ısı kaybı oluşması ve bu nedenle de verimin düşmesidir.

Duyulur ısı depolama yöntemleri, kullanılan depolama materyaline bağlı olarak; sıvılarda ısı depolama, katılarda ısı depolama ve sıvı ve katı materyalleri birlikte kullanarak ısı depolama şeklinde incelenebilir. Duyulur ısı depolama sistemlerinde kullanılan en yaygın depolama malzemeleri erimiş tuz, su, yağ, buhar, taş, tuğla ve betondur (Tiskatine ve ark., 2017).

Duyulur ısı depolama yönteminde depolanan toplam enerji, depolama malzemesinin kütesine, özgül ısısına ve sıcaklık değişimine bağlıdır. Formülü aşağıdaki gibidir.

$$Q = (T_2 - T_1) = V\rho c_p \Delta T \quad (\text{kJ}) \quad (1.1)$$

Q: Depolanan enerjiyi (kJ)

m: Malzemenin kütesini (kg)

c_p : Malzemenin sabit basınçta özgül ısısını (kJ/kg.K)

ΔT : Malzemenin sıcaklık değişimini (K)

V: Malzemenin hacmini (m^3)

ρ : Malzemenin özgül ağırlığı (kg/m^3)

Duyulur ısı depolama, katılarda duyulur ısı depolama ve sıvılarda duyulur ısı depolama olmak üzere ikiye ayrılır.

1.3.1.1 Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama

Katı ortamda duyulur ısı depolama; ısı depolayıcı katı maddenin üzerinden ısı transfer akışkanının (su, yağ, hava vb.) geçirildiği bir sistemdir. Isı enerjisi katı maddeye duyulur olarak depolanmak da ihtiyaç olduğunda da katı maddeden geriye ısı transfer akışkanı aracılığıyla alınarak ihtiyaç duyulan bölgeye sevk edilmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, depo malzemesi ve sızdırmazlığın önemli olmadığı yerlerde ve büyük hacimli depolamalarda katı ortamda ısı depolama tercih edilmektedir (Akgün, 2006).

Malzemenin özgül ısısı, yoğunluğu ve ısı iletkenliği malzeme seçimini etkileyen en önemli parametreler olup, yaygın olarak kullanılan katı ısı depolama materyalleri ve özellikleri Çizelge 1.2 'de verilmiştir.

Çizelge 1.2 Duyulur Isı Depolamada Kullanılan Katı Materyaller (Kaygusuz,1992)

Depolama maddesi	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı, c (J/kg.K)	Isı kap. c*10 ⁻⁶ (J/m ³ .K)	Isıl iletken. (W/m.K)	Isıl yayılma α=k/c*10 (m ² /s)
Alimünyum	2707	896	2.4255	204	20 ⁰ C de 84.10
Alimünyum oksit	3900	840	3.2760		
Alimünyum sülfat	2710	750	2.0325		
Beton	2240	1130	2.5310	0.9-1.3	0.35-0.51
Dökme demir	7900	837	6.6123	29.3	4.431
Saf demir	7897	452	3.5694	73.0	20 ⁰ C de 20.45
Kalsiyum klörür	2510	670	1.6817		
Bakır	8954	383	3.4294	385	20 ⁰ C de 112.3
Toprak (yaş)	1700	2093	3.5581	2.51	0.705
Toprak (kuru)	1260	795	1.0017	0.25	0.250
Potasyum klörür	1980	670	1.3266		
Potasyum sülfat	2660	920	2.4472		
Sodyum klörür	2170	920	1.9964		
Sodyum sülfat	2700	920	2.4840		
Granit	2640	820	2.1648	1.73-3.98	0.79-1.84
Kumtaşı	2200	710	1.5620	1.83	0.56-0.59
Kireçtaşı	2500	900	2.2500	1.26-1.33	0.99-1.41
Mermer	2600	800	2.0800	2.07-2.94	1.72

1.3.1.2 Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama

Sıvı ortamda duyulur ısı depolama yapmak için kullanılan maddeler, depolama kapasiteleri, yoğunluğu, hacimsel genleşmeleri, yanıcı ve yakıcılığı, korozif etkileri, ucuzluğu, çevrim sayısı, kolay bulunabilirliği ve çalışma sıcaklıklarına uygunluğu gibi özelliklerine göre seçilmektedirler. Bazı sıvıların fiziksel özellikleri Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3 Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri (Kaygusuz,1992)

Ortam	Akış Tipi	Sıcaklık Aralığı (°C)	Yoğunluk (Kg/m ³)	Isı Kapasitesi (J/kg.K)	Isıl İletkenliği (W/m.K)
Su		0-100	1000	4190	0.63
Su-etilen					
Glikol(50/50)			1050	3479	-
Terminol 55	Yağ	(-18)-(315)		2400	-
Terminol 66	Yağ	(-9)-(434)	750	2100	0.106
Etilen Glikol			1116	2382	0.249
Motor yağı	Yağ	< 160	888	1880	
Lityum	Sıvı tuz	180-1300	510	4190	38.1
Sodyum	Sıvı tuz	100-760	960	1300	67.5
Etanol	Organik sıvı	< 78	790	2400	-
Propanol	“	< 97	800	2500	-
Butanol	“	< 118	809	2400	-
Izobutanol	“	< 100	808	3000	-
Izopentanol	“	< 148	831	2200	-
Oktan	“	< 126	704	2400	-

1.3.2 Gizli Isı Depolama

Gizli ısı depolama, faz değişimi gösteren maddelerin faz değişimi sırasında bünyesine katılan/ortaya çıkan gizli ısının kullanım şeklidir. Bu depolama şeklinde kullanım amacına göre depolamaya uygun maddenin belirli sıcaklıklarda ergime, buharlaşma gibi faz değişim özellikleri önemlidir (Zhou ve ark., 2012).

Faz değişim sıcaklığının yaklaşık sabit olması, malzemenin büyük miktarlarda ısı depolamaya uygunluğu ve malzeme fiyatının genelde düşüklüğü gizli ısı depolama malzemelerinin kullanımını cazip hale getirmektedir.

Organik (parafinler ve parafin olmayanlar), inorganik (tuz hidratlar, tuzlar, metaller, alaşımlar) ve ötektik yapıda çok sayıda faz değiştiren madde vardır. Faz değiştiren maddelerin yaygın olarak kullanılanlarının bazı fiziksel özellikleri Çizelge 1.4’de verilmiştir.

Çizelge 1.4 Faz Değiştiren Bazı Maddelerin Fiziksel Özellikleri (Akgün, 2006)

	Malzeme Adı	Erime Noktası (°C)	Gizli Isı (kJ/kg)
PARAFİNLER	Tetradecane	4.5-5.6	231
	Pentadecane	10	207
	Heneikosan	41	215
	Tetrakosan	51	255
	Hegzakosan	56	257
	Octakosan	61	255
	Tritrikondan	71	189
PARAFİN OLMAYANLAR	Formik Asit	7.8	247
	Gliserin	17.9	198.7
	Siyanamid	44	209
	Nitro Naftalin	56.7	103
	Arı Balmumu	61.8	177
	Fenilasetik Asit	76.7	102
	Asetanilit 222	118.9	222
TUZ HİDRATLAR	NaClNa ₂ SO ₄ .10H ₂ O	18	286
	Na(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	53	158
	Zn(NO ₃) ₂ .2H ₂ O	55	68
	FeCl ₃ .2H ₂ O	56	90
	Na ₂ SiO ₃ .5H ₂ O	48	168
	CaI ₂ .6H ₂ O	42	162
ÖTEKTİKLER	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O+Al(NO ₃) ₂ .9H ₂ O	61	148
	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O+MgBr ₂ .6H ₂ O	66	168
	Naftalin + Benzeoik asit	67	123.4
	AlCl ₃ +NaCl+ZrCl ₂	68	234
	AlCl ₃ +NaCl+KCl	70	209
	NH ₂ CONH ₂ +NH ₄ Br	76	151

Gizli ısı depolama yönteminde depolanan toplam enerji, depolama malzemesinin kütlesine ve özgül entalpisine bağlıdır. Formülü aşağıdaki gibidir.

$$Q = m.h \text{ (kJ)} \quad (1.2)$$

m =Kütle (kg)

h = Erime veya buharlaşma entalpisini (kJ/kg)

1.3.3 Termokimyasal Isı Depolama

Bu depolama yönteminde ise ısı enerjisi bir bileşiğin bağ enerjisi olarak depolanabilir ve aynı enerji tersinir kimyasal tepkimelerle serbest bırakılabilir (Yılmazoğlu, 2010).

Bu ısı depolama yönteminde, yüksek sıcaklıkta nükleer veya güneş enerjisi uygulamalarında ve endüstriyel kazanlardaki damıtma çevrimlerinde uygulanmaktadır. Düşük sıcaklıktaki uygulamalar için kimyasal tepkimelerle ısı depolanmasına ilişkin önemli gelişmeler sağlanmış olmakla birlikte uygulamada karşılaşılan önemli sorunlar termokimyasal ısı depolama yönteminin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Yılmaz, 2005).

1.4 Zeolit ve Özellikleri

Zeolitler, alkali ve toprak alkali katyonları ihtiva eden sulu alümina silikatlar şeklinde tanımlanırlar. Doğada volkanik tüfler ile tuzlu su arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu oluşurlar.

Zeolitin yapısında geniş boşluklar bulunup gözenekli 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).

Modifiye edilmiş zeolitik malzemeler farklı kimyasal özelliklere sahip geniş bir kirlenici aralığını eşzamanlı olarak sıralamak için eşsiz ve çok yönlü bir malzeme olarak işlev görebilir (Qiang ve ark., 2013).

Çizelge 1.5 Doğal Zeolitlerin Sınıflandırılması (Barrer, 1978)

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

Zeolitlerin doğal ve sentetik türleri bulunmaktadır. Çizelge 1.5’te doğal zeolitlerin başlıcaları verilmiştir. Bununla beraber literatürde yaklaşık olarak 150 civarında sentetik, 50 civarında ise doğal zeolit olduğu bilinmektedir.

1.5 Zeolitlerin Isı Depolama Özellikleri

Zeolitler geniş kullanım alanı olan bir mineral olmasına karşın özellikle de son yıllarda ısı depolama kabiliyetiyle ön plana çıkmaya başlamıştır. Zeolitlerin genel yapı olarak suya karşı ileri derecede eğilimleri vardır. Zeolitler suyu absorbe ve tersi olarak desorbe etmeleri durumunda mevcut kristal yapılarında bir değişiklik veya deformasyon oluşmaz. Zeolitler bu özelliğinden dolayı ısı depolama kabiliyeti anlamında oldukça yüksek kapasiteye sahiptirler. Zeolitler kolay ve ucuz bulunabilmesi, yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı ısıyı depolama kabiliyetine sahip olmaları sebebiyle etkili bir enerji depolama meteryalidir. Bu sebeplerden dolayı zeolitler fazla enerjiyi daha sonra kullanılmak için bünyelerinde depolayabilirler. Bunu ise etkili hesaplı bir şekilde yaparlar.

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).

Kaynayan taş anlamına gelen zeolitler, ısıtıldığı zaman yüksek sıcaklıkta patlayarak dağılmakta hidrasyona uğramış alüminyum silikatlardır. Zeolitlerin yapıları alüminyum, silis ve oksijenden, gözenekleri ise katyon ve sudan oluşmaktadır. Çizelge 1.4 'te verilen ve doğal zeolitin türlerinden biri olan analsim taşının termal özellikleri aşağıdaki gibidir. Analsim taşı doğal zeolitin bir türü olup yaygın olarak bulunabilirler.

Çizelge 1.6 Analsimin Termal Özellikleri (Yılmaz, 2018).

Öz. Ağırlık(ρ) (kg/m³)	Isıl İlet.(k) (W/mK)	Özgül Isı(c_p) (J/kg.K)	Isı Kap.(c^*10^{-6}) (J/m³.K)	Isıl Yay.Kat.(α) (10⁻⁶m²/s)
2280	1.13	771.93	1.76	0.64

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zeolitlerin beton ve ısı depolama malzemesi olarak kullanımı üzerine literatürde birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalar zamana göre aşağıda verilmiştir.

Chan ve ark., (2000) yüksek performanslı betonun ve normal dayanımlı betonun mekanik özelliklerini ve gözenek yapısını yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra incelemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Beton numuneler 800°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra, basınç dayanımları ölçülmüştür. Test sonuçları, yüksek performanslı betonun yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra normal dayanımlı betondan daha keskin şekilde bozulmasına rağmen, daha yüksek kalıntı gücüne sahip olduğunu göstermiştir.

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.

Demirel ve Gönen, (2008) yaptıkları deneysel çalışmada silis dumanı katkılı ve karbon lif takviyeli hafif betonun mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisini inceledikleri çalışmalarında bir sene boyunca bekleyen numunelerin herbirini 1saat süreyle sırası ile 250, 500, 750 ve 1000 °C derece sıcaklıkta ısıtmışlardır. Çeşitli sıcaklık değerlerinde ısıtılan numuneler daha sonra oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, porozite ve basınç dayanımı değerlerini tespit edebilmek için çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan sonuç, silis dumanı içeren serilerin, silis dumanı içermeyen serilere göre daha fazla basınç dayanımında kaybın meydana geldiği bunun neticesinde silis dumansız serilerin basınç dayanımının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kızılkant ve Yüzer, (2008) çalışmalarında yüksek sıcaklık ve söndürme türünün harcın fiziksel ve mekanik değerlerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışma kapsamında CEM I 42.5 çimentosu, silis ve kalker esaslı olmak üzere farklı agregalar ve %10 ikameli olarak katılan silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi farklı puzolanlar kullanılarak üretilen harçlar 100°C, 200°C ,300°C, 600°C, 900°C ve 1200°C

olmak üzere 6 farklı sıcaklık değerinde ısıtılmışlardır. Daha sonra ısıtılan numuneler soğumaları için çeşitli işlemlere tabi tutulmuşlardır. Havada ve suda olmak üzere iki şekilde soğutma işlemi uygulanmıştır. Numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulmuş devamında ise soğutulan numunelere kontrol deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, yüksek sıcaklığa tabi tutulan numunenin basınç dayanımında meydana gelen değişim ile rengin tür bileşeninde meydana gelen değişim benzerlik göstermiştir.

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, ısıl işlemde 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 edilecek ısının depolanması hususunda depolama malzemesi olarak tayin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Başıyğit, (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.

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.

Bilim, (2011) yaptığı çalışma ile çimento yer değiştirme malzemesi olarak zeolit ve silis dumanı içeren çimento harçlarının fiziksel, mekanik ve durabilite gibi çeşitli özellikleri üzerinden birtakım araştırmalar yapmış ve bunun sonucunda tespit ettiği sonuçlar ile kontrol harcının verilerini kıyaslanmıştır. %10 sabit silis dumanı ve sabit

su/kum miktarları ile ağırlıkça %0 ile %30 oranları arasında değişen zeolit ile yer değişimleri harç numuneleri hazırlanmıştır. Daha sonra hazırladığı bu karışımların, su ihtiyacı, hacim genleşmesi, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme, priz süresi porozite, kuru birim ağırlık, aşınma direnci ve karbonatlaşma derinliği gibi birtakım değerleri çalışma kapsamında sırasıyla ölçülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda, çimento yerine harcın içine ikame edilen zeolit ve silis dumanının koyularak oluşturulan harcın, kontrol harcına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Yeni üretilen numunelerin yukarıda sayılan çeşitli değerlerinin ölçümü yapıldığında numunelerin değerlerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir.

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.

Sallı Bideci ve ark., (2013) çalışmalarında çimento üretiminde klinkerin azaltılarak yerine %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında zeolit kullanarak kullanımı neticesinde çimento harç özelliklerinde gözlenen etkiyi incelemişlerdir. Yapılan çalışma kapsamında zeolit katkılı numunelerin, fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmış ve üretilen bu numunelerin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile SEM görüntüleri incelenmiştir. Yapılan deney sonucunda çeşitli veriler elde edilmiş ve bu veriler ışığında üretilen zeolit katkılı çimento bakımından en uygun değerlerin %10 zeolit katkılı çimento harcından elde edildiği tespit edilmiştir. Böylelikle doğal zeolit ikamesi ile yer değiştirmeli çimento kullanımında enerji tasarrufu ve çevre kirliliğinin azaltılması yönünde pozitif sonuçlar elde edilmiş bunun olumlu katkı sağlanacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Vejmelkova ve ark., (2013) 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 izotermi, ısı iletkenlik ve özgül ısı değeriölçülen değerleri kullanılarak değerlendirildiğinde, %20 doğal zeolit yer değiştirmeli numunelerin en verimli sonuçları verdiği sonucuna varılmıştır.

Kaya ve ark., (2014) yapmış oldukları çalışmada mineral katkılı olan ve kendiliğinden yerleşebilen özellikteki betonların porozite ve basınç dayanımlarına yüksek sıcaklığın etkisini incelemişlerdir. Bir tanesi referans numunesi olmak üzere mermer tozu ve yüksek fırın cürufunu %10, %20 ve %30 oranlarında ince agrega ile ağırlıkça ikame ederek 7 farklı beton serisi üretmişlerdir. Üretilen beton numunelerini 365 günlük kür süresinin sonunda 1 saat süreyle $400^{\circ}C$ ve $800^{\circ}C$ 'de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonların yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıp oranları ve gözeneklilik artış oranlarının normal dayanımlı betonlara göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

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 hazırlamıştır. 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 $250^{\circ}C$, $500^{\circ}C$, $750^{\circ}C$ ve $1000^{\circ}C$ sıcaklıklara kadar ısıtılarak bu sıcaklıklarda iki saat süreyle bekletilmişlerdir. Deneyler sonucunda yüksek sıcaklığa maruz kalan doğal zeolit katkısının beton dayanımını arttırıcı yönde etki ettiği anlaşılmış, doğal zeolit ilavesinin betonun ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğü sonucuna 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.

Yukarıdaki çalışmalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde, doğal taş, harç ve betonunun ısı ve mekanik özelliklerinin yapısal bileşim, tane boyutu ve sıcaklığın güçlü birer fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, doğal taş türlerinin bölgesel olarak özgün yapılara sahip olması, aynı taş türü için ortak bir çıktı sunmayı önemli düzeyde kısıtlamaktadır. Bu bağlamda, tez kapsamında, Ordu iline özgü doğal analsim taşı ve bu taşın öğütülmesiyle elde edilen farklı tane boyutlarına sahip harç numuneleri üzerinden bir dizi mekanik ve ısı testleri yapılacaktır. Çıktılar yoğunluk, basma dayanımı, eğilme dayanımı, özgül ısı ve renk değişimi büyüklükleri üzerinden sunulacaktır. Ayrıca, ulaşılan çıktılar üzerinden, farklı kullanım sıcaklıklarına başarılı cevap veren yapılar belirlenecek ve literatüre önerilecektir. Böylelikle, doğal analsim taşı ve alt türevleri özel sektöre ve ülke ekonomisine kazandırılacaktır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Analsim Taşı

Çalışmada Ordu/Perşembe bölgesinden temin edilen zeolit türü olan doğal analsim kullanılmıştır. Bölgede analsim donma hızına bağlı olarak ince ve kalın taneli olarak bulunmaktadır. İnce taneli yapının işlenmesi iri taneli analsim taşına göre daha zordur. İri taneli yapı yüksek sıcaklık uygulamalarında ince taneliye göre daha fazla patlamaktadır. İnce ve kalın taneli analsim taşının fotoğrafı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 İnce Taneli Analsim



Şekil 3.2 Kalın Taneli Analsim

Analsim Taşı İnce Taneli Kayaç;

-Kayaç adı: Vitrik tuf

-Bileşenler: Cam, kristal bileşenler

-Cam bileşenler, cam kıymıkları ve pomza parçalarından meydana gelmektedir. Pomza parçaları yer yer sıkışma etkisi ile kıvrımlanmıştır ve genellikle klorite dönüşmüştür.

-Kristal bileşenler ise ojit (piroksen) ile temsil edilmektedir.

-Özgül ağırlığı:2.7 g/cm³

-Standart Oluşum Entalpisi: 298.15 kJ / kg. K

Analsim Taşı Kalın Taneli Kayaç;

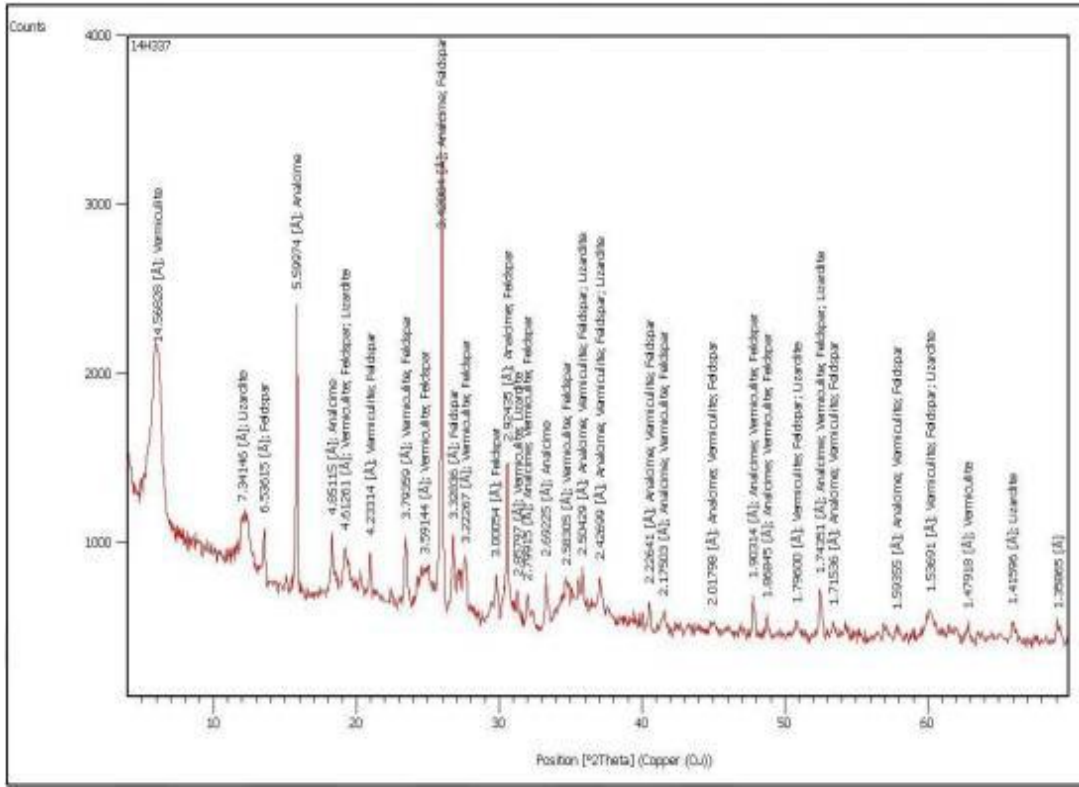
-Kayaç adı: Vitrik tuf

-Bileşenler: Cam kıymıkları, kristal bileşenler.

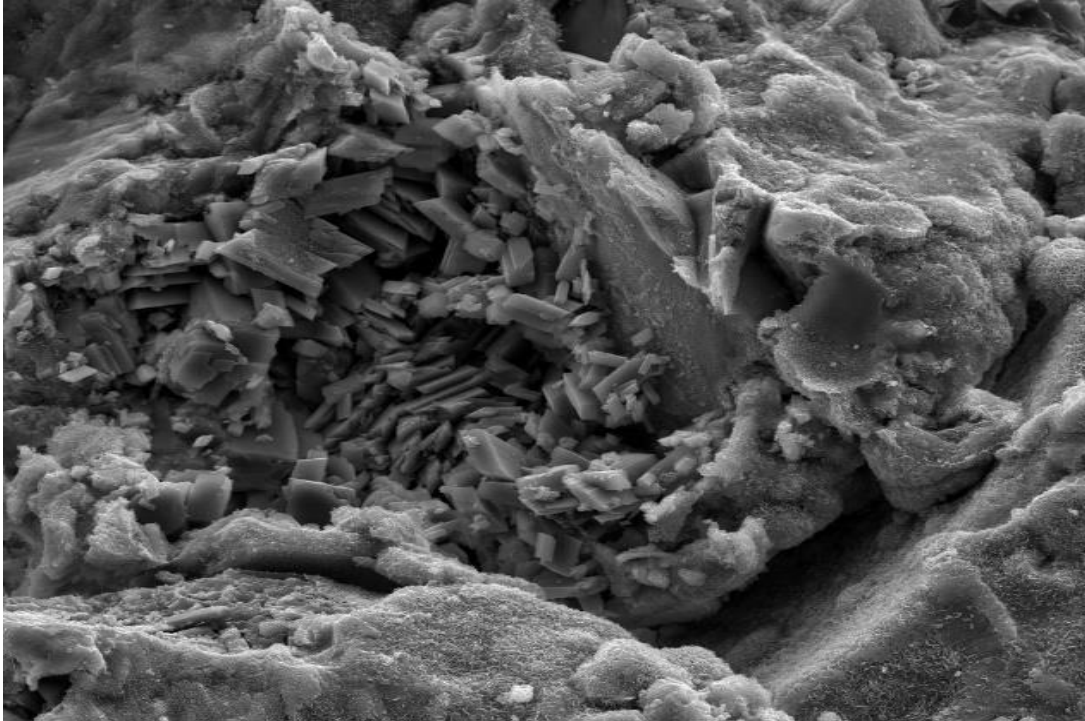
-Cam kıymıkları yoğun olarak altere olmuş zeolit ve klorite dönüşmüştür. Bağlayıcı malzeme içerisinde yer yer kripto kristalen silis oluşumları mevcuttur.

-Kristal bileşenler yoğun olarak parçalanmış ojit (piroksen) ve çok az oranda biyotitten oluşmaktadır. Opak mineraller kayaç içerisinde %5'ten az oranda bulunmakta olup öz şekilsiz kristaller sunarlar.

Deneyde kullanılan analsimin karakteristik özellikleri incelendiğinde, literatürdeki kullanım koşullarını sağladığı tespit edilmiş, içeriğinde kripton, silis ve ksilen ile ojit piroksene rastlanmıştır. Ayrıca analsim bileşiminin cam kıymıkları şeklinde kristal içerikten oluşmuş vitrik tuf halinde olduğu buna ilave olarak deneyde kullanılan analsim numunelerinin içinde %5'ten az oranda opak minerallerin bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.3 Deney Numunesi Analsimin XRD Kırılma Deseni



Şekil 3.4 Deney Numunesi Analsimin SEM Görüntüsü

3.1.2 Portland Çimento

Bu çalışmada, CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özelliği Çizelge 3.1’de verilmiştir.

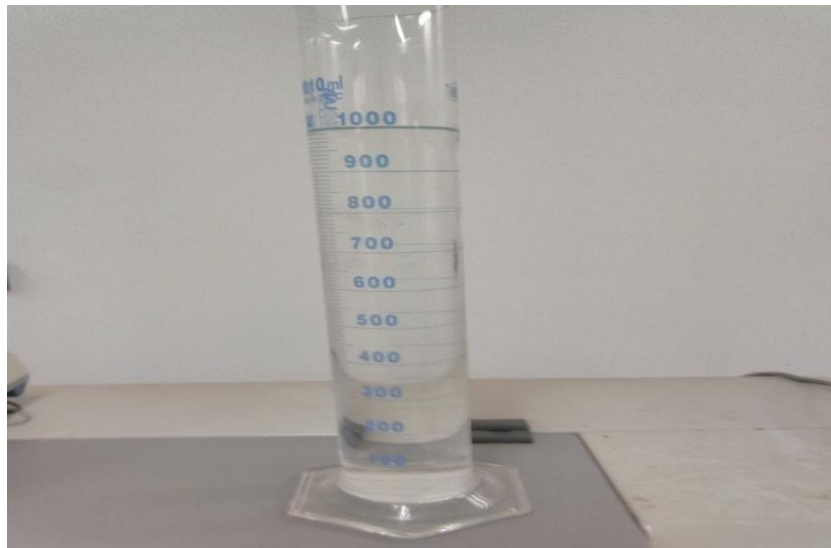
Çizelge 3.1 Portland Çimentosu Tipik Özellikleri

Tipik Özellikler	Birim	Standart Değer	Adana Çimento
Dayanım 2 gün	MPa	Min. 20	26-29
Dayanım 28 gün	MPa	42.5-62.5	48-51
Priz Başlangıcı	dak.	Min. 60	110-180
Hacim Genleşmesi	mm	Max.10	0-3
Özgül Yüzey	cm ² /gr	-	3400-3800
SO ₃	%	Max.4.00	2.60-3.00
Klorür	%	Max.0.10	0.001-0.01
Sızdırma Kaybı	%	Max.5.00	2.50-3.50
Çözünmeyen Kalıntı	%	Max.5.00	0.20-0.80

Çimento tanelerinin göz açıklığı 5 ila 90 mikron arasındadır. Yüksek oranda klinker içermesi nedeniyle dayanım kazanımı hızlı, mukavemeti yüksektir.

3.1.3 Karışım Suyu

Betonda kullanılacak su içilebilir nitelikte olmalıdır. TS 500’e göre karışım suyu asit özellikte olmamalı (pH>7), sülfat etkisi oluşturmamalıdır. İçeriğindeki tuz miktarı harç, beton ve donatıya zarar vermeyecek miktarda olmalıdır.



Şekil 3.5 Karışım Suyu Ölçü Kabı

3.2 Yöntem

Bu deneysel çalışma için Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yapı ve Malzeme Laboratuvarı ile K.T.Ü Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Ocaktan büyük kütleler şeklinde çıkarılan analsim taşları, yeniden ürün haline getirilmesi amacı ile çeşitli aşamalardan geçirilmiştir. Bu aşamalar başlıca dört temel adımdan oluşmaktadır ve aşağıda sıralanmışlardır.

1. Öğütme işlemi
2. Harç yapımı ve numune üretimi
3. Fırınlama işlemi
4. Testler

Bu dört aşamadan geçen analsim taşları ham halden ürün haline getirilmiştir. Deneysel çalışmada analsim taşı üç farklı tane boyutuna getirilmiş, sonra taşların boyutlarına göre belli oranlarda çimento, çimento inceliğinde zeolit ve su ilave edilerek harç numuneleri elde edilmiştir. Üretilen numuneler daha sonra 50x50x50 mm boyutundaki küp şeklindeki ve 40x40x160 mm boyutundaki kare prizma şeklindeki kalıplara dökülmüştür. Bu numuneler daha sonra 24 saat süre ile prizini almaları amacı ile laboratuvar ortamında kalıplarda bekletilmişlerdir. Prizini alan numuneler daha sonra kalıplarından çıkarılarak kürlenmeleri için 28 gün süre ile kür havuzuna alınmışlardır. Bu süre sonunda kürlenmiş numunelerin her biri daha sonra üç farklı sıcaklık değerinde endüstriyel fırında ısı işleme tabi tutulmuşlardır. Her bir sıcaklık değerinde numuneler iki saat süre ile bekletilmişlerdir. Bu süre sonunda numuneler fırından çıkarılarak kendi kendine soğumaya bırakılmışlardır. Numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra çeşitli deneysel işlemlere tabi tutulmuşlardır.

Çalışma yapılırken doğal haldeki analsim taşından şahit numune alınmış, üretilen numunelerle şahit numuneler mukayeseli olarak mekanik (basınç ve çekme) dayanımları, ısı depolama kabiliyetleri ve yüksek sıcaklıkta oluşan gözle görülür yapısal çatlaklar arasındaki fark açısından tespiti yapılmıştır.

3.2.1 Öğütme İşlemi

Çalışmada, ana meteryal olarak analsim taşı kullanılmıştır. Ordu ili perşembe ilçesinden temin edilmiş ham haldeki analsim taşı, K.T.Ü Maden Mühendisliği Boyut Küçültme ve Sınıflandırma Laboratuvarında mevcut bulunan taş kırma ve boyutlama makinesinde kırılıp ufaltılmıştır.



Şekil 3.6 Boyut Küçültme ve Sınıflandırma Laboratuvarı



Şekil 3.7 Ham Haldeki Analsim Taşı

Taş kırma makinesinde kırılarak ufak boyutlara getirilen analsim taşları daha sonra eleme işlemi yapmak için sıralı halde bulunan eleklerle alınmışlardır. Elekler boyutlarına göre sıralanarak eleme makinesine oturtulmuştur.



Şekil 3.8 Taş Kırma ve Boyutlama Makinesi

Eleme makinesinde elenen taşlar 1mm, 2mm ve 4mm'lik tane boyutunda olacak şekilde tane boyutlarına göre ayrılmışlardır.



Şekil 3.9 Elek Takımı ve Eleme Makinesi



Şekil 3.10 Boyutlandırılmış Analsim Taşı

3.2.2 Harç Yapımı ve Numune Üretimi

Boyutlarına ayrılan analsim taşları daha sonra, Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Yapı ve Malzeme Laboratuvarında boyutlarına göre, aşağıdaki çizelgelerde gösterilen reçetelere bağlı olarak, belirli ölçülerde CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu, çimento boyutunda öğütülmüş doğal zeolit ve karışım suyu ilave edilerek harç haline getirilmiştir.

Çizelge 3.2 1 mm'lik Analsim Taşı Harç Reçetesi (1 dm³ için)

Malzeme Adı	Ağırlık (kg)
Analsim	1.572
42.5 R tipi Portland çimento	0.270
Öğütülmüş İnce Zeolit	0.030
Karışım Suyu	0.300

Çizelge 3.3 2 mm'lik Analsim Taşı Harç Reçetesi (1 dm³ için)

Malzeme Adı	Ağırlık (kg)
Analsim	1.59542
42.5 R tipi Portland çimento	0.270
Öğütülmüş İnce Zeolit	0.030
Karışım Suyu	0.300

Çizelge 3.4 4 mm'lik Analsim Taşı Harç Reçetesi (1 dm³ için)

Malzeme Adı	Ağırlık (kg)
Analsim	1.61822
42.5 R tipi Portland çimento	0.270
Öğütülmüş İnce Zeolit	0.030
Karışım Suyu	0.300

Her bir tane boyutuna göre, çizelgelerde yer alan malzemeler belirtilen oranlarda hassas terazi ile tartılmıştır.



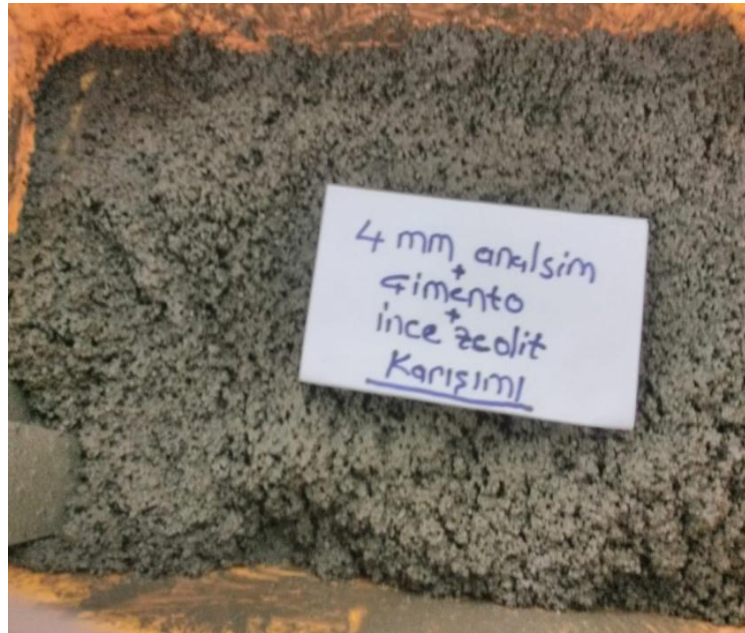
Şekil 3.11 Hassas Terazi

Hassas terazide tartılan malzemeler daha sonra reçetelerdeki ölçülerine göre karıştırıcıya konularak yüksek hızda harç homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır.



Şekil 3.12 Harç Karıştırıcı

Harç karıştırıcıda homojen hale gelen harç daha sonra Şekil 3.13’de görüldüğü gibi kalıplara konulmak için bir kaba alınmıştır.



Şekil 3.13 Kap İçindeki Harç Karışımı (4 mm)

Homojen haldeki harç kalıplara dökülmek için hazır halde beklemektedir. 40x40x160 mm boyutta kare prizma ve 50x50x50 mm boyutta küp prizma kalıplar, numunelerin kalıptan çıkarılırken yapışmaması için önceden yağlanmıştır.



Şekil 3.14 Numune Kalıbı (4x4x16cm)



Şekil 3.15 Numune Kalıbı (5x5x5cm)

Kalıpların her biri üç bölümden oluşmaktadır ve harç bu bölümlere iki tabaka olacak şekilde doldurulmuştur. Birinci tabaka harç, kaptan uygun bir kepçe kullanılarak bir veya daha fazla kademe kalıbın her bölümüne aktarılarak oluşturulmuştur. Daha sonra kalıplar numunelerin içinde hava boşluğu kalmaması için sarsma tablasına konulmuştur. Birinci harç tabakası, yayıcı bir mala kullanılarak tüm kalıp bölümleri aynı kalınlıkta olacak şekilde yayılmıştır. Yayma işlemi boyunca yayıcı görevi gören mala mümkün

olduđu kadar dűşey tutulur, çıkıntı kısımları harç doldurma bařlıđının űst yűzeyine oturtularak her kalıp bűlűmű boyunca ileriye ve geriye dođru hareket ettirilmiřtir. Ardından, birinci harç tabakası, sarsma tablasında 60 defa dűřürűlerek sıkıřtırılır. İkinici harç tabakası, kalıp seviyesinden yukarıda olacak řekilde birinci tabakanın űzerine doldurulur, daha kűűk bir yayıcı kullanılarak yayılır ve sarsma tablasında 60 dűřűř daha yaptırılarak sıkıřtırılmıřtır. Son olarak numunelerin űst yűzeyleri mala yardımı ile dűzeltilerek yűzeyin pűrűzsűz olması sađlanmıřtır.



şekil 3.16 Sarsma Tablası Harç Numunesi (40x40x160mm)

Sarsma iřlemi tamamlandıktan sonra numuneler tanecik boyutlarına gűre etiketlenmiřlerdir. Numuneler ekme ve basma deneylerinde kullanılmak űzere iki farklı geometrik řekilde űretilmiřtir.



şekil 3.17 Kalıplanmış Deney Numunesi

Kalıplanan numuneler sertliğini kazanması için 24 saat süreyle uygun ortam koşullarında beklemeye alınmışlardır. Daha sonra numuneler kalıplardan çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiş ve 22 ± 2 °C sıcaklığındaki suda 28 gün muhafaza edilmiştir (Şekil 4.16). Numuneler 8 gün kür havuzunda kaldıktan sonra havuzdan çıkarılmış ve 24 saat uygun ortam koşullarında kurumaları sağlanmıştır.



Şekil 3.18 Numunelerin Suda Kürlenmesi

Ürün haline gelen numuneler kuruduktan sonra fırınlanma aşamasına gelmiştir. Deneysel çalışmada kullanılmak üzere ayrıca şahit numunelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ham halde bulunan analsim taşı, üretilen kübik ve kare prizma numunelerin birebir ölçüsünde taş kesme tezgahında kesilmişlerdir. Şahit numuneler daha sonra laboratuvar koşullarında 24 saat süreyle kurutulmuştur. Bu işlemden sonra üretilen numuneler ve şahit numuneler fırınlanmak üzere hazır hale getirilmişlerdir.



Şekil 3.19 Şahit Numunelerin Kesimi

3.2.3 Fırınlama İşlemi

Üç farklı boyuttaki analsimlerle üretilen hem küp hem de kare prizmalar ile şahit numuneler malzemenin sıcaklığa bağlı dayanımını belirlemek için her bir tane boyutundaki numuneler 200 °C, 400 °C ve 600 °C sıcaklıktaki fırında ayrı ayrı 2 saat süre ile bekletilmişlerdir. Numuneler 2 saat sürenin sonunda fırından çıkarılmış ve laboratuvar ortamında kendi kendine soğuması beklenmiştir.



Şekil 3.20 Endüstriyel Tip Kül Fırını

Numuneler fırın içine yerleştirilirken fırın soğuk durumdadır. Her bir sıcaklık değeri için fırın içine 1 mm, 2 mm ve 4 mm'lik küp ve kare prizma numuneler, şahit numuneler ile beraber fırın içine yerleştirilmişlerdir. Aşağıdaki şekilde numunelerin fırın içine yerleştirilmesi görünmektedir.



Şekil 3.21 Fırın İçindeki Numuneler

Fırınlama işlemi önce 200 °C sıcaklık ile başlamış ve sırasıyla 400 °C ve 600 °C sıcaklık ile devam etmiştir. Numuneler fırınlanırken fırın sıcaklığı önce ortam sıcaklığından istenilen sıcaklık değerine çıkarılmış ve fırın sıcaklığı istenilen çalışma sıcaklığında 2 saat süre ile sabitlenmiştir. İki saat süre sonunda numuneler fırından çıkarılmış ve soğumaya bırakılmıştır.

Çalışma sıcaklığı 200 °C'den 600 °C ye çıktıkça şahit numuneler arasındaki renk tonu belirgin bir şekilde değişime uğramıştır. Sıcaklık değeri yükseldikçe şahit numunelerin rengi toprak tonuna dönüşmüştür.

Aşağıdaki şekilde 3 farklı çalışma sıcaklığında fırınlanan numunelerin renk değişimi görülmektedir.



Şekil 3.22 Fırınlanmış Şahit Numuneler

Şekilde görüldüğü gibi 3 farklı çalışma sıcaklığında fırınlanmış numuneler arasındaki ton farkı belirgin bir şekilde fark edilmektedir. Şekilde 3 farklı sıcaklıkta fırınlanmış şahit numune ile ısı işlem görmemiş doğal haldeki şahit numune görülmektedir.

3.2.4 Testler

Fırınlama işlemi tamamlanan numuneler daha sonra mekanik dayanımlarını belirlemek amacıyla sırası ile basınç, eğilme ve özgül ağırlık testlerine tabi tutulmuştur. Testlerin sonucunda, farklı sıcaklık değerlerindeki numuneler arasındaki mekanik dayanımın belirlenmesi ve şahit numuneler ile ısı işlem gören numuneler arasındaki mekanik dayanımın mukayesesi yapılmıştır.

3.2.4.1 Basınç Deneyi

Basınç deneyi sertleşmiş numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Numuneler, TS EN 12390-4'e uygun basınç makinasına alınarak numune kırılıncaya kadar yüklenir. Numunenin taşıyacağı maksimum yük belirlenerek numunenin basınç dayanımı hesaplanmıştır. Basınç makinasında 50x50x50 mm küp boyutundaki numunelerin basınç testi yapılmıştır. Aşağıdaki şekilde basınç makinasında basınç testi yapılan numune görülmektedir.



Şekil 3.23 Basınç Deneyi

Basınç testi yapılırken öncelikli olarak deney makinasının başlıklarının yüzeyleri iyice temizlenmiştir. Numunelerin başlıklarla temas eden yüzeylerinde herhangi bir pürüz veya çukıntı olmamasına dikkat edilmiştir. Eğer herhangi bir pürüz veya çukıntı varsa numune yüzeyinden temizlenmiştir.

Küp numuneler teste tabi tutulurken yük uygulanma yönü döküm yönüne dik olacak şekilde belirlenmeli ayrıca numuneler alt yükleme başlığı üzerinde merkezlenecek şekilde konumlandırılmıştır. Numuneler, belirtilmiş boyutunun $\pm \%1$ 'i doğrulukla merkeze yerleştirilmiştir. Küp numuneler için 1,0 MPa sabit bir yükleme hızı seçilmiştir. Basınç en büyük yük değerine ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmıştır. Göstergeden okunan en büyük yük değeri kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekilde basınç deneyi yapılmış küp numuneler görülmektedir.

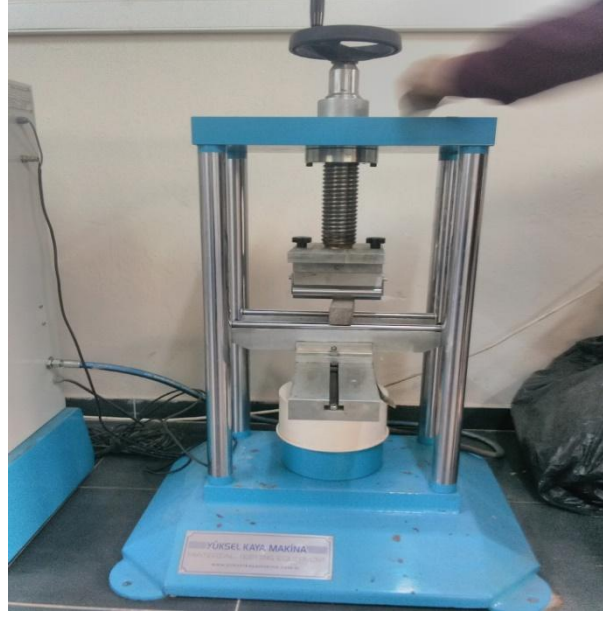


Şekil 3.24 Basınç Testi Yapılmış Küp Numuneler

3.2.4.2 Eğilme Deneyi

Eğilme deneyi, sertleşmiş numunelerinin eğilme dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Mesnet (alt) ve yükleme (üst) silindirleri yoluyla numunelere yük uygulanmış ve numuneler eğilme momentine maruz bırakılmıştır. Ulaşılan maksimum yük kaydedilip eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Deney makinasında 40x40x160 mm boyutundaki kare prizma şeklindeki numunelerin eğilme testleri yapılmıştır. Deney için TS EN 12390-4'e uygun deney makinası kullanılmıştır.

Deney makinesinin tüm yükleme yüzeyleri her test sonrası silinerek temizlenmiştir. Numunelerin üzerinde silindirlerin temas edeceği yüzeylerinde herhangi tane veya diğer fazlalık malzeme alınmıştır. Deney numunesi, makinaya tam merkezlenerek ve numune boyuna ekseni, üst ve alt yükleme silindirleri boyuna eksenine dik açı teşkil eder şekilde yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde eğilme makinasında deneyi yapılan numune görülmektedir.



Şekil 3.25 Eğilme Deneyi

Eğilme deneyi yapılırken yükleme işlemi mesnet silindirlilerinin tümü, numune yüzeyine düzgün şekilde tam temas etmesi sağlandıktan sonra yük uygulanmıştır. Yükleme 0,06 MPa/s arasında sabit gerilme artış hızı sağlanacak şekilde ayarlanmıştır. Yük, darbe etkisi oluşturulmadan, numune kırılıncaya kadar, sabit hızda artırılarak uygulanmıştır.

3.2.4.3 Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık kısaca tarif etmek gerekirse, herhangi bir maddenin veya malzemenin birim hacminin kütlesine verilen isimdir. Özgül ağırlık deneyi için, laboratuvar ortamında üretilmiş ve fırınlanmış deney numunelerinin yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Her bir deney numunesi ayrı ayrı hassas terazilerde tartılmak suretiyle ağırlıkları tespit edilmiştir. Küp ve kare prizma şeklinde ve boyutları 50x50x50 mm ve 40x40x160 mm olan numunelerin hacimleri belirlenerek yoğunlukları tespit edilmiştir.

Numunelerin her bir sıcaklık değerine ve tane boyutuna göre yoğunlukları mukayese edilmiştir. Ayrıca şahit numunelerin yoğunlukları ile ürün halindeki numunelerin yoğunluk bakımından birbirleriyle mukayesesi yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları $d=m/V$ formülüne göre hesaplanmış ve deney sırasında kaydedilmiştir.

Burada: d =Yoğunluk (g/cm^3) m =Kütle (g) V =Hacim (cm^3) şeklinde ifade edilmektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Numunelerin Test Sonuçları

Analsim taşı 1 mm, 2 mm ve 4 mm tane boyutlarında öğütüldükten sonra laboratuvar ortamında tane boyutlarına göre reçetelerine uygun olarak harç haline getirilmiştir. Sonrasında üretilen harçlar 40x40x160 mm boyutundaki kare prizma ve 50x50x50 mm boyutundaki küp kalıplara dökülerek kalıplanmıştır. Kalıplanan harçlar kalıplarda 24 saat kaldıktan sonra kalıplardan çıkarılmış ve prizlerini almaları için 28 gün süre ile kür havuzunda bekletilmişlerdir. Kür havuzundan 28 gün sonunda çıkarılan numuneler 24 saat süre ile kurumaya alınmış, fırınlama aşaması öncesi üzerindeki suyun uzaklaştırılması ve fırın içinde yüksek sıcaklıkta patlamasının önüne geçilmiştir. Fırınlama aşamasında ise numuneler 200 °C, 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarda 2 saat boyunca fırınlanmışlardır. Fırınlama işlemi uygulanan numuneler daha sonra laboratuvar ortamında doğal yollarla soğutulmuşlardır. Soğuyarak ortam sıcaklığına ulaşan numuneler ve şahit numuneler mekanik dayanımlarının ölçülmesi için basınç ve eğilme testlerine tabi tutulmuş ve yoğunlukları belirlenmiştir. Numunelerden 50x50x50 mm boyutundaki küp şeklinde üretilen numunelere basınç testi, 40x40x160 mm boyutundaki kare prizma şeklinde üretilen numunelere ise eğilme testi uygulanmıştır.

Basınç ve eğilme testlerine tabi tutulan numunelerin bir kısmı, reçetelerine göre üretimi yapılmış olan numunelerden, bir kısmı ise ham halde bulunan analsim taşından (ham taş) 50x50x50 mm ve 40x40x160 mm boyutlarında kesilmiş olan şahit numunelerden oluşmaktadır.

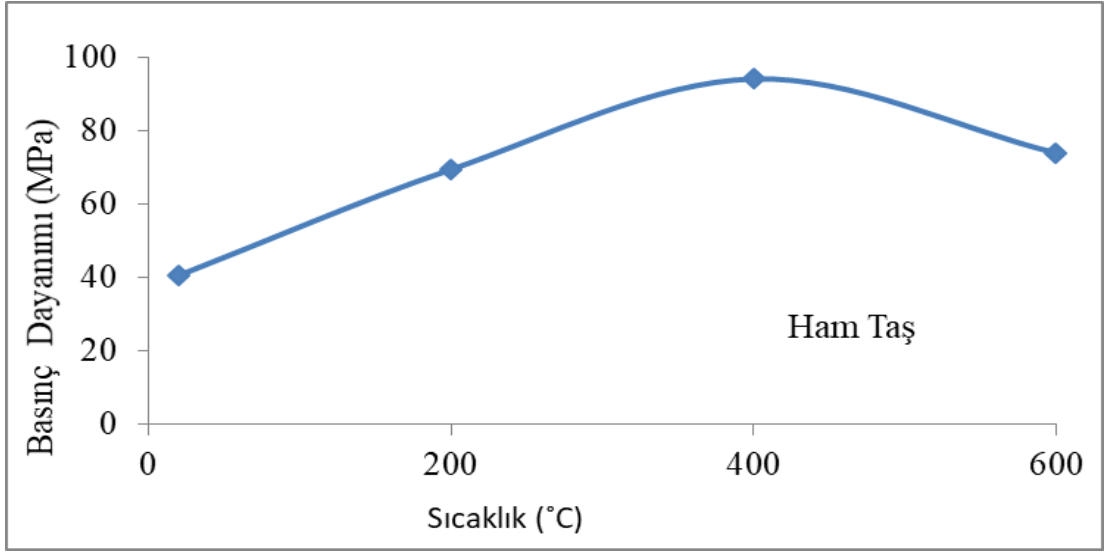
4.1.1 Basınç Deneyi

Basınç testi 50x50x50 mm boyutlarındaki, şahit numunelere (ham taş) ve ürün haline getirilmiş numunelere uygulanmıştır. Basınç testi yapılırken numunelerin herbiri teker teker basınç makinesine konulmuş ve ortaya çıkan test sonuçları verileri aşağıdaki Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Basınç deneyleri sonrası elde edilen verilerin, yapıldıkları sıcaklık ve malzeme boyutuna göre değişimleri Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında verilmiştir.

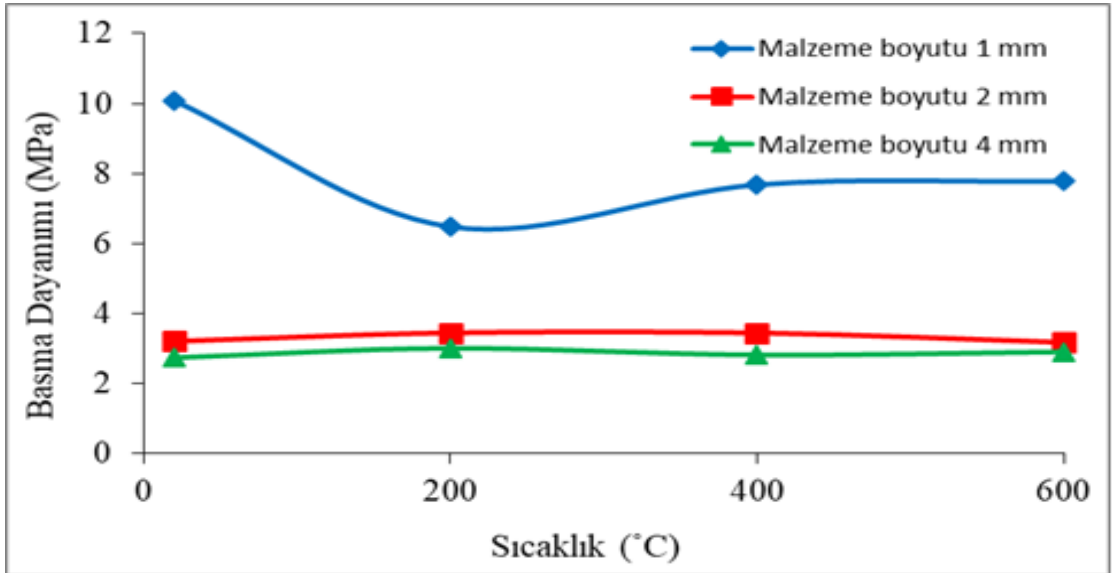
Çizelge 4.1 Basınç Deneyine Tabi Tutulan 50x50x50mm Boyutundaki Numunelerin Sıcaklık ve Tane Boyutuna Bağlı Olarak Basınç Dayanımı Değerleri

Num. No.	Tane Boyutu (mm)	Fırınlama Derecesi (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)	Yoğunluk (g/cm³)
1	Ham taş (Şahit numune)	20	40.640	2.62
2	Ham taş (Şahit numune)	200	69.460	2.46
3	Ham taş (Şahit numune)	400	94.080	2.45
4	Ham taş (Şahit numune)	600	73.960	2.36
5	1 mm Harç numune (Şahit)	20	10.080	1.87
6	2 mm Harç numune (Şahit)	20	3.211	1.79
7	4 mm Harç numune (Şahit)	20	2.744	1.72
8	1 mm Harç numune	200	6.480	1.57
9	2 mm Harç numune	200	3.450	1.59
10	4 mm Harç numune	200	3.011	1.55
11	1 mm Harç numune	400	7.680	1.65
12	2 mm Harç numune	400	3.450	1.62
13	4 mm Harç numune	400	2.820	1.64
14	1 mm Harç numune	600	7.780	1.64
15	2 mm Harç numune	600	3.180	1.57
16	4 mm Harç numune	600	2.910	1.63



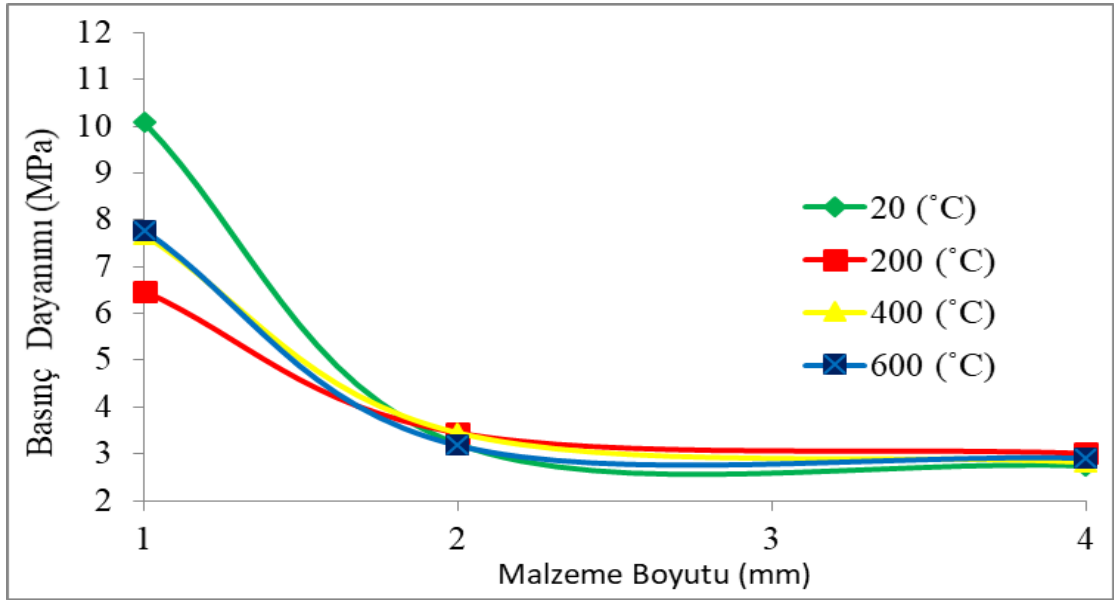
Şekil 4.1 Ham Analsim Taşının (50x50x50 mm) Sıcaklığa Bağlı Basınç Dayanımı

Ham analsim taşının 50x50x50 mm boyutundaki küpü hem doğal haliyle hem de 3 farklı sıcaklıkta (200 °C, 400 °C, 600 °C) ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra basınç deneyine tutulmuş sonuçlar Şekil 4.1’de sıcaklığa bağlı basınç dayanımı grafiğinde verilmiştir. Doğal halde analsimin basınç dayanımı 40.64 MPa iken 400 °C sıcaklıkta bu değer 94.08 MPa değerine ulaşmış, sıcaklık 600 °C’ çıktığında basınç dayanımı 73.96 MPa değerine düşmüştür. Ham analsime göre sıcaklığın (200 °C, 400 °C, 600 °C) analsimin dayanımını sırasıyla %70.91, %131.49, %81.98 düzeyinde artmıştır.



Şekil 4.2 Üç Farklı Boyutta İşlenmiş Analsim Taşının (50x50x50 mm) Sıcaklığa Bağlı Basınç Dayanımı

Üç farklı boyuttaki (1 mm, 2 mm, 4 mm) analsim harcından üretilen 50x50x50 mm boyutundaki küpü hem doğal haliyle hem de 3 farklı sıcaklıkta (200 °C, 400 °C, 600 °C) ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra basınç deneyine tutulmuş sonuçlar farklı boyuttaki analsim taşından üretilen küplerin sıcaklığa bağlı basınç dayanımı karşılaştırmalı olarak Şekil 4.2'deki grafikte verilmiştir. Isıl işlem görmemiş 1 mm boyutundaki analsim taşından üretilen küpün dayanımı 10.08 MPa iken sıcaklık artışı ile basınç dayanımı 6.48 MPa'la kadar azalmıştır. Bu azalmanın oranı, reçetesi üste verilen 1 mm'lik analsim harcı için %35'tir. Ancak 2 mm ve 4 mm boyutundaki analsim taşından üretilen küplerin sıcaklıkla basınç dayanımlarında dikkate değer değişim görülmemiştir.



Şekil 4.3 Üç Farklı Boyutta İşlenmiş Analsim Taşının (50x50x50 mm) Malzeme Boyutuna Bağlı Basınç Dayanımı

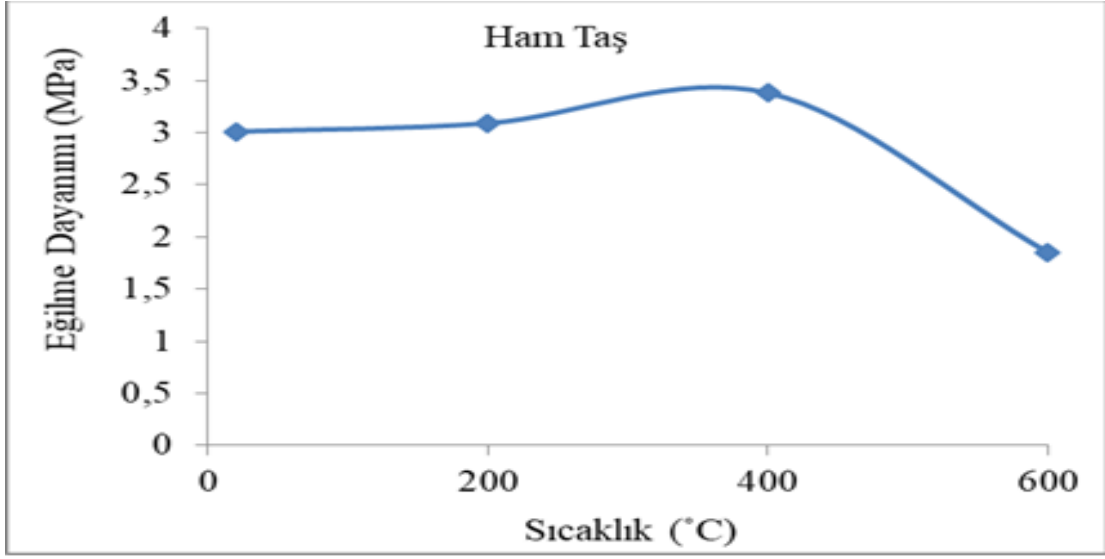
Üç farklı boyuttaki (1 mm, 2 mm, 4 mm) analsim harcından üretilen 50x50x50 mm boyutundaki küpü hem doğal haliyle hem de 3 farklı sıcaklıkta (200 °C, 400 °C, 600 °C) ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra basınç deneyine tutulmuş basınç dayanımı değişimleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.3'deki grafikte verilmiştir. Isıl işlem görmemiş 1 mm boyutundaki analsim taşından üretilen küpün dayanımı 10.08 MPa iken aynı sıcaklıkta tane boyutunun artması (2 mm, 4 mm) ile basınç dayanımı sırasıyla %68.15 ve %72.7 düşmüştür. İmalatın gerçekleştirildiği harç karışım reçetesi için tane boyutu arttıkça basınç dayanımı benzer şekilde düşmüştür.

4.1.2 Eğilme Deneyi

Eğilme testi uygulanan numunelerin verileri aşağıdaki Çizelge 4.2 'de verilmiştir. Eğilme deneyleri sonrası elde edilen verilerin, yapıldıkları sıcaklık ve malzeme boyutuna göre değişimleri Şekil 4.4 ile Şekil 4.6 arasında verilmiştir.

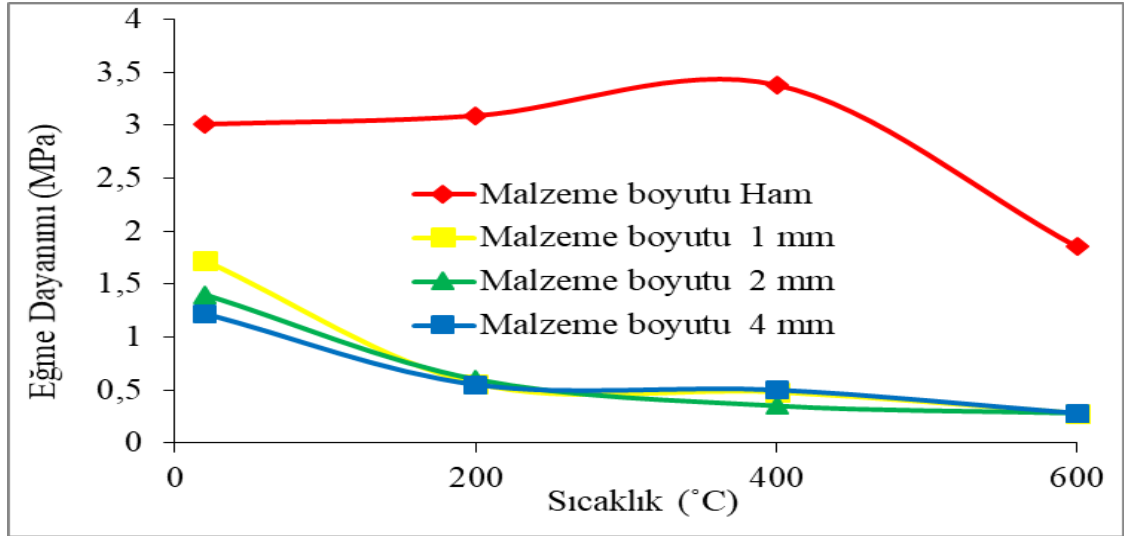
Çizelge 4.2 Eğilme Deneyine Tabi Tutulan 40x40x160mm Boyutundaki Numunelerin Sıcaklık ve Tane Boyutuna Bağlı Olarak Eğilme Dayanımı Değerleri

Num. No.	Tane Boyutu (mm)	Fırlama Derecesi (°C)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	Ham taş (Şahit numune)	20	3.010
2	Ham taş (Şahit numune)	200	3.090
3	Ham taş (Şahit numune)	400	3.380
4	Ham taş (Şahit numune)	600	1.850
5	1 mm Harç numune (Şahit)	20	1.720
6	2 mm Harç numune (Şahit)	20	1.400
7	4 mm Harç numune (Şahit)	20	1.220
8	1 mm Harç numune	200	0.560
9	2 mm Harç numune	200	0.600
10	4 mm Harç numune	200	0.550
11	1 mm Harç numune	400	0.480
12	2 mm Harç numune	400	0.550
13	4 mm Harç numune	400	0.500
14	1 mm Harç numune	600	0.280
15	2 mm Harç numune	600	0.350
16	4 mm Harç numune	600	0.280



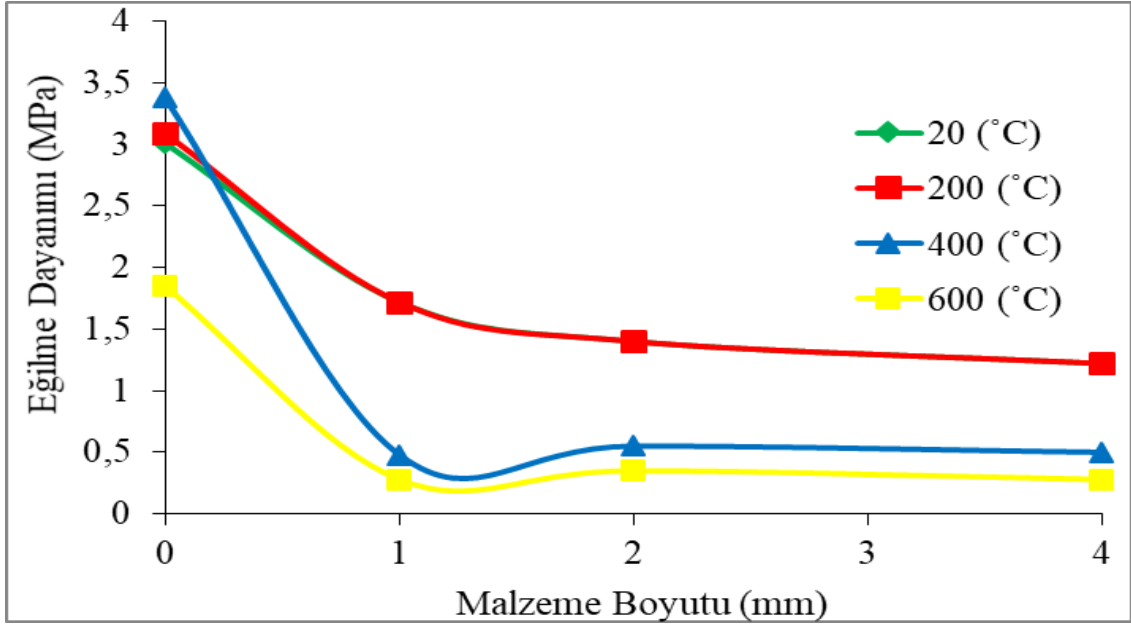
Şekil 4.4 Ham Analsim Taşının (40x40x160 mm) Sıcaklığa Bağlı Eğilme Basınç Dayanımı

Ham analsim taşının 40x40x160 mm boyutundaki kare prizmanın hem doğal haliyle hem de 3 farklı sıcaklıkta (200 °C, 400 °C ve 600 °C) ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra eğilme deneğine tutulmuş sonuçlar Şekil 4.4’de sıcaklığa bağlı eğilme dayanımı grafiğinde verilmiştir. Doğal halde analsimin eğilme dayanımı 3.01 MPa iken 400 °C sıcaklıkta bu değer 3.38 MPa değerine çıkmış ve dayanım artışı %12 olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık 600 °C’ çıktığında basınç dayanımı 1.85 MPa değerine düşmüştür ve ısıl işlem görmemiş numuneye göre %38 dayanım düşüşü gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5 İşlenmiş Analsim Taşının (40x40x160 mm) Sıcaklığa Bağlı Eğilme Basınç Dayanımı

Malzeme sıcaklığının artması eğilme dayanımını yaklaşık %84 oranında düşürmektedir. Ancak zaten çok düşük olan eğilme dayanımının, 1mm'lik harç numune için 20°C' de 1.72 MPa iken 600°C'de 0.28 MPa değerine düşmesi anlamına gelmektedir. Ham taşın eğilme dayanımı 20 °C'de 3.01 MPa iken ortalama analsimin öğütülmesi durumunda oluşturulan ürünün dayanımı yaklaşık %50 oranında daha azdır. Bu durum tane boyutunun artması ile de yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



Şekil 4.6 İşlenmiş Analsim Taşının (40x40x160 mm) Malzeme Boyutuna Bağlı Eğilme Basınç Dayanımı

Üç farklı boyuttaki (1 mm, 2 mm, 4 mm) analsim harcından üretilen 40x40x160 mm boyutundaki kare prizmayı hem doğal haliyle hem de 3 farklı sıcaklıkta (200°C, 400 °C, 600°C) ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra basınç deneyine tutulmuş basınç dayanımı değişimleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.6'daki grafikte verilmiştir. Isıtılma görmemiş 1 mm boyutundaki analsim taşından üretilen kare prizmanın eğilme dayanımı 1.72 MPa iken aynı sıcaklıkta tane boyutunun artması (2 mm, 4 mm) ile eğilme dayanımı sırasıyla %18.60 ve %29.06 oranında düşmüştür.



Şekil 4.7 Eğilme Dayanımı Testi Yapılmış Numuneler



Şekil 4.8 Eğilme Dayanımı Testi Yapılmış Numuneler

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de eğilme testi yapılmış kare prizma şeklindeki şahit numuneler görünmektedir. 200 °C ve 400 °C’de fırınlanmış numuneler dikine kırılırken 600 °C’de fırınlanmış numuneler eğimli olarak kırılmıştır.

Çalışma sıcaklığı 200 °C'den 600 °C'ye yükseldikçe şahit numuneler arasındaki renk tonu belirgin bir şekilde değişime uğramıştır. Sıcaklık değeri yükseldikçe analsim taşının şahit numunelerin rengi açık yeşilden açık kahverengine dönüşmüştür.

Aşağıdaki şekilde 3 farklı çalışma sıcaklığında fırınlanan numunelerin renk değişimi görülmektedir.



Şekil 4.9 Fırınlanmış Şahit Numuneler

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

1. Doğal haldeki analsimin basınç dayanımı 40.64 MPa ilen 400 °C sıcaklıkta bu değer 94.08 MPa değerine ulaşmış, sıcaklık 600 °C'ye çıktığında basınç dayanımı 73.96 MPa değerine düşmüştür. Ham analsime göre sıcaklık (200 °C, 400 °C, 600 °C) analsimin basma dayanımını sırasıyla %70.91, %131.49, %81.98 oranında değiştirmiştir.
2. Isıl işlem görmemiş 1 mm boyutundaki analsim taşından üretilen küpün dayanımı 10.08 MPa iken sıcaklık artışı ile basınç dayanımı 6.48 MPa'la kadar düşmüştür. Bu düşüş reçetesi üste verilen 1 mm'lik analsim harcı için %35'tür. Ancak 2 mm ve 4 mm boyutundaki analsim taşından üretilen küplerin sıcaklıkla basınç dayanımlarında dikkate değer değişim görülmemiştir.
3. Isıl işlem görmemiş 1 mm boyutundaki analsim taşından üretilen küpün dayanımı 10.08 MPa iken aynı sıcaklıkta tane boyutunun artması (2 mm, 4 mm) ile basınç dayanımı sırasıyla %68.15 ve %72.7 oranında düşmüştür. İmalatın gerçekleştirildiği harç karışım reçetesi için tane boyutu arttıkça basınç dayanımı benzer şekilde düşmüştür.
4. Doğal halde analsimin eğilme dayanımı 3.01 MPa ilen 400 °C sıcaklıkta bu değer 3.38 MPa değerine çıkmış ve dayanım artışı %12 olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık 600 °C'ye çıktığında basınç dayanımı 1.85 MPa değerine düşmüştür ve ısıl işlem görmemiş numuneye göre %38 dayanım düşüşü gerçekleşmiştir.
5. Malzeme boyutunun artması eğilme dayanımını yaklaşık %84 oranında düşürmektedir. Ancak bu veriler zaten çok düşük olan eğilme dayanımının 1.72 MPa'dan 0.28 MPa değerine düşmesi anlamına gelmektedir. Ham taşın eğilme dayanımı 20 °C'de 3.01 MPa iken ortalama analsimin öğütülmesi durumunda oluşturulan ürünün dayanımı yaklaşık %50 daha azdır. Bu durum tane boyutunun artması ile de yaklaşık olarak aynı kalmıştır.
6. Malzeme boyutunun artması eğilme dayanımını çok az miktarda değiştirmiştir. Sıcaklık artışı ile analsim tanelerini birleştiren çimentonun bağlayıcılık özelliğini yitirdiği görülmektedir.
7. Basınç deneğinde 200 °C ve 400 °C'de fırınlanmış numuneler dikine kırılırken 600 °C'de fırınlanmış numuneler eğimli olarak kırılmıştır.
8. Sıcaklık değeri yükseldikçe analsim taşının şahit numunelerin rengi açık yeşilden açık kahve rengine dönüşmüştür.

Çalışılan konunun sürdürülebilir bir niteliğe sahip olması dolayısıyla, konu kapsamında yapılabilecek yeni çalışmalar için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

1. Yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlar dikkate alındığında oluşturulan reçeteler değiştirilerek çalışmalar tekrar edilebilir.
2. Malzemenin tane boyutu 1 mm'nin altında veya 4 mm'nin üzerinde olacak şekilde numunelerin yüksek sıcaklığa bağlı dayanım değişimleri belirlenebilir.
3. Farklı bağlayıcı malzemelerin etkisi incelenebilir.
4. Farklı katkı maddeleri kullanılabilir.
5. Daha geniş sıcaklık aralıklarında deneyler yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akgün, M. (2006). Parafinle Gizli Isı Depolamada Depo Geometrisi Optimizasyonu Üzerine Deneysel Çalışma.
- Barrer, R. M. (1978). Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. London and New York Academic Press, London, England, 497pp.
- 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.
- Bilim, C. (2011). Çimento harçlarında ikame malzemesi olarak zeolit ve silis dumunu kullanılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 339-345.
- 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.
- Demirbilek, R., Erdoğan D.C., & Seçgin, B. (2008) Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Alan Eğitiminde Bitirme Projeleri Yenilenebilir Enerjiler.
- Demirel B., & Gönen, T. 2008. Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 223-228.
- Dincer, I., & Rosen, M. (2002). Thermal energy storage: Systems and Applications. John Wiley & Sons, New York, USA, 237pp.
- 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 naturalzeolite and industrial by-products on alkali-silica reaction and sulfateresistance of concrete. *Construction and Building Material*. (25), 1789-1795.
- Kaya, T., Karakurt, C., & Dumangöz, M. 2014. Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 39-44.

- Kaygusuz, K. (1992). Karadeniz Bölgesindeki Konutların Güneş Destekli Isı Pompaları Yardımıyla Isıtılabilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kızıllıkanat, A., & Yüzer, N. (2008). Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi. *Teknik Dergi* 19 4381-4392
- Öcal, R. (2014). Yüksek sıcaklığın doğal zeolit katkılı betonlar üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde.
- Ökten, K., & Özdemir, M. (2016). Isı geri kazanımı ve depolanmasında sıcaklık farklarının korunması için cam yünü ile donatılı tankların ısı incelenmesi, *SAÜ Fen Bil Der.* 20(2), 291-299.
- 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.
- 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 66 from water: Surfactant modified zeolite. *Science China 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.
- Smith, J. V. (1963). Structural classification of zeolites. *Mineralogical Society of America Special Paper*, 1, 281-290.
- 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.
- Tiskatine, R., Aharoune, A., Bouirden L., & Ihlal A. (2017). Identification of suitable storage materials for solar thermal power plant using selection methodology Applied. *Thermal Engineering*, 117, 591-608.
- 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, Low-tech and high-tech materials and Technologies for sustainable buildings, 26th – 28th June, Prague, Czech Republic.
- Yılmaz, M.Ö. (2005). Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yılmaz, T. (2018). Analsim ve Klinoptilolit İkamesi ile Üretilmiş Çimento Harç ve Betonun Isı Depolamada Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- 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

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Umut ÇALIŞ
Doğum Yeri	Perşembe/Ordu
Doğum Tarihi	19.07.1982
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0 530 884 90 59
E-Posta Adresi	umut_calis@hotmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	31.05.2004
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	