



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAFİF BLOK ÜRETİMİNDE ZEOLİT KULLANIMININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehtap ALİM

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Murat ÇAVUŞ

TOKAT- 2023

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum **“Hafif Blok Üretiminde Zeolit Kullanımının İncelenmesi”** adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

23/01/2023

Mehtap ALİM

İmza

JÜRİ KABUL VE ONAY

Mehtap ALİM tarafından hazırlanan “**Hafif Blok Üretiminde Zeolit Kullanımının İncelenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23.01.2023 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan): Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şinasi BİNGÖL..

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ ...

.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının en başından sonuna kadar deneyler ve tez yazım aşamasında yardımlarını bir an bile esirgemeyen, benim için büyük bir şans olan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat Çavuş'a sonsuz teşekkürlerimle...

Her zaman yanımda olup bana maddi manevi destek olan, haklarını asla ödeyemeyeceğim, varlıklarına şükrettiğim aileme teşekkürlerimle... Yine bana destek olan, tezi yazmam konusunda beni cesaretlendiren, sözleriyle bana güç veren dostlarıma teşekkür ederim.

Ve bir tanecik oğlum Tuna'ma... Tezin deney aşamasında yokluğuma sabrettiği için ve yazma aşamasında da beraber oyun zamanlarından fedakarlık edip bana izin verdiği için bunun yanında minik parmaklarıyla tezime eklemiş olduğu her bir harf için teşekkür ederim.

Küresel ısınmanın etkilerini artık fazlasıyla hissettiğimiz günümüzde, evlatlarımıza daha yaşanabilir bir Dünya bırakabilmek adına ufak da olsa katkısı olması temennisiyle...

ÖZET

HAFİF BLOK ÜRETİMİNDE ZEOLİT KULLANIMININ İNCELENMESİ

Alim, Mehtap

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat Çavuş

Ocak 2023, Sayfa sayısı, 85

Hafif bloklar, içerisinde hacimce %75-80 oranında hava boşluğu bulunan ve bağlayıcı olarak çoğunlukla çimento kullanılarak üretilen yapı malzemeleridir. Genellikle üç farklı yöntemle üretilirler. Bunlar sırasıyla; hafif agregalar kullanarak, alüminyum tozunu sıcak buhar basıncı altında kullanarak ve karışıma dışarıdan köpük eklemek suretiyle yapılmaktadır. Bu çalışmada, esas bağlayıcı olan çimentoya zeolit ikamesi yapılarak çimento hamurları hazırlanmıştır. Zeolit, çimentoyla ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yer değiştirilerek karışıma ilave edilmiştir. Üretilen bu karışımlara hacimce %20 ve %40 oranlarında köpük ilavesi yapılarak hafif blok harçları üretilmiştir. Hazırlanan numuneler standart su kürü ve 60 °C basınçsız buhar kürüne tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına bakılmıştır. Aynı zamanda numunelere taze birim hacim ağırlık, birim hacim ağırlık, su emme ve görünür porozite, ısı iletkenlik ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Mikroyapı ve mineralojik özelliklerini belirlemek için ise SEM/EDX analizleri gerçekleştirilmiştir. En iyi basınç dayanımına ve ısı iletkenlik değerine sahip numuneler belirlenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi dayanım değerleri %15 zeolit ikameli su kürü uygulanan serilerde olduğu saptanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Zeolit, Hafif Blok, Köpük Ajanı, Isı iletkenlik, Kür etkisi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USE OF ZEOLITE IN LIGHT BLOCK PRODUCTION

Alim, Mehtap

Tokat Gaziosmanpasa University Institute Graduate Studies

Master's Thesis, Department of Civil Engineering

Advisor: Assist. Prof. Dr. Murat Çavuş

January 2023, Number of pages, 85

Lightweight blocks are building materials that contain 75-80% air space by volume and are mostly produced using cement as a binder. They are usually produced by three different methods. These are; using lightweight aggregate, using aluminum powder under hot steam pressure, and adding foam to the mixture from outside. In this study, cement pastes were prepared by substituting zeolite to cement as the main binder. Zeolite was added to the mix by replacing cement at 5%, 10%, 15%, and 20% by weight. The foam was added to these mixtures at 20% and 40% by volume to produce lightweight block mortars. The prepared specimens were subjected to standard water curing and 60 °C unpressurized steam curing. Then, the 1-, 7- and 28-day compressive strengths of the specimens were determined. The specimens were also subjected to fresh unit volume weight, unit volume weight, water absorption and apparent porosity, thermal conductivity, and ultrasound transmission rate tests. SEM/EDX analyses were performed to determine microstructural and mineralogical properties. The samples with the best compressive strength and thermal conductivity values were determined and the results were evaluated. According to the results obtained, the best strength values were found to be in the series with 15% zeolite substitution water curing.

KEYWORDS: Zeolite, Light Block, Foaming Agent, Thermal conductivity, Curing effect

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	viii
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETLERİ	4
3.GENEL BİLGİLER	21
3.1. Zeolit	21
3.1.1. Zeolitın üretimi.....	24
3.1.2. Zeolitlerin sınıflandırılması.....	26
3.1.3. Doğal ve yapay zeolitlerin kullanım alanları	26
3.2. Köpük Ajanı	30
3.3. Çimento	31
3.4. Hafif Blok.....	31
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
4.1. Karışımda Kullanılan Malzemeler	33
4.1.1. Zeolit	33
4.1.2. Su.....	33
4.1.3. Köpük ajanı	34
4.1.4. Portland çimentosu.....	34
4.1.5. Köpük.....	35
4.2. Karışım Oranlarının Belirlenmesi	35
4.3. Karışımların Hazırlanması	36
4.4. Deneyler	42
4.4.1. Zeolit katkılı hafif blok harçların taze birim ağırlık deneyi	42
4.4.2. Kuru birim hacim ağırlık deneyi	43
4.4.3. Su emme ve görünür porozite deneyleri	44
4.4.4. Basınç dayanımı deneyleri	46
4.4.5. Ultrases geçiş hızı belirleme deneyi.....	47

4.4.6. Isı iletkenlik deneyi	49
4.4.7. Zeolit katkılı hafif blok numunelerin mikro yapısal özelliklerine bakılması.....	50
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	52
5.1.Taze Birim Hacim Ağırlık Deneylerinin Sonuçlarına Bakış	52
5.2.Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneylerinin Sonuçlarına Bakış	52
5.3.Su Emme ve Görünür Porozite Deneylerinin Sonuçlarına Bakış	53
5.4.Basınç Dayanım Deneylerinin Sonuçlarına Bakış	55
5.5.Ultrases Geçiş Hızı Belirleme Deneylerinin Sonuçlarına Bakış	58
5.6.Isı İletkenlik Deneylerinin Sonuçlarına Bakış	60
5.7.Zeolit Katkılı Hafif Blok Numunelerin Mikro Yapı Analiz Sonuçlarına Bakış ...	62
5.7.1.SEM görüntüleme analiz sonuçları	62
5.7.2.EDX analizi	75
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
7.KAYNAKLAR	81
8.ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Bazı zeolitlerin fiziksel özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Doğal zeolitlerin oluşumları(Şener, 2013)	25
Çizelge 4.1. Zeolitin kimyasal analiz sonuçları.....	33
Çizelge 4.2. Portland çimentosunun kimyasal özellikleri.....	34
Çizelge 4.3. ZKHB numunelerinin üretimi için belirlenen karışım oranları	36



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 3.1: Zeolitin moleküler yapısı.....	23
Şekil 3.2: Temel zeolit yapısı	24
Şekil 3.3: Köpük ajanı solüsyonu ve elde edilmiş köpük	31
Şekil 3.4: Hafif blok elemanlarına ait bir görsel.....	32
Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan zeolit.....	33
Şekil 4.2: Köpük ajanı	34
Şekil 4.3: Köpük üretim makinesi	35
Şekil 4.4: Basınçsız sıcak buhar kürü çevrimi	37
Şekil 4.5: Malzeme tartımları ve kalıp hazırlığı	38
Şekil 4.6: Köpük üretimi.....	38
Şekil 4.7: Çimento hamuruna köpük ilavesi.....	39
Şekil 4.8: Köpük ilavesi yapılan harç karışımının mikserle karıştırılması işlemi	39
Şekil 4.9: Yağlanmış olan numune kalıpları.....	40
Şekil 4.10: Hazırlanan harç karışımının yağlanmış olan numune kalıplarına dökülmesi	40
Şekil 4.11: Yüzey düzeltme işlemi	41
Şekil 4.12: Numune yüzeylerinin yağlanmış camla kaplanması	41
Şekil 4.13: Numunelerin kür ortamlarına alınması.....	42
Şekil 4.14: Silindirik kap yardımıyla taze harç birim hacim ağırlıklarının ölçümü	43
Şekil 4.15: ZKHB numunelerine ait kuru birim hacim ağırlıklarının ölçümü.....	44
Şekil 4.16: 24 saat suda bekletilen ZKHB numuneleri.....	45
Şekil 4.17: ZKHB numunelerinin suya doymuş ağırlıklarının ölçümü.....	46
Şekil 4.18: ZKHB numunelerinin basınç dayanım değerlerinin ölçümü.....	47
Şekil 4.19: Ultrases ölçüm cihazı	48
Şekil 4.20: Numunelerin ultrases hız ölçümü	48
Şekil 4.21: Isıl iletkenlik katsayılarının ölçümünde kullanılan cihaz	49
Şekil 4.22: Isıl iletkenlik deneyi için üretilen numuneler	50
Şekil 4.23: Taramalı elektron mikroskobu	51
Şekil 5.1: ZKHB numunelerinin taze birim hacim ağırlık grafiği	52
Şekil 5.2: ZKHB numunelerine ait kuru birim hacim ağırlık grafiği.	53
Şekil 5.3: Su küründeki ZKHB numunelerinin su emme değerlerine ait grafik.....	54
Şekil 5.4: Buhar küründeki ZKHB numunelerinin su emme değerlerine ait grafik	54
Şekil 5.5: Kür koşullarına göre su emme değerlerinin kıyaslanması.....	55
Şekil 5.6: Su kürü uygulanan numunelere ait basınç dayanım değerleri	56
Şekil 5.7: Buhar kürüne tabi tutulan numunelere ait basınç dayanım değerleri	57
Şekil 5.8: Kür koşullarına göre basınç dayanım değerlerinin kıyaslanması	57
Şekil 5.9: Su küründe bekletilen numunelere ait ultrases geçiş hızı grafiği	58
Şekil 5.10: Buhar küründe bekletilen numunelerin ultrases geçiş hızı grafiği.	59
Şekil 5.11: Kür koşullarına göre kıyaslama.....	59
Şekil 5.12: Su küründe bekletilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısı grafiği	60
Şekil 5.13: Buhar kürü uygulanmış numunelerin ısı iletkenlik katsayısı grafiği.....	61
Şekil 5.14: Kür koşullarına göre kıyaslama.	62
Şekil 5.15: R20/H numunesinden bir kesit	62
Şekil 5.16: R20/H numunesine ait SEM’de görülen çatlak ve gözenekler	63
Şekil 5.17: R20/H numunesinin kristal yapısına ait görsel.....	63
Şekil 5.18: R20/W numunesinden bir kesit.	64

Şekil 5.19: R20/W numunesine ait SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	64
Şekil 5.20: R20/W numunesinin kristal yapısına ait görsel.....	65
Şekil 5.21: Z05/20/H numunesinden bir kesit	65
Şekil 5.22: Z05/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	65
Şekil 5.23: Z05/20/H numunesi kristal yapısı	66
Şekil 5.24: Z05/20/W numunesinden bir kesit.	66
Şekil 5.25: Z05/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	67
Şekil 5.26: Z05/20/W numunesi kristal yapısı.....	67
Şekil 5.27: Z10/20/H numunesinden bir kesit	67
Şekil 5.28: Z10/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	68
Şekil 5.29: Z10/20/H numunesi kristal yapısına ait görsel	68
Şekil 5.30: Z10/20/W numunesinden bir kesit.	68
Şekil 5.31: Z10/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	69
Şekil 5.32: Z10/20/W numunesi kristal yapısı.....	69
Şekil 5.33: Z15/20/H numunesinden bir kesit	69
Şekil 5.34: Z15/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	70
Şekil 5.35: Z15/20/H numunesi kristal yapısı	70
Şekil 5.36: Z15/20/W numunesinden bir kesit	71
Şekil 5.37: Z15/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	71
Şekil 5.38: Z15/20/W numunesi kristal yapısı.....	72
Şekil 5.39: Z20/20/H numunesinden bir kesit.	72
Şekil 5.40: Z20/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	73
Şekil 5.41: Z20/20/H numunesi kristal yapısı	73
Şekil 5.42: Z20/20/W numunesinden bir kesit.	73
Şekil 5.43: Z20/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler.....	74
Şekil 5.44: Z20/20/W numunesi kristal yapısı.....	74
Şekil 5.45: R20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH)	75
Şekil 5.46: Z05/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği(CH).....	76
Şekil 5.47: Z10/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH).....	76
Şekil 5.48: Z15/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği(CH).....	77
Şekil 5.49: Z20/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH).....	77

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
MPa	Megapascal
S	Numuneye ait ölçüm yapılan iki yüzey arası mesafe
t	Zaman
°C	Santigrat
Cm	Santimetre
m ²	Metrekare
WTBHA	Taze harç birim hacim ağırlık
WKalıp+Harç	Köpüklü harç ile doldurulmuş silindirik kalıbın ağırlığı
WKalıp	Silindirik kalıbın ağırlığı
VSKH	Silindirik kalıbın hacmi
WBHA	Birim hacim ağırlık
WEtöv	Laboratuvar ortamında ve etüvde bekletilen numunelerin ağırlıkları
VPKH	Prizmatik kalıbın hacmi
Sa	Hafif blok su emme oranı
GP	Görünür Porozite
P1	Numunenin kuru ağırlığı
P2	Suya doymuş numunenin ağırlığı
P3	Numunenin su içerisindeki ağırlığı
σ	Basınç dayanımı
P	Numuneye uygulanan yük

A	Numunenin basınç uygulama alanı
Vses	Ultrases geçiş hızı
W/mK	Watt/ metre Kelvin

Kısaltmalar	Açıklama
Anafom	Anadolu Köpüğü
SiC	Silisyum Karbür
CO ₂	Karbondiyoksit
DM	Devlet Meteoroloji rgt
HB	Hafif Beton
NB	Normal Beton
SD	Silis Dumanı
SA	Süper Akışkanlaştıracı
UK	Uçucu Kül
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
KAÇ, CAC	Kalsiyum Alüminat imentosu
LT	Lityum Karbonat
CMC	Karboksimetil Selüloz
HP	Hidrojen Peroksit
KI	Potasyum İyodür
PLT	Genleştirilmiş Perlit
YFC	Yüksek Fırın Cürufu

PÇ	Portland Çimentosu
XRD	X- Işınları Difraksiyonu
XRF	X Işını Floresans
TGA	Termogravimetrik Analiz
F-TIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi
ZKHB	Zeolit Katkılı Hafif Blok
Al-Si	Alüminyum Silisyum
SO ₂	Kükürtdioksit
SiO ₂	Silisyumdioksit
CaO	Kalsiyumoksit
Al ₂ O ₃	Alüminyumoksit
Fe ₂ O ₃	Demiroksit
K ₂ O	Potasyumoksit
MgO	Magnezyumoksit
TiO ₂	Titanyumdioksit
Na ₂ O	Sodyumoksit
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü
S/Ç	Su/Çimento

1. GİRİŞ

Türkiye’de inşaat faaliyetleri, değişen yaşam tarzı ve sürekli gelişen ihtiyaçlar göz önüne alındığında birtakım değişiklikler yapılması zorunlu hale gelmiştir. Son yıllarda yeni eğilimlere sektördeki ilginin gözle görülür biçimde artması doğrultusunda akıllı bina sistemleri, çevreci yapılar, modern yaşam alanları, ev-ofis sistemleri ile eğlence ve aktivite merkezleri modern projelerde kendini göstermiştir (Sezgin ve Aşarkaya, 2017).

Türkiye’deki ekonomik büyümede en fazla katkısı olan sektörlerin başında gelen inşaat sektörü, kendisine girdi sağlayan birçok alt sektörün gelişimine de katkı sağlayarak ülkenin istihdamdaki kapasitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Hükümet politikalarının ve alınan ekonomik kararların ve yine yurt dışı piyasalarında yaşanan gelişmelerin de sektörü doğrudan etkilediği görülmektedir.

Türkiye’de 2018 yılında inşaat sektöründe %1.9, 2019 yılında yine yurt içi piyasasında yaşanan olumsuz bazı gelişmeler sonrasında %8.6 ve 2020 yılında yaşanan Covid salgınına bağlı olarak gerçekleşen pandemi sürecinin etkileri ile birlikte %3.5 oranında daralma izlenmiştir (Anonim, 2022). Ekonomik faaliyetlerin 2022 yılının ilk yarısında destekleyici politikalara bağlı olarak genişleme ivmesini koruduğu yönünde istatistiki analizler yapılmıştır. Bu çerçevede Türkiye ekonomisi, Nisan-Haziran 2022 döneminde güçlü hane halkı tüketimi, hızlı artan hizmet ve sanayi sektörü faaliyetleri ile ihracatın katkısı neticesinde yıllık bazda %7.6 oranında bir büyüme göstermiştir. Ancak aynı dönemde inşaat sektörü ise %10.9 küçülmüştür (Anonim, 2022).

Son yıllarda inşaat sektöründe maliyetlerin devamlı olarak arttığı görülmektedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında yapı malzemelerini üretme aşamasında mümkün mertebe maliyeti düşürmek amaçlanmıştır. Bu sayede satış fiyatlarında bir nebze de olsa düşme sağlanacak bu da talep artışını destekleyecektir. Günümüz insanının bir diğer beklentisi de her açıdan konforlu binalardır. İnsanlar ses ve ısı kontrollü binalar tercih etmektedir. Bu iki etken de satış piyasasında talebin artmasını sağlayacak etkenlerdir.

Hafif blok; çimento, su ve özel agregaların karışımıyla meydana gelen ve yapısında % 75-80 dolaylarında birbirinden bağımsız kapalı hava kabarcıklarının bulunduğu gözenekli betona verilen isimdir (Anonim, 2014). Yapısında doğal agrega ile çimento haricinde malzeme bulundurmaz. Bu nedenle insan sağlığı açısından olumsuz herhangi

bir etkisi bulunmayan bir malzemedir. Binalarda kullanılan klasik yapı elemanları olan taş, tuğla, bims briket, dış cephe mantolama malzemeleri, tesviye betonu vb. yerine tercih edilebilecek hafif bir malzemedir. Isı ve ses yalıtımı sağlaması yanında yatırım ve üretim maliyetleri düşük, çevreci bir yapı ve yalıtım malzemesidir. Tüm bunlardan dolayı son yıllarda hafif blok elemanlara olan ilgi giderek artmaktadır.

Yukarıda sayılan klasik yapı elemanları yani bims briket, gaz beton ve blok gibi yapı malzemeleri Portland çimentosu kullanılarak üretilmektedir. Bahsedildiği gibi Portland çimentosunun üretimi küresel ısınma açısından tehdit oluşturmaktadır. Zeolit, milyonlarca yıl önce volkanların patlaması sonucu açığa çıkan kül ve lavların, göl veya deniz suları ile kimyasal reaksiyona girmesi neticesinde meydana gelir. Hafif blok, yüksek fırın cürufu gibi atık malzemelerin yanında zeolit gibi doğal malzemelerin kullanımına da imkan sağlayarak bu malzemelerin bağlayıcı olarak Portland çimentosu yerine kullanımını sağlamaktadır. Hem atık ve doğal malzemelerin değerlendirilmesi hem de Portland çimentosu kullanımının sınırlandırılmasıyla çevre dostu yapı malzemeleri elde edilmektedir.

İnsanlar tarafından atmosfere salınan gazların sera etkisi yaratması sonucunda, Dünya yüzeyindeki sıcaklığın yükselmesi küresel ısınma olarak tanımlanmaktadır. Küresel ısınma ve buna bağlı olarak meydana gelen küresel iklim değişikliği, son yıllarda Dünya'nın yoğun mücadele verdiği en önemli sorunların başında gelmektedir. Tüm canlıların yaşamlarını devam ettirebilmelerinde zorunlu olan gıda, su ve çevre vb. temel yaşam kaynaklarının varlığını da tehdit etmektedir. Bu sorun, atmosferde sera etkisi yaratan fosil kökenli gazların yoğunluğunun artmasından dolayı yaşanmaktadır (Bayraç, 2010). Bu çalışmada, CO₂ salınımının etkisiyle oluşan sera gazını en aza indirgeyerek sera gazının küresel ısınmaya etkisini biraz da olsa azaltarak gelecek nesillere daha yaşanabilir bir Dünya bırakmak amaçlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda Portland çimentosu kullanımını azaltmak amacıyla zeolit ikameli duvar blokları üretilmesi amaçlanmıştır. Zeolit, belli miktarlarda çimentoyla karıştırılmış daha sonra bu karışıma köpük ilavesi yapılarak bir harç elde edilmiştir. Bu harçtan kalıplara alınarak zeolit katkılı hafif blok eleman numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde taze birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, su emme ve

görünür porozite değerleri, ısı iletkenlik katsayısı ve ultrases geçiş hızı belirleme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca numunelere ait mikroyapısal özelliklere de bakılmıştır.

Bu çalışmada altı bölüm bulunmaktadır. İlk bölümde tez konusu ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde kaynak incelemesi yapılarak literatür taramalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde zeolit katkılı hafif blok üretiminde kullanılan malzemeler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde üretilen zeolit katkılı hafif blok elamanların üretim metotları ve yapılan deneyler hususunda bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde yapılan çalışmalar ve laboratuvar ortamında elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlar başlığı altında verilen bölümde ise yapılan çalışmaya dair sonuçlara yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Serbest(1999)'in yaptığı tez çalışmasında Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç yörelerindeki doğal zeoliti kullanarak hafif yapı elemanlarında kullanımının uygun olup olmadığının araştırılması yapılmıştır. X ışınları difraksiyonu (XRD) sonucunda kullanılan zeolitin içinde doğal zeolit türlerinden klinoptilolit olduğu açığa çıkmıştır. Deneyler, Bigadiç ve Gördes zeolitleri için ayrı ayrı uygulanarak numunelere ait fiziksel ve kimyasal özelliklere ulaşılmıştır. Yapılan çalışma sonucu elde edilen hafif yapı elemanına “Anadolu Köpüğü” anlamında “Anafom” adı verilmiştir. Anafomda köpüklenme işlemi gaz çıkaran bir madde olan Silisyum Karbür (SiC) sayesinde sağlanmıştır. Zeolitik tüfler bu maddeyle karıştırılarak yüksek sıcaklıklarda bekletilmiştir. Bu sayede kendiliğinden köpüklenmesi sağlanmıştır. Anafomun sadece kendiliğinden köpüren zeolit kullanılarak elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Anafom adı verilen hafif yapı elemanının inşaat sektöründe kullanımının taşıma ve işçilik giderlerinde önemli düşüşler sağlayarak ekonomik olacağı, dayanım açısından da kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Canpolat (2002)'in yapmış olduğu doktora çalışmasında Manisa-Gördes yöresindeki doğal zeolit; Kula'da bulunan yüksek fırın cürufu (YFC), Soma Termik Santrali'nden çıkan atık maddeler, uçucu kül (UK) ve taban külü ile değişik oranlarda hepsiyle ayrı ayrı karıştırılarak harçlar elde edilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılarak numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ulaşılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde çimentoya karıştırılan bu puzolanik maddelerin çimentonun sülfata karşı direncini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Çalışmada kullanılan puzolanik maddelerin çimento üretiminde kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Ünal ve ark.(2003)'nın yapmış olduğu tez çalışmasında pomza ve Afyon Tınaztepe yöresine ait diatomitin hafif beton blok üretiminde kullanımının betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, hafif agrega olarak üç ayrı tane boyutuna ait pomza ve diatomit kullanımı tercih edilirken normal agrega olarak kum ve kırmakum ele alınarak farklı oranlarda numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerde 5-10 pomza boyut grubuna ait olan karışımlarda pomza miktarı %30 oranında sabit tutulmuştur. 0-4 boyut grubuna ait olan karışımlarda pomza miktarı

%50'den %35'e kadar azalırken, +10 tane grubuna ait olan karışımlarda pomza miktarı %20'den %35'e kadar yükseltilmiştir. Yanı sıra pomza ile diyatomit ve diyatomit, kum, kırmakum karışımlarıyla da beton blok eleman üretimi yapılarak bunların özellikleri incelenmiştir. Çimento miktarının 250 ve 300 olarak belirlendiği beton numunelerinde ultrases hızı, kılcal su emme ve basınç deneyleri yapılarak numunelere ait fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma neticesinde pomza ve diyatomitin hafif beton blok üretiminde değerlendirmeye alınarak tuğla gibi bölme elemanları yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak ekonomik yönden de olumlu etkileri olacağı gibi binalarda yalıtımla alakalı sorunlara da çözüm getireceği sonucuna varılmıştır.

Sarıkaya (2006)'nın yaptığı tez çalışmasında Atabey'de bulunan agrega ile Manisa-Gördes yöresine ait zeolit, betonda agrega olarak kullanılmış ve üretilen beton numuneleri testlere tabi tutularak numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Her iki agrega türüne de elek analizi yapılmış ve analiz sonucunda standart değerlere uygun olmadığı anlaşılarak agregalar üzerinde iyileştirme yapılmıştır. İyileştirme sonrası katkılı ve katkısız olmak üzere üretilen beton numuneleri tekrardan testlere tabi tutulmuştur. Numunelere ultrases tayini yapılmış ve zeolit miktarının artmasına bağlı olarak ultrases hızında da artış olduğu görülmüştür. Katkılı betonlarda ultrases hızı sonuçları katkısız yani normal betona göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımlarına bakıldığında ise zeolit miktarının artmasına bağlı olarak düşüş olurken katkılı betonda normal betona oranla yüksek çıkmıştır. Eğilme dayanımlarında da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2006)'un yaptıkları çalışmada pomza ve mineral katkı kullanarak taşıyıcı hafif beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretimi gerçekleştirilen hafif betonların mekanik özelliklerine bakılmıştır. Tercih edilen çimento CEM I 42.5 N sınıfı olup mineral katkı olarak da silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır. Silis dumanı(SD) %10 ve uçucu kül (UK) %30 oranlarında çimento ile ikameli olarak kullanılmıştır. Numunelerin 3, 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç, yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik test sonuçlarına bakılmıştır. Sonuçlara bakıldığında silis dumanı katkı ilavesi ile yapılan beton numunelerinin dayanım özelliklerinin daha iyi olduğu

görülmüştür. Uçucu kül ilavesiyle üretimi yapılan beton serilerinde ise dayanımda erken yaşta belirgin bir artış yaşanmadığı gözlenmiştir.

Mesci (2007)'nin yapmış olduğu tez çalışmasında bakır endüstrisinde atık madde olarak açığa çıkan flotasyon atıkları ile Manisa-Gördes yöresine ait zeolit kullanılarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak çimentoya flotasyon atığı, ardından zeolit ardından da flotasyon atığı+zeolit belli oranlarda ilave edilmiş ve elde edilen karışımda kıvam suyu, priz süresi, elek bakiyesi gibi fiziksel ve mekanik özelliklere bakılmıştır. Bu işlem ardından karışımlarla beton üretimi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde zeolitin iyon değiştirme özelliği sayesinde flotasyon içerisinde yer alan bakır konsantrasyonunu önemli miktarda azalttığı görülmüştür. %5 oranında flotasyon atığı ve zeolitin kullanımıyla en iyi performansın elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bakır atığının betonda tek başına kullanımıyla meydana getirdiği olumsuz etkilerin zeolit+flotasyon atığı ile üretilen betonlarda görülmediği yani zeolitin flotasyon atığının olumsuz etkilerini absorbe ettiği gözlemlenmiştir.

Yıldırım (2007), zeolitin çimentoda katkı olarak kullanımının uygunluğunun denetlenmesi adına çalışmalar yapmıştır. Çimentonun üretimi esnasında açığa çıkan CO₂ oranının ve üretim maliyetinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan zeolit, Manisa-Gördes yöresine aittir. Zeolit, %0, 15 ve 30 oranlarında karışıma ilave edilmiştir. Bunun yanında zeolite süper plastikleştirici ilavesiyle de karışım hazırlanmış ve bunlar kontrol çimentosuyla kıyaslanmıştır. Üretilen zeolitli hamurlar üzerinde XRD ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntülemesi yapılarak hamurun mikroyapısal analizine bakılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde zeolitin kullanım oranlarından en iyi sonucu veren oranın %15 olduğu açığa çıkmıştır.

Ünal ve Uygunoğlu (2007)'nin yaptıkları çalışmada Afyonkarahisar'da bulunan diatomit, agrega olarak kullanılarak köpük beton üretimi gerçekleştirilmiş ve bu hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapılmıştır. Betonda kullanılan çimento miktarı değişken olarak alınıp su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Numunelere, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emme, birim hacim ağırlık, ultrases hızı ve görünen porozite deneyleri uygulanmıştır. Numunelerin bazılarında ise SEM yoluyla

mikro yapıları incelenmiştir. Deneyler sonucunda diyatomitin hafif beton üretiminde agrega olarak değerlendirilebileceği kanısına varılmıştır.

Azizi (2007)'nin yaptığı çalışmada hafif beton üretiminde kullanmak amacıyla hacimsel olarak farklı oranlarda genişletilmiş olan perlit ile doğal kum kullanılmıştır. Farklı birim ağırlıklarda üretimi gerçekleştirilen hafif betonların; basınç dayanımları, elastisite modülleri, ısı iletkenliği, su emme oranları ve kılcallık katsayılarını belirleyebilmek amacıyla numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Toplamda 6 seri olarak üretimi gerçekleştirilen hafif beton numunelerinin taze beton birim ağırlıkları 700-2000 kg/m³ aralığında değişmektedir. Su/çimento oranı sabit tutularak hepsinde de 0.55 olarak belirlenmiştir. Üretilen hafif beton karışımlarında, toplam agrega hacminin %0, %20, %40, %60, %80, %100'ü oranında genişletilmiş perlit ve %100, %80, %60, %40, %20, %0'ı oranında kum kullanılmıştır. Hafif beton karışımlarının tamamına çimento ağırlığının % 0.3'ü oranında hava sürükleyici katkı maddesi ilavesi yapılmıştır. %0 ve %20 oranlarında genişletilmiş perlit içeren karışımlarda çimento ağırlığının % 1.5 ve %40 perlit içeren karışımda ise çimento ağırlığının % 0.5 oranında akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilavesi yapılarak istenilen kıvamın sağlanması amaçlanmıştır. Üretilen hafif beton numunelerine deneyler uygulanmış ve bu deneyler neticesinde, karışımlardaki genişletilmiş perlit oranının artmasının betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Betonların birim ağırlıklarının düşmesiyle bağlantılı olarak basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinde de düşüş olduğu görülmüştür. Perlit katkısı içeren hafif betonların ısı iletkenlik değerleri ile birim ağırlık değerlerinin paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yine beton içerisinde perlitin miktarca artış göstermesine bağlı olarak su emme oranları ve kılcallık katsayılarında da artışlar olmuştur. Bu çalışma neticesinde, perlit katkısı içeren hafif beton bileşimleri normal betonla kıyaslandığında perlit içerikli olanların yüksek ısı yalıtımı sağladığı gözlemlenmiştir. Azizi yapmış olduğu bu çalışmada toplam agreganın hacimce % 40 ve % 60'ı oranında genişletilmiş perlit içeren hafif betonları yapısal/yalıtım beton türü kategorisine almış; % 80'i oranında genişletilmiş perlit içeren hafif betonları ise yalıtım betonu kategorisine alarak bu amaçlar dahilinde kullanımlarının uygun olacağı kanısına varmıştır.

Karakurt (2008)'un yaptığı doktora tezi çalışmasında zeolit ve volkanik tüflerin çimento üretiminde kullanımının uygunluğu ve bu karışımla üretilen betonun performansı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Çimentonun üretiminde kullanılan klinker yerine puzolanik atık maddeler olan zeolit ve volkanik tüf tercih edilerek hem çevresel hem de ekonomik yaklaşımlı çimento üretimi gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Katkılı ve katkısız çimentolar üretilerek bunların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine incelemeler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuca göre katkı çimento kullanımıyla üretilen beton ve betonarmelerle inşa edilen yapılarda betonun ileri yaş dayanımlarının artacağı ve dayanıklılık yönünden de olumlu sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır.

Karaüç (2008)'ün yaptığı tez çalışmasında zeolit ve uçucu kül kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton üretilmiş ve bu maddelerin beton üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonların genel özelliklerine, birleşim özelliklerine ve çalışma mekanizmasının nasıl gerçekleştiği üzerine de araştırmalar yapılmıştır. Bu maddelerle üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar şahit betonla kıyaslanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde kendiliğinden yerleşen betonda kullanılan zeolit ve uçucu külün olumlu etkiler gösterdiği ve %20 oranında uçucu kül ya da %20 oranında zeolit kullanımının betonun dayanıklılığında olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Şişman ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada doğal halde bulunan zeoliti (Klinoptilolit) kullanarak hafif beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretimi yapılan hafif beton numunelerinin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine bakılmış ve zeolit kullanılarak üretimi gerçekleştirilen hafif betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliğinin uygun olup olmadığının araştırması gerçekleştirilmiştir. 300 dozlu olarak üretimi yapılacak olan hafif beton karışımında zeolit; %25, %50, %75 ve %100 oranlarında değişken olarak ele alınmıştır. Hafif beton numunelerinin 28. gündeki basınç dayanımı, birim ağırlığı, su emme oranı, dona dayanıklılığı ve ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde deneyler uygulanmıştır. Zeolit katkı hafif betonların tamamı dona dayanıklı çıkmıştır. Su emme oranlarının ise %8'in altında kaldığı görülmüştür. Isı iletkenlik katsayısı değerlerinin ise 0.5-0.8 kcal/m°C arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışma neticesinde, doğal zeolitin tarımsal yapılarda kullanımına

elverişli olacak şekilde hafif betonda kullanımının dayanım, dayanıklılık ve ısı yalıtımı açısından olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yıldız(2009)'ın yapmış olduğu doktora tezi çalışmasında pomza ve zeolit kullanımıyla üretilen betonların asit ve tuza karşı nasıl tepki vereceği, dayanımının ne yönde olacağı hususunda araştırmalar yapılmıştır. Betonun kullanım ömrünü artırmak amacıyla bu çalışma konusu ele alınmıştır. Zeolit ve pomzayla üretimi gerçekleştirilen betonun olumsuz ortam koşullarına vereceği tepki ve dayanım ve dayanıklılık yönünden nasıl sonuçlar vereceği araştırma konusu olmuştur. Çalışma kapsamında birtakım analizler yapılmıştır. Karışımlara süperakışkanlaştırıcı madde ilavesi de yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde zeolitle, pomzayla ve pomza+zeolitle üretilen betonların yüksek dayanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Çok yüksek dayanımın tercih edildiği durumlarda 0P15Z ve 5P10Z betonlarının, yüksek dayanımın yeterli olacağı durumlarda da 10P5Z ve 15P0Z betonlarının uygun olacağı görülmüştür. Bu çalışmayla zeolit ve pomzanın; uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanına alternatif olarak tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Subaşı (2009)'nın yaptığı çalışmada geliştirilmiş kil agregası taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılmıştır. Ağırlıkça çimentoyla ikameli olarak kullanılmış olup üretilen hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine bakılmıştır. Çalışmada ayrıca doğal kum da kullanılmıştır. Karışımlar hazırlanırken 0–2, 2–4 ve 4–8 mm boyutlarında geliştirilmiş kil agregası ve 0-2 mm boyutlarında doğal kum kullanılmıştır. 350, 400, 450 kg/m³ olmak üzere üç farklı çimento dozajı belirlenerek hafif beton numuneleri üretilmiştir. Harç karışımına slump ve ve-be deneyi uygulanmış; hafif beton numunelerine de yarmada çekme dayanımı, beton yoğunluğu, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, ve görünür boşluk oranı deneyleri uygulanmıştır. Deneyler neticesinde, geliştirilmiş kil agregası ile düşük yoğunlukta, basınç dayanım değerinin ise 41,27 MPa olduğu taşıyıcı hafif beton üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir. Üretilen hafif beton karışımlarında çimento dozajlarına bakıldığında, 450 kg/m³ çimento dozlu betonların basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri açısından en yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Binici ve ark.(2009)'nın yaptıkları çalışmada Osmaniye-Tüysüz ilçesinde yer alan tuf hafif beton üretiminde kullanılmış ve kullanılabilirliğinin uygun olup olmadığı deneysel

alışmalarla incelenmiştir. Üretilen hafif beton numuneleri üzerinde slump, vebe, ıslak birim ağırlık, basınç dayanımı ve kuru birim ağırlık testleri uygulanmıştır. Tüf betonda agrega olarak iki farklı boyutta kullanılmıştır. Kıyaslama yapabilmek adına, bölgede beton üretiminde kullanımı yaygın olan Ceyhan Nehri agregası kullanılarak da beton üretimi yapılmıştır. Her iki agrega ile üretimi gerçekleştirilen beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerine bakılmıştır. İki farklı boyutta üretimi gerçekleştirilen tüflü hafif betonlardan Tüysüz-1 tüfü olarak adlandırılan numunenin 7 günlük basınç dayanım değeri 18.6, 28 günlük basınç dayanım değeri ise 28.2 MPa olarak ölçülürken, Tüysüz -2 tüfü olarak adlandırılan tüflü hafif beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanım değeri 20.4 MPa, 28 günlük basınç dayanım değeri 31.3 MPa ölçülmüştür. Kıyaslama amaçlı üretimi gerçekleştirilen Ceyhan Nehri agregası ile üretilen beton numunelerin 7 günlük basınç dayanım değeri 23.5 MPa, 28 günlük basınç dayanım değeri ise 31.9 MPa olarak ölçülmüştür. Numunelerin kuru birim ağırlıklarının ise 1650 ile 1980 kg/m³ arasında değerler aldığı görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Tüysüz tüfünün hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Alkaya (2010)'nın yapmış olduğu çalışmada bitkisel atık sınıfına giren ayçiçeği saplarının, hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımı değerlendirme altına alınmıştır. Amaç üretilen hafif betonu tarımsal yapılarda kullanmaktır. Alkaya'nın belirttiğine göre bir tarımsal yapıdan verim alabilmek için onun depo yapılacak ürünler veya içerisinde barınacak canlılar için çevre koşullarını en uygun hale getirmesi ve aynı zamanda uzun süre güvenle kullanılabilmesi beklenir. Aynı zamanda tarımsal bir yapı inşa edilirken ekonomik olarak en uygun şekilde, güvenli ve mümkün olduğu oranda istenen çevre koşullarını sağlayabilecek malzemelerin kullanımının tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Malzeme seçimi yapılırken yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip olmasının göz önünde bulundurulması gerektiği, ısı ve ses yalıtımının yüksek olması ve aynı zamanda hafif olması gibi niteliklere sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Alkaya tarafından malzeme seçiminde belirtilen özelliklere dikkat edilmesinin nedeni tarımsal yapıların genellikle tek katlı olmalarından dolayı fazla yük etkisinde kalmamaları gerektiğidir. Bu amaç doğrultusunda dozajlar 300 ve 400 olarak belirlenerek beton numuneleri üretilmiştir. Üretimi yapılan hafif beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile termal özellikleri deneysel çalışmalarla belirlenmiştir.

Ayçiçeği sapının hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde hafif beton üretiminde kullanılan ayçiçeği sapı miktarının belirlenirken kullanım amacına ve dozaja bağlı %20 ile %40 arasındaki değerlerde kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Tanyıldızı ve Coşkun (2011)'un yaptığı çalışmada taşıyıcı hafif beton üretiminde mineral katkı olarak Elazığ'da bulunan vişneçürüğü mermer tozu, agrega olarak ise pomza taşı kullanılmıştır. Üretilen hafif betonda basınç dayanım değerlerine ve ultrasonik ses geçirgenliği değerlerine bakılmıştır. Vişneçürüğü mermer tozu miktarı, çimento ağırlığının %0, %10 ve %20'si oranında ikameli olarak kullanılmıştır. Numunelerde kullanılan pomza taşı maksimum tane çapı 16 mm olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği değerlerini tespit edebilmek amacıyla üretilen numuneler için 150x150x150 mm ölçülerinde kalıplar kullanılmıştır. Üretilen numuneler 7, 14, 28 ve 90 gün standart su kürüne tabi tutulmuşlardır. Kürli numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Aynı zamanda ultrasonik ses geçirgenlik hızlarının belirlenmesi adına da deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuca göre %10 oranında mermer tozu kullanımının beton numunelerin 28.gün sonunda kontrol betonuna göre daha iyi dayanım özelliği göstermesini sağladığı görülmüştür. %20 oranında mermer tozu katkısıyla üretilen hafif betonun basınç dayanımı değerlerinin ise kontrol betonuna kıyasla dayanım özelliğinin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Okumuş (2012)'un yaptığı tez çalışmasında zeolit ve silika dumanının beton üretiminde kullanımı ve bu maddelerle üretilen betonların yüksek sıcaklığa maruziyeti sonucu betonun ne gibi özellikler göstereceği hususunda çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan zeolit, Manisa-Gördes yöresine aittir. Zeolit, çimentoyla ikameli olarak farklı oranlarda kullanılmış; silika oranı sabit tutulmuştur. Belirlenen karışım oranlarıyla betonlar üretilmiş ve üretilen betonlar testlere tabi tutulmuştur. Betonların bir kısmı da 28.gün sonunda yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılarak aynı testlere tabi tutulmuş ve betonun mekanik ve geçirimsizlik özelliklerine bakılmıştır. Çalışma neticesinde en uygun zeolit oranının %20 olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklığa maruziyet betonda dayanımı ve geçirimsizliği olumsuz yönde etkilemekte olup zeolit ve silika kullanımının bu olumsuz etkiyi azaltıcı yönde etki yaptığı görülmüştür.

Gültekin (2014)'in yaptığı çalışmada, metakaolinin farklı oranlarda kullanımıyla metakaolin katkılı taşıyıcı hafif beton numuneleri üretilerek bu numuneler yüksek sıcaklık değerlerine maruz bırakılmıştır. Isı maruziyeti sonrası numunelerin mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapılmıştır. Üretim gerçekleştirilirken 5 farklı seri üretimi hedeflenmiş ve bu hedef doğrultusunda farklı metakaolin yüzdelere sahip (% 5, 10, 15 ve 20) 4 seri ve bir kontrol serisi (%0 metakaolin) üretilmiştir. Numunelerin 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda basınç dayanım değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Yine 28 gün sonunda serilerin fiziksel, mekanik ve yüksek sıcaklık sonrası dayanım değerlerindeki kayıplara bakılmıştır. Bu 5 seri arasından belirlenen sayıda numune, farklı sıcaklıklara (400, 600, 800 °C) maruz bırakılmış ve maruziyet sonrası serilerin dayanım değerlerindeki kayıplara bakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruziyet nedeniyle numunelerde meydana gelen bozulmalar SEM ile görüntülenmiştir. Tüm bu çalışmalar neticesinde, %15 'e kadar metakaolin ilavesinin betonun dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Yapılan diğer deneylerde de bu sonuç desteklenmiştir. Sıcaklık maruziyeti tüm serilerde dayanım kaybına neden olmuş, sıcaklık dereceleri arasında en yüksek dayanım %15 katkılı seride gözlenmiştir. Çıkarılan bir diğer sonuç ise 600°C sıcaklıkta metakaolin yüzdesinin artmasına bağlı olarak serilerin yüksek sıcaklıktan etkilenme oranları azalmıştır. SEM incelemeleri neticesinde yüksek sıcaklık altında kalan numunelerdeki bozulmalar tespit edilmiş ve dayanım değerleri birbirini destekler şekilde çıkmıştır.

Yazıcıoğlu (2016)'nın yaptığı tez çalışmasında zeolit in çimento ve beton üretiminde puzolanik madde olarak uygunluğunun araştırılması yapılmıştır. Çalışmada amaç hem çimento üretimi esnasında açığa çıkan CO₂ oranını azaltmak hem çimento üretimi esnasındaki enerjiden tasarruf ederek daha ekonomik bir yaklaşım gerçekleştirmek hem de performansları iyileştirilmiş beton eldesi sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda Manisa-Göğdes yöresinden zeolit türlerinden klinoptilolit, Ordu-Perşembe yöresinden de analsim türü zeolit kullanılarak beton numuneler üretilmiş ve analsim ve klinoptilolitin beton üretiminde kullanımı kıyaslanmıştır. Çalışma neticesinde analsimin klinoptilolite alternatif olarak beton üretiminde tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kılınçarslan ve Kaya (2017)'nin yaptıkları çalışmada köpük betonun yapı malzemesi olarak kullanımının uygun olup olmadığının belirlenmesi, üretimi aşamasında

maliyetleri minimuma indirmek, iyileştirme yapabilmek adına alternatif çözüm yollarının tespiti ve çevre kirliliğini önlemek amacıyla farklı bölgelerden temin edilen krom metal atıkları karışımında agrega olarak kullanılarak köpük beton numuneleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, koşullar uygun hale getirildiğinde krom atıklarının köpük betonda kullanımının uygun olduğu neticesine varılmıştır.

Kılınçarslan ve ark.(2018)'nın yaptıkları çalışmada belirli bölgelerden temin edilen pomza kullanılarak hafif beton numuneleri üretilmiştir. Gözenekli yapıya sahip olması nedeniyle ısı ve ses yalıtımı yönünden avantajlı olması pomzanın tercih edilme nedeni olarak belirtilmiştir. Yine gözenekli yapısı sayesinde hafif olması da tercih edilme nedenlerinden bir tanesi olarak gösterilmiştir. Ülkemizde pomza konusunda yeterli akademik çalışma olmadığını belirten Kılınçarslan ve ark. inşaat sektöründe kullanımı diğer malzemeler kadar yaygın olmayan pomzayı bahsedilen avantajlarından dolayı çalışmalarında ele almışlardır. Çalışma kapsamında kuru birim yoğunlukları aynı, pomza kökenleri farklılık gösteren köpük beton numuneleri üretilmiş ve üretilen numunelerin basınç dayanımı, ısı iletkenlik katsayısı, ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerini belirlemek adına testler uygulanmıştır. Kullanılan pomzada bu değerler üzerinde farklılıklar görüldüğü gözlenmiştir.

Kılınçarslan ve Tuzlak (2018)'ın yaptıkları çalışmada elektrik üretimi yapılan termik santrallerde endüstriyel atık olarak yılda 16 milyon tondan fazla açığa çıkan uçucu kül, köpük beton üretiminde kullanılmıştır. Uçucu kül ile üretimi yapılan hafif beton numunelerin dayanım değerlerine ve ısı iletkenlik özelliklerine bakılmıştır. Basınç dayanımlarını belirlemek adına karışımlar 10x10x10 cm'lik küp numunelere dökülerek hafif beton numuneler elde edilmiştir. Belli oranlarla hazırlanmış olan her bir karışım için üçer adet numune üzerinde deney yapılmıştır. Isı iletkenlik değerlerini belirlemek adına ısı akısı ölçme yöntemiyle çalışan LasercompFox 50 ısı iletkenlik cihazı kullanılmıştır. Çalışma neticesinde uçucu kül katkısıyla üretilen hafif betonların basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Köpük beton üretiminde uçucu külün kullanılabileceği sonucuna varılmış böylelikle endüstriyel atık olan ve çevreye zararı kanıtlanmış bir ürün olan uçucu külün değerlendirilerek hem çevreye hem de ekonomiye katkı sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Yıldırım ve ark.(2018)'nın yaptığı çalışmada hafif beton üretiminde fındık hasadı sonrasında geriye kalan ve genelde besi çiftliklerinde ısıtma sistemlerinde ısıtma hammadresi olarak, sanayi tesislerinde kömür ve sanayi kömürü olarak, ekmek fırınlarında yakacak olarak, kümeslerde yine ısınma amaçlı olarak vs. farklı alanlarda yakacak olarak kullanılan granüle hale getirilmiş fındık kabuğu kullanılmıştır. Elde edilen karışımla üretilen hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiştir. Karışımlar hazırlanırken agrega miktarının %0-5-10-15-20-25-30-35-40 ve 50'si oranında fındık kabuğu kullanılarak hafif beton numuneleri üretilmiştir. Elde edilen hafif beton numunelerine slump, birim ağırlık, 28., 90. ve 180. günlerdeki basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Fındık kabuğu miktarındaki artışa bağlı olarak birim ağırlık ve basınç dayanım değerlerinde azalmalar görülmüştür. Fındık kabuğu %50 oranında kullanıldığında hafif beton numunenin birim ağırlığının referans betonun birim ağırlığına göre % 25 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda; granüle hale getirilmiş fındık kabuğunun hafif beton üretiminde kullanılabileceği görülmüştür. Fındık kabuğu kullanımıyla bina yükünün hafifletilebileceği ve atık madde olarak çok miktarda bulunan fındık kabuğunun geri dönüşümü sayesinde ülke ekonomisine katkıda bulunulacağı sonucuna varılmıştır.

Atabey (2018)'in yaptığı çalışmada, köpük beton üretiminde hammadde olarak mermer tozu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıklar kullanılmıştır. Çalışmada ana hammadde olarak mermer tozu tercih edilip bu tozun köpük beton üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R tipi Portland çimento tercih edilmiştir. Harçta bağlayıcı maddenin %0.5'i oranında polipropilen elyaf kullanılmıştır. Ön köpük yöntemiyle üretimi sağlanan hafif betonda kullanılan köpük, yoğunluk ölçümlerinin ardından karışıma ilavesi yapılmıştır. Tüm bileşenler mikserle alınıp homojen bir karışım elde edinceye kadar karıştırılmıştır. Elde edilen harç 15x15x15 cm boyutlarındaki küp şeklinde numunelere dökülmüştür. Üretimi yapılan hafif beton numunelerine birtakım testler uygulanarak mekanik özellikleri belirlenmiş, köpük beton reolojisi çalışmaları yapılmış, ısı iletkenlik değerleri belirlenerek bu değerlerin 0.14 ile 0.20 W/mK aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak üretilen hafif betonun ticari gaz betonla benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Yine numunelerde rötre değerleri ölçülerek bu değerlerin mermer tozu kullanımıyla üretilen örneklerde %0,09 olduğu görülürken, tamamında uçucu kül

kullanılarak üretimi yapılan seride %0.11 olarak belirlendiği görülmüştür. Numunelerin basınç dayanımı değerlerine bakıldığında ise 1.60 MPa–4.35 MPa aralığında değiştiği sonucuna varılmıştır.

Kılıçer (2018)'in yaptığı çalışmada köpük beton üretiminde pomza ve genleştirilmiş perlitin agrega olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğine bakılmıştır. Pomza ve genleştirilmiş perlit ile karışımlar hazırlanarak köpük beton numuneleri elde edilmiştir. Üretilen köpük betonlara tek eksenli basınç dayanım deneyi, donma-çözülme ve ısı iletkenliği deneyleri yapılarak yapı sektöründe kullanılıp kullanılamayacağı hususunda değerlendirmeler yapılmıştır. Bunun yanı sıra karışımlarda çimento ile ikameli olarak pomza kullanılmış ve üretilen numunelerin basınç dayanım ve donma-çözülme sonrası direnç kaybı değerlerine bakılmıştır. Yapılan deneylerden varılan sonuca göre tane boyutu 90 mikron altı olan pomzanın % 30'a kadar çimento ile ikamesi sonucunda elde edilen numunelerin daha iyi basınç dayanımına sahip olduğu ve donma-çözülme açısından da daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz (2018)'in yaptığı tez çalışmasında çimentonun yanında bağlayıcı olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve zeolit kullanılarak hafif beton numuneler elde edilmiştir. Bahsi geçen maddelerin karışım oranları belirlenirken karışımlar sonucu elde edilecek hafif betondan en iyi performansı almak hedeflenmiştir. Üretimi yapılan hafif beton numunelerinde katkı maddesi oranı ile toplam bağlayıcı oranı sabit tutulup inceliği farklı kendiliğinden yerleşen beton numuneler elde edilmiştir ve bu numunelerde işlenebilirliğe bakılmış aynı zamanda mekanik özellikleri de araştırılmıştır. Malzemelerin performansları kıyaslanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Taze betona uygulanan deneylerde de sertleşmiş betona uygulanan deneylerde de varılan sonuca göre üretimi gerçekleştirilen kendiliğinden yerleşen betonlar arasında yüksek fırın cürufu ilavesiyle üretimi gerçekleştirilen betonların performans olarak en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Uçucu kül kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonların da testleri başarıyla geçerek olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat zeolitte sonuçların farklı olduğu görülmüştür. Zeolitin, bağlayıcının %30, 40 ve 50'si kadar karışıma ilavesiyle betonda yüksek oranda su ihtiyacı görülmüştür. Aynı zamanda betonun yayılma özelliğini engellediği görülmüştür. Zeolit kullanılarak üretilen betonların taze beton testlerinin hiç birisinde başarılı olamadığı bu nedenle de

kendiliğinden yerleşen beton sıfatını alamayacağı sonucuna varılmıştır. Yine beton dayanım deneylerine tabi tutulduğunda zeolit katkılı hafif betonların diğer katkılarla üretilen hafif betonların dayanımına oranla çok düşük değerlerde kaldığı görülmüştür. Çalışmada Balıkesir Ege Zeolit'ten temin edilen zeolit tercih edilmiş ve aynı çalışmanın farklı formlardaki zeolitle de tekrarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Oğuz (2019)'un yaptığı tez çalışmasında, beton atıkları köpük betonda kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında inşaat yıkımları sonucu açığa çıkan atıkların köpük beton karışımında kum yerine kullanımı araştırılmıştır. Ve üretimi yapılan numunelerde mekanik ve fiziksel özelliklere bakılarak kum ile üretimi yapılan numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleriyle kıyaslanmıştır. Üretilen numunelere; birim ağırlık tayini, basınç dayanımı tayini, su emme oranı ve porozite hesabı, ultrases geçiş süresi tayini, su ihtiyacı değişimi, ısı iletkenlik deneyi, dinamik elastisite modülü tayini ve SEM ile numunelerin karakterizasyonuna bakılmıştır. Yapılan testler sonucunda köpük beton karışımlarında standart kum yerine inşaat yikintılarından elde edilen atıkların öğütülerek karışımında kullanımıyla elde edilen köpük betonların dayanım değerleri bir miktar düşük çıkmış buna bağlı olarak da taşıyıcı hafif beton kategorisinde tercih edilmese bile yapı sektöründe farklı alanlarda kullanıma uygun köpük beton elde edilmesinde inşaat atığının kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra inşaat atığı kullanımıyla elde edilen köpük betonların hafiflik ve yalıtkanlık bakımından oldukça iyi sonuçlar verdiği ve buna bağlı olarak da inşaat atığının öğütülmesiyle köpük beton karışımında kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. İnşaat atığı kullanımının çevre dostu olması ve ekonomiye olumlu etkilerinin olması yönünden de değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Khan ve ark. (2019)'nın yaptıkları çalışmada gelecekteki inşaatlar için sürdürülebilir bir çözüm olarak köpük betonda geri dönüştürülmüş cam tozu kullanımının potansiyeli araştırılmaktadır. Çimento ve geri dönüştürülmüş cam tozu içerikleri, su/çimento oranı ve köpük hacminin köpük betonun plastik yoğunluğu, kuru yoğunluğu ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Köpük betonun plastik yoğunluğu ve kuru yoğunluğundaki artışla birlikte, geri dönüştürülmüş cam tozu içeren köpük betonun basınç dayanımının da arttığı gözlenmiştir. Çimentonun geri dönüştürülmüş cam

tozuyla (kütlece %20) doğrudan değiştirilmesinin, köpük betonun basınç dayanımını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Akyüncü (2019)'n n yaptığı çalışmada Kayseri–Talas yöresine ait pomza farklı oranlarda hafif betonda agrega olarak kullanılarak hafif beton numuneler üretilmiş ve normal agrega kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş hafif beton bloklar ile kıyaslaması yapılmıştır. Normal beton bloklardan 6 seri üretilmiştir. Kum ile pomza oranlarının belirlenen miktarlarda değiştirilmesiyle de 5 seri hafif beton blok üretilmiştir.  retimi gerçekleştirilen bu hafif ve normal beton bloklarda yangın direncini belirlemek adına deney yapmak için 1 m³ hacminde kapalı bir alanda yangın başlatılmıştır. Her iki beton blokta da (normal ve hafif beton bloklar) yüzey sıcaklığı değerlerine bakılmış ve hafif beton blokların yüzey sıcaklığının normal beton bloklara kıyasla %50 oranında daha düşük çıktığı g r lm ştir. Yangın etkisi sonucu yüksek sıcaklıklara maruz kalan normal ve hafif beton bloklar, basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi adına yüksek basınç etkisi altında kırılmış ve hafif beton blokların basınç dayanımında sıcaklık maruziyeti sonucu %6 oranında düşüş meydana geldiği görülürken normal beton bloklarda %18 oranında düşüş yařandđı g r lm ştir. Tüm bu değerlendirmeler neticesinde pomza kullanılarak üretilen hafif beton blokların yangına maruz kalması sonucu normal beton bloklardan hem yüzey sıcaklığı hem de basınç dayanımı yönünden çok daha iyi sonuçlar verdiği g r lm ştir.

Türeyen(2019)'in yapmış olduğu tez çalışmasında genleştirilmiş vermikülit tozu kullanılarak köpük beton numuneleri üretilmiş ve numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması yapılmıştır. Harçlar hazırlanırken  imento miktarı üç farklı oranda, genleştirilmiş vermikülit tozu miktarı üç farklı oranda ve kullanılan köpük miktarı üç farklı oranda olmak üzere her biri değerken olarak ele alınmıştır. Totalde 27 adet hafif beton numune üretilmiştir.  retimi gerçekleştirilen bu köpük beton numuneleri laboratuvar ortamında bekletilmiş ve 28. gün sonunda numunelerde fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birim ağırlık, kılcal su emme, ısı iletkenlik, su emme, ultrases geçiş hızı ve görünür porozite deneyleri; mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla da eksenel basınç testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler neticesinde karışımlardaki köpük ve genleştirilmiş vermikülit miktarındaki artışa bağlı olarak birim ağırlıkta azalma görüldüğü, su emme oranında ve porozitede artış

yaşandığı, basınç dayanımında ise azalma yaşandığı görülmüştür. Isıl iletkenlik katsayısında ise azalma olduğu görülmüştür.

Yanardağ (2020)'ın yaptığı tez çalışmasında köpük beton üretiminde çimentoyla ikameli olarak kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar neticesinde üretimi gerçekleştirilen köpük beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinin yanında genleştirme yöntemiyle alternatif olarak hafif beton üretiminin yapılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada KAÇ, lityum karbonat (LT), karboksimetil selüloz (CMC), hidrojen peroksit (HP), potasyum iyodür (KI), genleştirilmiş perlit (PLT) ve köpük kullanılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan betonlar, numune kalıplarına alındıktan sonra fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi adına ve ısı iletkenlik deneyi için 28 ve 45 gün boyunca kürlenme işlemi uygulanmıştır. Süre sonunda yapılan deney sonuçlarına göre numunelerde zamana bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerde önemli sayılacak miktarda değişiklik yaşanmadığı gözlenmiştir. Çalışma sonrası varılan sonuçta en iyi değerlerin genleştirme yöntemiyle üretimi yapılan hazır beton numunelerden elde edildiği görülmüştür.

Geçer (2020)'in yaptığı tez çalışmasında kendiliğinden yerleşen köpük beton üretimi için Balıkesir-Bigadiç yöresinde mevcut bulunan zeolit kullanılmıştır. Harç karışımında ağırlıkça %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında zeolit, Portland çimentosu ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Bağlayıcı ve su/bağlayıcı oranında değişikliğe gidilmemiştir. Üretimi yapılan beton numuneleri, taze ve sertleşmiş haldeki kıvamlarına ve birim ağırlık, su emme; 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerlerine ve donma çözünme direnç değerlerine bakmak adına testlere tabi tutulmuştur. Sülfata karşı dirence bakmak adına da harç çubuklarında direnç testi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda zeolit ilaveli beton numunelerinin %15'e kadar zeolit içerenlerde yayılma miktarında sorun teşkil etmezken, %20 oranında zeolit kullanımının işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Kullanılan zeolit oranlarının tamamında da betonun birim ağırlık değerinin düştüğü görülmüştür. Donma çözülmeye karşı en yüksek direnci zeolitsiz numunelerin gösterdiği sonucuna varılmıştır. Zeolit miktarının artışıyla bu değerde de düşüşler ölçülmüştür. Sülfata karşı direnç testi sonuçlarına bakıldığında ise zeolit katkısıyla üretilen beton numunelerin tamamının sülfata karşı direnci kontrol betonuna kıyasla daha yüksek çıkmıştır.

Bayraktar (2020)'ın yaptığı çalışmada pirinç kabuğu külü çimento ile ikameli olarak kullanılarak beton özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana geldiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda pirinç kabuğu ham formda agrega olarak kullanılmış ve bunun neticesinde tarımsal atık olarak açığa çıkan pirinç kabuğunun bertarafı sağlanarak çevre dostu yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde, pirinç kabuğu külünün de pirinç kabuğu agregasının da ilavesiyle üretimi gerçekleştirilen hafif betonların şahit betona kıyasla nerdeyse tüm özelliklerinin değiştiği sonucuna varılmıştır. Köpük miktarındaki artışa bağlı olarak akış çapında artma olduğu görülmüştür. Pirinç kabuğu miktarındaki artışa bağlı olarak ise akış çapında azalma meydana geldiği görülmüştür. Pirinç kabuğu ilavesi yapıldığında zamana bağlı olarak su penetrasyon derinliğinde azalma yaşandığı, pirinç kabuğu ilavesinin yüksek oranda olmasıyla edilen numunelerin gözenekliliğinin arttığı, basınç ve eğilme mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir.

Bodur ve ark. (2021)'nin yaptığı çalışmada kalsiyum alüminat (CAC) kullanımının köpük beton üretiminde sağlayacağı avantajlar ele alınmıştır. Hava içeriği nedeniyle yüksek mekanik özellik gösteremeyen köpük betonun, kalsiyum alüminat katkısıyla beraber dayanımını 6-8 saat aralığında kazandığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada köpük beton imalatında CAC kullanımının Portland çimentosu (PÇ)'na göre beton dayanımını, yüksek sıcaklığa karşı olan direncini, asit sülfat gibi kimyasal direncini artırırken birim hacim ağırlığın düşük kalmasını sağladığı ortaya koyulmuştur. CAC, yüksek sıcaklığa karşı olan direncinin yüksek olmasına bağlı olarak yangına karşı dirençli bir malzeme olduğundan köpük betonda CAC kullanımının binaların yangına karşı daha dirençli olmasını sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Ceylan (2021)'in yaptığı tez çalışmasında zeolit mikron ölçeğinde öğütülüp çimento yerine ikame edilerek üretimi yapılan harçların ve betonların mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Harçlarda çimento, kum, su, toz akışkanlaştırıcı ve çimentoya ikame olarak %10 silis dumanı ve %5, %10, %15, %20 oranlarında zeolit kullanılmıştır. Üretilen numuneler küp kalıplara koyulup 24 saatin sonunda kalıptan çıkarılmış ve kür havuzuna alınmıştır. Daha sonrasında numunelerin 3, 7, 28 ve 56 günler sonundaki basınç dayanım değerlerini ve 28 gün sonunda su emme, birim ağırlık, ultrasonik hız değerlerini belirlemek adına deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda %15 oranında

zeolit kullanımıyla %10 oranında silis dumanı kullanımının birbirine paralel sonuçlar açığa çıkardığı görülmüştür. Hazırlanmış olan harç karışımlarından çıkarılan sonuçlar baz alınarak farklı boyutlarda agrega temini sağlanmış silindir ve küp olmak üzere farklı kalıplarda beton numuneler elde edilmiştir. Elde edilen harç karışımlarının birim hacim ağırlıklarına bakılmış yanı sıra hidrasyon ısı değerlerini belirlemek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Üretilen beton numuneler kür ortamına alınıp belirlenen günler sonunda (3, 7, 14, 21, 28, 56, 90 ve 365 günlük) numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımları belirlenmiştir. Yine belirlenen günlerde numuneler (7, 28 ve 365 günlük) klor iyon geçirgenlik, 28 günlük elastisite modülü, poison oranları; 7 ve 28 günlük karbonasyon, ultrasonik hız, kılcallık testlerine tabi tutulmuş yanı sıra da su emme ve görünür porozite değerleri belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde performans olarak daha iyi beton numuneler elde edildiği görülmüştür. Aynı zamanda silis dumanıyla ikameli olarak kullanılan zeolit ile elde edilen beton numunelerin geçirimsizlik yönünden silis dumanlı betonlara yakınlık gösterdiği görülmüştür. Ayrıca 3, 7 ve 28 günlük beton numunelere SEM, XRD, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (F-TIR) ve Termogravimetrik analizleri (TGA) yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde sonuçların birbirine uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışma neticesinde silis dumanı yerine zeolit kullanılarak elde edilecek beton numunelerin geçirimsizlik ve yüksek performans yönünden iyi sonuçlar vermesine bağlı olarak silis dumanına alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Oktay (2022)'ın yaptığı tez çalışmasında zeolitın iki farklı türü olan analsim ve klinoptilolit çimento yerine kullanılarak polipropilen esaslı makrosentetik lif ilavesi ile harç hazırlanmış olup beton numuneler elde edilmiştir. Numuneler ultrasen geçiş hızı, eğilmede çekme, kıvam, basınç dayanımı, pozolanik aktivite, su emme, birim hacim ağırlık ve kapiler su emme testlerine tabi tutulmuştur. Zeolit ağırlıkça %0, 10, 15 ve 20 oranlarında çimento ile ikameli olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda polipropilen lif katkısının zeolitle beraber kullanımı durumunda elde edilen harç karışımlarıyla hazırlanan beton numunelerinin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Zeolit türünün her ikisi için de %15 oranına kadar, polipropilen lif takviyesi ile beraber mineral katkı yerine kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

Günümüzde daha yaşanabilir bir çevre için Dünya genelinde birçok kampanya ve çalışma yapılmaktadır. Küresel ısınmanın etkilerinin daha açık görüldüğü son zamanlarda sera gazı salınımını en aza indirmek adına birçok alanda olduğu gibi inşaat sektöründe de ciddi manada kampanya ve çalışmalar yapılmaktadır.

İnşaat denildiğinde akla gelen temel yapı malzemelerinden ilki çimentodur. Çimentonun üretimi esnasında doğaya yüksek miktarda CO₂ salınımı olmaktadır. Bu da atmosferde biriken sera gazlarının miktarını arttırmaktadır. Açığa çıkan karbon ve karbondioksit gazı, karbon türevleri salınımı adıyla ifade edilmektedir. Karbon türevleri salınımı adıyla bilinen durum da sera etkisine sebebiyet vermektedir. Karbon türevleri salınımı denince akla ilk gelen sektörler arasında çimento sanayi gelmektedir. Bunu seramik sektörü, jeotermaller, taşıtlar, termik santraller ve diğer birçok sektör takip etmektedir. Sera gazı salınımı neticesinde hava kirlenmekte bu da asidik kirlilik oranının artmasına neden olmaktadır. Bahsi geçen asidik kirliliğin su buharı ile birleşmesi neticesinde asit yağmurları oluşmakta ve bu asit yüklü yağmurlar toprağa karışmaktadır. Bunun sonucunda başta ağaçlar olmak üzere yaşayan her türden bitki ve canlılar için tehdit unsuru olmaktadır. Ağaçların ve bitkilerin kuruyup yok olmasına kadar varan ciddi sonuçlara sebep olmaktadır (Makal, 2017). Bahsi geçen bu döngü sebebiyle atmosferin doğal dengesi bozulmakta, bu ise son zamanlarda da sıkça şahit olduğumuz ve bir şeyler yapılmazsa giderek daha da sık yaşayacağımız doğal afetlere yol açmaktadır. Bu nedenle çimento üretimini azaltmak adına çimento yerine geçecek farklı bağlayıcı malzemeler kullanarak doğaya verilecek zararı en aza indirmek adına son zamanlarda yapılan çalışmalar giderek artmaktadır.

3.1. Zeolit

Son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlayan zeolitler, kimyasal olarak “sulu alümino silikatlar” olarak bilinmektedir. 1756 yılında İsveçli bir mineralog olan Freiherr Axel Fredrick Cronstedt tarafından bulunmuştur. Ülkemizde 1980’li yılların başından bu yana zeolite olan ilginin artmasıyla ile farklı birçok sektörde kullanımı yaygınlaşmaya başlanmıştır. Günümüzde özellikle tarım-hayvancılık sektöründe kullanımı daha yaygın olan zeolitler, yanlış anlaşılma maruz kalmış ünü sebebiyle

farklı sektörlerde de kullanımının yaygınlaşması adına bazı özelliklerine vurgu yapılması gerekmektedir.

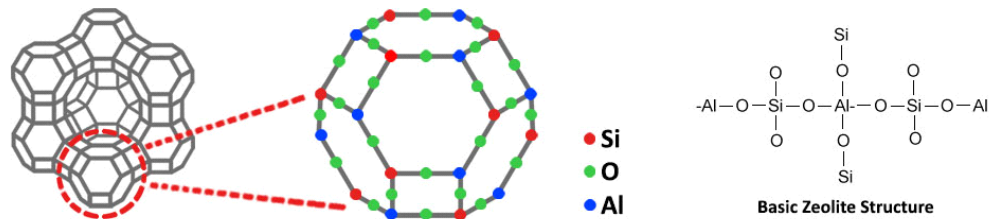
Doğal zeolitler 40’ı aşkın mineralden oluşmuş olan bir grup ismidir. Bunun yanında üretimi de yapılmakta olup sentetik zeolitler de mevcuttur. Sentetik zeolit üretimine yönelim olmasının nedeni doğada volkanik kayaların boşluklarında, yok denecek kadar az olmasından dolayıdır (Oktay, 2022). Sentetik zeolitlerin kullanım alanı daha çok deterjan ve kimya sektörü olup ülkemize bakıldığında henüz Türkiye’de üretimi mevcut bulunmamaktadır (Makal, 2017). Dünyada da zeolit üretimi pahalılık nedeniyle geri planda kalmış tekrar doğal zeolit kullanımına yönelim artmıştır (Oktay, 2022). Çizelge 3.1’de bazı zeolitlere ait fiziksel özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı zeolitlerin fiziksel özellikleri

İsim	Boşluk kısmı (%)	Isıl kararlılık	İyon değiştirme kapasitesi	Özgül ağırlık	Çerçeve yoğunluğu (g/cc)
Analsim	18	Yüksek	4.54	2.24-2.29	1.85
Şabazit	47	Yüksek	3.84	2.05-2.10	1.45
Klinoptilolit	34	Yüksek	2.16	2.16	-
Erionit	35	Yüksek	3.12	2.02-2.08	1.51
Ferrierit	28	Yüksek	2.33	-	-
Hölandit	39	Düşük	2.91	2.18-2.20	1.69
Lamontit	34	Düşük	4.25	2.20-2.30	-
Mordenit	28	Yüksek	4.29	2.12-2.15	1.70
Filipsit	31	Orta	3.31	2.15-2.20	1.58

Kafes şeklinde bir yapıya sahip olan zeolitler, bu yapısı sayesinde iyon değişimi ve kimyasal reaksiyonlar için geniş bir yüzey alanı oluşturmaktadır. Bu iyon değişimi ve tersine çevrilebilir dehidrasyon kabiliyeti sayesinde elek ve filtre araçları görevini görmektedir (Oktay, 2022). Gözenekli hacmi zeolit hacminin %50’si kadardır. Oranın bu kadar yüksek olması ona moleküler bir elek işlevi kazandırmıştır. Doğal olarak negatif yüklü olan zeolitler yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahiptir. Belirtilen bu kimyasal özellikleri sayesinde birçok gazı ve kokuyu, suyu ve nemi, petrokimyasal maddeleri, düşük düzeyde radyoaktif elementleri, amonyumu, toksinleri, ağır metalleri ve pek çok solüsyonu tutma ve soğurma özelliğine sahiptir. Çevreye zararının olmaması aksine kullanımıyla çevre dostu yapıya sahip olması ve maliyetinin de düşük olması sebebiyle günümüzde pek çok endüstriyel alanda ve çeşitli çevre projelerinde

kullanıldığı görülmektedir (Anonim, 2022). Şekil 3.1’de zeolitin moleküler yapısı görülmektedir.

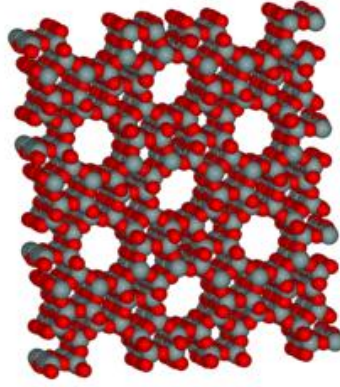


Şekil 3.1. Zeolitin moleküler yapısı

Frederick Mumpton, makalesinde zeoliti “Sihirli Taş” olarak adlandırmaktadır. Beton ve çimento üretiminde kullanılması, hava ve gaz saflaştırılmasında tercih edilmesi, içme ve atık sularından amonyağın giderilmesinde kullanılması, nükleer atık olan sezyum ve stronyumun giderilmesinde kilit görev görmesi, hayvan yemi üretiminde tercih edilmesi, tarım topraklarının ıslahı, hayvan altlığı, kedi kumu gibi alanlarda tercih edilmesi yine kötü kokuların giderilmesi gibi birçok alanda kullanıma uygun olması nedeniyle sihirli taş ismini verdiğini açıklamaktadır. Rahatlıkla kullanıma uygun olması olarak açıklar. 1999 yılında kaleme alınan makalenin yazılma tarihinden bu yana zeolitin kullanım alanı ikiye üçe katlanmıştır. Diş macunlarında, kıyafetlerde, duvar sıva ve boyalarında, filtrelerde, kozmetik ürünlerde, buzdolabı veya klimanın içinde, sabunlarda bulmak mümkün olmaktadır (Anonim, 2022).

Mumpton, zeolitleri “sonsuz üç boyutlu kristal yapılara sahip alkali ve toprak metallerinin hidratlanmış alümino silikatlar” olarak tanımlar. “Kristal yapılarında herhangi bir değişiklik olmadan, dönüşümlü olarak su kaybetme ve kazanma yeteneğine ayrıca katyon değiştirme özelliğine sahiptirler.” (Anonim, 2022).

Zeolitler; ağır metal, düşük düzeyde radyoaktif elementler, amonyum, toksinler, çeşitli kokular, petrokimyasallar ve çok çeşitli gaz ve solüsyonları tutma özelliğine sahiptir. Bir sünger andıran gözenekli yapısı sayesinde ağırlığınca %40 oranında su tutabilme özelliğine sahiptir (Anonim, 2022). Şekil 3.2’de zeolitin temel yapısına ait bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Temel zeolit yapısı

3.1.1. Zeolit üretim

Zeolitler, lav kaynaklı alümino silikatlardır. Aktif volkanların patlamasıyla açığa kül ve lavlar çıkmaktadır. Çıkan bu kül ve lavlar göl veya deniz suları ile birleştiğinde açığa kimyasal bir reaksiyon çıkmakta bu kimyasal olay sonucunda da zeolitler oluşmaktadır (Anonim, 2022). Kelime olarak “Kaynayan Taş” anlamına gelmektedir. Isıtıldıklarında yapılarındaki suyun köpürmesinden dolayı bu ismi almışlardır (Küçükkaya, 2019). Ortam sıcaklığı, jeolojik konum, su/kül oranı gibi değişkenler zeolit oluşumunda onlara farklı farklı özellikler katmaktadır.

Bugüne kadar doğada 35 tür zeolit minerali tespit edilmesine rağmen yalnızca 7 tür (klinoptilolit, mordenit, erionit, analisit, şabazit, ferrierit ve filipsit) yeterli saflık ve miktarda bulunabilmiştir (Mumpton, 1978). Bu minerallerin bazalt kayaların oyuklarında yer alması sebebiyle ulaşım zorluğu geçmişte nadir mineraller arasında yer almasına sebep olmuş ve istenilen miktarda üretimleri yapılamamış bu nedenle zeolitlerin yapay olarak üretilmesi düşünülmüştür. Buna bağlı olarak en önemlileri zeolit A, X ve Y olmak üzere 150’ye yakın türde zeolit sentez edilerek yapay zeolit üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak zaman içinde Kuzey ve Orta Amerika, Orta ve Güney Afrika, Rusya, Japonya, Kore ve Yeni Zelanda’da doğal zeolit rezervlerine rastlanmış, bu gelişmeyle ise yüksek maliyetli olan sentetik zeolit üretiminden vazgeçilerek tekrardan doğal zeolit kullanımı önem kazanır hale gelmiştir (Mumpton, 1978).

Günümüzde kompozisyonları farklı 42 zeolit türü bulunmaktadır. Bunlar arasında ticari olarak en fazla tercih edilen tür klinoptilolittir. Manisa/Gördes havzasındaki klinoptilolitin saflık oranı %95'tir (Anonim, 2022).

Aydın (2007)'a göre oluşum yerleri baz alınarak kategorize edildiğinde altı çeşit zeolit yatağı mevcuttur. Bu yataklar:

- Volkanik malzemelerin tuzlu olan ve/veya kapalı havzaya sahip göl suları ile birleşerek kimyasal tepkimeye girmesi sonucu meydana gelen zeolit yatakları,
- Hidrotermal sularda Al-Si'li malzemelerin bozunmasından meydana gelen zeolit yatakları,
- Volkanik malzemenin kıyıda veya derin denizdeki sularla birleşerek kimyasal tepkimeye girmesi sonucu meydana gelen zeolit yatakları,
- Düşük ısı gömülme metamorfizması ile oluşan zeolit yatakları,
- Tatlı veya az tuzlu göl sularında oluşan zeolit yatakları,
- Gölde ve/veya denizdeki suyla birleşip kimyasal tepkime sonucu meydana gelmiş ama köken olarak kayacın volkanik malzemeden olup olmadığını anlamada yeterli kanıt bulundurmeyen zeolit yatakları (Anonim, 2022).

Çizelge 3.2'de doğal zeolit oluşum tipleri ve diğer bazı özellikleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Doğal zeolitlerin oluşumları (Şener, 2013)

Oluşum tipi	Sıcaklık (°C)	Mineral tipi
Derin deniz çökelekleri	4-50	Filipsit, Klinoptilolit, Analsim
Bozunma Filipsit		Klinoptilolit, Şabazit, Erionit, Mordenit
Alkali ve tuzlu göller	20-50	Gismondin, Fojasit, Gonardit, Nötralit, Analsim
Süzülen yer altı suları (bazik tefra)		Hölandit
Süzülen yer altı suları (asidik tefra)		Filipsit, Şabazit, Erionit, Mordenit, Tomsonit, Mesolit
Sığ gömülme diyajenezi	25-100	Skolesit, Hölandit, Stilbit
Derin gömülme diyajenezi	100	Lömantiit, Analsim
Düşük metamorfizma	>200	Warakit, Yugovaratit, Analsim
Primer magmatik		Analsim

3.1.2. Zeolitlerin sınıflandırılması

- **Doğal Zeolitler**

Volkanların patlamasıyla kül ve lavlar açığa çıkar. Milyonlarca yıl önce bu kül ve lavlar deniz veya göl sularıyla birleşip kimyasal reaksiyona girerek doğal zeolitleri meydana getirmiştir.

Doğal zeolitler büyük pazar potansiyelinin ve yaygın bir kullanım alanının mevcut olmasına rağmen birçok alanda yeni yeni kabul görmeye başlamıştır. Doğal zeolitler, diğer madenlere kıyasla bulunma ve işletilebilme yönünden daha kolay ulaşılabilir ve maliyet olarak daha ucuzdur. Fakat gözenek çapının istenilen boyutta olmaması ve saflık derecesinin de uygun olmaması gibi nedenlerden dolayı pazar payındaki oranı düşük seviyelerde olup değeri bilinmemektedir.

- **Yapay Zeolitler**

Doğal zeolitlerin kullanım alanları yapay zeolitlerin üretimine sebep olmuştur (Ceritoğlu, 1992). Yapay (sentetik) zeolitler yüksek derecede reaktif alümino silikat jeli veya hidrojellerinin oda sıcaklığından 200 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda atmosfer basıncı veya kapalı sistemin otojen basıncında kristallenmesi ile oluşurlar. Ticari olarak değerli olan yapay zeolitler Linde tipi A, Linde tipi X ve Y (Al ve Si'den zengin foyasit benzeri), silikalit-1, ZSM-5'dir. Diğerleri Linde tipi F, tip L ve tip W gibi zeolitlerdir. Son zamanlarda alüminosilikat olmayan moleküler elekler olan alüminofosfatlar kullanıma girmiştir (Şener, 2013).

3.1.3. Doğal ve yapay zeolitlerin kullanım alanları

Doğal zeolitler kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Çimentoyla ikameli olarak yapı malzemesi üretiminde,
- Toksik olarak açığa çıkan atıkların tutulumunun sağlanmasında,
- Besi çiftliklerinde hayvanların yaşam yerlerinde koku ve nemin giderilmesi amacıyla,
- Spor tesislerinde örneğin golf sahası, futbol sahası gibi çim sahaların yapımında, bakım aşamasında ve yüksek kaliteli hale getirilmesinde,

- Çöp depolama alanlarında meydana gelen sızıntı suyunun arıtılması amacıyla,
- Kentlerdeki organik olan katı atıkların kompostlaştırılması amacıyla,
- Park vb. gibi yüksek kaliteli olması istenen ve beklenen mekanlarda ıslah amaçlı,
- Kültür balıkçılığında ve balıkçılıkta kullanılan havuzların işletilmesinde,
- Atık suların ve şebeke sularının arıtılması amacıyla,
- Toprakta ve suda yer alan ağır metallerin bulundukları yerden uzaklaştırılması amacıyla,
- Havanın ve suyun filtrelenmesi amacıyla,
- Arsenik gideriminde,
- Radyoaktif iyonlarda bulunan atıkların temizlenmesi amacıyla,
- Baca gazlarının temizlenmesinde,
- Doğalgaz ve metanda bulunan SO₂ vb. istenmeyen gazların temizlenmesi aşamasında ve bu gazların zenginleştirilmesi amacıyla,
- Havadaki azotu tutarak bu sayede havuzların havalandırılmasında ve havanın oksijenle daha zengin hale getirilmesinde,
- Kötü kokunun giderilmesinde,
- Petrol sızıntılarının temizlenmesinde,
- Hayvan yeminde katkı maddesi olarak (Anonim, 2022), (Şener, 2013).

Zeolitlerin kullanım alanları başlıklar halinde toparlanacak olursa:

a) Çevre Kirliliği Alanındaki Kullanımı

- Atık su içerisinde yer alan ağır metaller ve azot, sudaki canlılar üzerinde toksik etkiye sebebiyet vermektedir. Zeolit sayesinde bu ağır metallerin sudan ayrıştırılarak geri kazanılmakta bu sayede azotun tutulması işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Sulu ortamlardaki amonyum iyonları, kullanılan zeolit sayesinde %99'a varan oranda sudan uzaklaştırılabilmektedir.

- Tesislerde kullanılan ve atmosferin kirlenmesine sebep olan petrol ve kömür sebebiyle bacalardan CO₂ , SO₂ ve diğer kirletici gazlar açığa çıkar. Zeolit, bu çevreye zararlı gazların adsorblanması işleminde kullanılmaktadır.
- Radyoaktif atıklardan bazıları zeolitler sayesinde tutularak bulundukları ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bu amaçla daha çok klinoptilolit ve mordenit türü zeolitler tercih edilmektedir. Bu iki tür zeolitin daha çok tercih edilmesinin nedeni yapısal kararlılıkta olmalarından ileri gelmektedir.
- Zeolit, petrole kıyasla daha düşük yoğunluğa sahiptir. Bu yoğunluk farkı avantaja çevrilerek petrol sızıntılarındaki petrol sudan kolaylıkla arındırılmaktadır. Daha yoğun olan petrol, su yüzeyinde kalmakta ve kolaylıkla yukarda kalan petrol adsorblanabilmektedir.
- Zeolitler sayesinde azot gazı seçimli olarak adsorblanabilmektedir. Bu özelliği sayesinde oksijence zenginleştirilmiş hava üretimi gerçekleştirilebilmektedir.
- Zeolitler yine suni böbrek suyunun yenilenmesi amacıyla da kullanılmaktadır.

b) Tarım ve Hayvancılık Sektöründeki Kullanımı

- Zeolit, mineral yönünden oldukça zengin bir malzemedir. Hayvansal yemlerdeki besin değerinin artırılmasında kullanılmakta aynı zamanda yemdeki nem oranını kontrol altına almak amacıyla zeolit kullanılmaktadır. Besicilikte yemlere eklenen zeolitin, hayvanların sağlıklarına herhangi bir zarar vermeden kilo artışı sağladığı görülmüştür.
- Gübrelerdeki kötü kokunun giderilmesinde ve gübrenin tasarrufunda kullanılmaktadır. Yine gübrelerde depolama esnasında pişme ve sertleşme oluşmakta olup bu durumun giderilmesinde kullanılmaktadır.
- Kilce fakir olan topraklarda, toprağı tarıma hazırlamak amacıyla su tutma ve iyon değiştirme özelliklerinden kaynaklı zeolit kullanılmaktadır.
- Tarımda zararlılarla mücadele için ilaç olarak zeolit kullanılmaktadır.
- Göl ve göletlerde bulunan biyolojik atıklar ve hayvan dışkıları kötü kokuya sebep olmaktadır. Bu kokunun giderilmesinde zeolit kullanımı yaygındır.

Bunun yanı sıra hayvan barınaklarındaki nem dengesinin sağlanmasında zeolit en çok tercih edilen türü olan klinoptilolit kullanılmaktadır.

- Asidiklik yönünden zengin olan toprakların asitliğini gidermede, besleyici iyonların bitkiye aktarılmasında ve beslenme zincirinde istenmeyen ağır metal katyonlarının tutulmasında doğal zeolitler kullanılmaktadır.

c) Enerji Alanındaki Kullanımı

- Zeolitler, azot dışında CO₂ ve su buharı gibi gazların da tutulmasını sağlamakta ve bu amaçla kullanılmaktadır.
- Kükürt bakımından zengin olan kömür yatakları işletilirken elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kömür ilk olarak yeraltında yakılmakta ve gaz haline getirilmektedir. Kömürün yakılması işleminde bulunması gereken oksijen üretiminde ve bu işlem esnasında açığa çıkan toksiklerin uzaklaştırılmasında zeolit kullanılmaktadır.
- Sentetik zeolitler, sahalardaki petrol ve gaz varlığının araştırılmasında ve petrol ürünleri eldesinde katalizör görevinde kullanılmaktadır.
- Güneş enerjisinin üretimi ve transferi aşamasında gerekli olan ısı değişimi için ısı değiştirici görevinde kullanılmaktadır.

d) Yapı Sektöründeki Kullanımı

- Doğal zeolitler, perlit ve diğer volkanik camlar gibi genişlemeye müsait bir yapıya sahiptir. Bu özelliği sayesinde ısı ve ses yalıtımlı hafif yapı malzemesi üretiminde kullanıma uygundur (hafif agregat). Genleştirilmiş zeolitlerin sıkışma ve aşınmaya karşı dayanımı daha yüksek dirençtedir.
- Düşük ağırlığa sahip olmaları, gözenek yapılarının çokluğu ve homojen bir yapıya sahip olmaları nedeniyle kolay bir şekilde kesilip işlenebilirler. Hafif olmaları sayesinde de yapı taşı (boyutlandırılmış taş) alanında kullanılırlar.
- Beton priz alırken kireç açığa çıkmaktadır. Bu kirecin ortamdan uzaklaştırılması aşamasında puzolanik hammadde amacıyla kullanılır (Anonim, 2022).

e) Madencilik ve Metalurji Alanında Kullanımı

- Cevher yataklarını belirlerken aynı zamanda oluşumlarını açıklama aşamasında da kullanımı mevcuttur.

- Katyon değiştirme özelliği sayesinde maden ve metalurji faaliyetleri sırasında açığa çıkan atık suların arıtılmasında kullanılmaktadır.
- Zeolitler, yüksek parlaklığa sahip bir malzemedir. Bu özelliği sayesinde kağıt sanayisinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

f) Deterjan Sektöründe Kullanımı

- Deterjanda katkı maddesi olarak fosfatların yerine zeolitler kullanılmaktadır. Fosfat, evre kirliliğine sebep olduğundan kullanımda kısıtlamaya gitmek amaçlanmaktadır.

g) Sağlık Alanında Kullanımı

- Florürlü diş macunlarının üretiminde karışma ilave edilerek parlatıcı etki yapması amacıyla katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2022), (Şener, 2013),
- Cilt hastalıklarında, malign hastalıklarda, omurga hastalıkları, gastrointestinal hastalıklarda, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, hematopoetik hastalıklar, merkezi sinir sistemi hastalıkları, karaciğer hastalıkları vb. durumlarda zeolitten faydalanıldığı yapılan araştırmalardan görölmüştür.

3.2. Köpük Ajanı

Köpük ajanı kısaca hafif yapı elemanları elde etmek amacıyla beton harcında hava kabarcıkları oluşturan köpüğün ana maddesidir. İnşaat alanında kullanılan hücreli hafif beton ve hafif yapı elemanları, mevcut karışımlara köpük ilavesiyle gerçekleştirilir. Bu köpük kabarcıklarının elde edilmesinde de köpük ajanı kullanılmaktadır. Organik bir maddedir, doğaya ve insan sağlığına zarar vermez.

Temiz suya belirli oranlarda katılarak solüsyon hazırlanır. Bu solüsyon, köpük makinesine alınarak köpük üretimi gerçekleştirilir. Çimento pastalarına ilave edilen bu köpük sayesinde ısı yalıtımlı hafif yapı elemanları üretimi gerçekleştirilir.

Köpük ajanı sayesinde elde edilen köpük, bünyesinde barındırdığı aktif protein ve enzimler sayesinde yüksek mukavemete sahiptir. Köpükle üretilen beton prizini aldıktan sonra basınç direncinde artış sağlar. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.3) köpük ajanı ve köpük ajanı kullanılarak elde edilen köpük solüsyonuna ait bir görsel yer almaktadır.



Şekil 3.3. Köpük ajanı solüsyonu ve elde edilmiş köpük

Köpük Ajanı Kullanım Alanları

- Hafif yapı elemanları
- Isı ve ses yalıtımlı şap üretimi
- Isı yalıtım amaçlı dolgu betonu
- Isı yalıtımı amaçlı toprak altı dolgu betonu
- Yol altı dolgu betonu
- Isı ve ses yalıtımlı hafif döşeme ve duvar üretimi (Anonim, 2022).

3.3.Çimento

Çimento, su ile karışım halinde olduğunda hidratasyona girip priz alarak sertleşen ve bir hamur meydana getiren inorganik bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe oldukça fazla kullanılan çimento sertleşme sonrası dayanım ve kararlılığını su içinde de sürdürebilme özelliğine sahiptir. Mineral kökenli diğer bağlayıcı yapı malzemeleri arasında en ön sıralarda yer almaktadır. Tane boyutu çok incedir. Kum ve/veya çakılla ya da tek olarak su ile karışımı halinde yüksek dayanıma sahip olmaktadır. Hammaddesinde kil ve kilin üç katı oranında kalker bulunmaktadır. Bu nedenle çimento fabrikaları genelde kalker ocaklarının yakınına kurulmaktadır. Yapı sektöründe en çok tercih edilen çimento çeşidi Portland çimentosudur. Portland çimentosu diğer çimento çeşitlerinin bazılarının bileşiminde de yer almaktadır (Oğuz, 2019).

3.4.Hafif Blok

Normal beton inşaat sektöründe en fazla kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Ancak birim ağırlığının fazla olması yapıların ağırlığının da fazla olmasına neden olmaktadır. Bunun yanında birim ağırlığın fazla olmasından dolayı ısı iletkenlik

katsayısı da fazladır. Hafif blok elemanların birim ağırlıklarının düşük olması sebebiyle son zamanlarda üretimi giderek artmaktadır. Bunun yanında üretim maliyetlerinin düşük olması ve işçiliğin de normal betonun işçiliğine oranla %30 daha düşük emek istemesi de son zamanlarda tercih edilme sebepleri arasındadır. Hafif blok elemanların üretiminde pomza, diyatomit, volkanik tüfler gibi malzemeler kullanılmaktadır. Dünyada hafif blok elemanlar kullanılarak imal edilen beton köprüler ve çok katlı binalar bulunmaktadır. Şekil 3.4'te hafif blok elemanlara ait görseller yer almaktadır.



Şekil 3.4. Hafif blok elemanlarına ait görsel

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere üretilen zeolit katkılı hafif blok (ZKHB) elemanların fiziksel ve kimyasal özellikleri, hazırlanan numunelerde bulunan malzeme miktarları ve bu numuneler üzerinden yapılan deney prosedürleri hakkında bilgi verilmiştir.

4.1.Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Zeolit

Bu tez çalışmasında kullanılan zeolit, Manisa Gördes Bölgesinden temin edilmiştir. 90 mikron altı tane yapısına sahiptir. Şekil 4.1’de deneylerde kullanılan zeolit görseli yer almaktadır.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan zeolit

Çizelge 4.1’de deneylerde kullanılan zeolitın kimyasal özellikleri hakkında değerlere yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. Zeolitın kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Kompozisyon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Kızdırma kaybı
Zeolit (%)	68.38	10.72	2.27	2.64	0.63	3.15	11.31

4.1.2. Su

Zeolit katkılı hafif blok üretiminde kullanılan ve köpük elde etmek amacıyla köpük ajanına ilavesi yapılan su, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Yapı Malzeme Laboratuvarındaki şebeke suyundan temin edilmiştir.

4.1.3. Köpük ajanı

Kullanılan köpük ajanı protein esaslı bir yapı malzemesidir. Malzeme yoğunluğu 1.085 gr/cm³'tür. Üretilen köpüğün birim hacmi 0.032-0.035 gr/cm³'tür. 1 litre köpük ajanına 20 litre su ilavesi yapılarak köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki görselde (Şekil 4.2) deneyler esnasında kullanılan köpük solüsyonunun üretiminde kullanılan köpük ajanı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Köpük ajanı

4.1.4. Portland çimentosu

Çimentonun birkaç çeşidi olmasına rağmen en bilineni ve en çok kullanılanı gri renkli olanıdır. Portland çimentosu her çeşit harç ve betonun üretiminde kullanılabilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada CEM I 42.5 R tipli Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento Tokat Artova'da bulunan Adoçim Çimento Beton Fabrikasından temin edilmiştir.

Çizelge 4.2. Portland çimentosunun kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Kızdırma kaybı
Çimento (%)	19.3	5.2	3.3	65.4	2.1	0.8	0.1	2.4	1.1

4.1.5. Köpük

Deneysel çalışmalarda, laboratuvarında mevcut bulunan köpük üretim makinesi ile üretilen köpük kullanılmıştır. Aşağıda köpük makinesiyle köpük üretimi esnasında çekilen bir fotoğraf gösterilmiştir. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3. Köpük üretim makinesi

4.2. Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Yapılan ön denemeler neticesinde karışımda kullanılacak olan malzemelerin miktarları Çizelge 4.3'teki gibi belirlenerek üretim aşamasına geçilmiştir. Köpük miktarı, taze harç yoğunluğunun 0.5 gr/cm³ ile 1 gr/cm³ arasında kalacak şekilde %20 ve %40 olarak belirlenmiştir. Numuneler; zeolitin hiç kullanılmadığı referans numune (REF) ve zeolit oranının %5, %10, %15 ve %20 oranında kullanıldığı Z05, Z10, Z15, Z20 olarak belirlenmiştir. Bu numuneler de tekrar köpük oranına bağlı olarak adlandırılmıştır. REF adlı numunede köpük oranının %20 olarak belirlendiği numune REF20 olarak adlandırılırken köpük oranının %40 olarak belirlendiği numune REF40 olarak adlandırılmıştır. Bu adlandırmalar diğer numuneler için de aynı şekilde yapılmıştır. Yapılan çalışmada bir diğer değişken de kür ortamı olduğundan kür ortamlarına göre ayırım yapabilmek için de su kürü uygulanan numunelere “W” kodlaması yapılırken

buhar kürü uygulanan numunelere “H” kodlaması yapılmıştır. Her bir numuneden 40*40*160 boyutlarındaki prizmatik kalıplarla 4’er seri ve ısı iletkenlik deneylerinde kullanmak amacıyla 40*160*160 boyutlarında 2’şer adet kare numune olmak üzere toplamda 6 seri üretilmiştir.

Çizelge 4.3. ZKHB numunelerinin üretimi için belirlenen karışım oranları

		Toplam bağlayıcı (g)	Çimento (g)	Zeolit (g)	Su (ml)	s/b	Köpük miktarı (hacimce)(%)
REF	20	800	800	0	320	0.4	20
	40	600	600	0	240	0.4	40
Z05	20	800	760	40	320	0.4	20
	40	600	570	30	240	0.4	40
Z10	20	800	720	80	320	0.4	20
	40	600	540	60	240	0.4	40
Z15	20	800	720	120	320	0.4	20
	40	600	510	90	240	0.4	40
Z20	20	800	660	140	320	0.4	20
	40	600	500	100	240	0.4	40

4.3. Karışımların Hazırlanması

Bu çalışmadaki numunelerin tamamı Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Yapı Malzeme Laboratuvarında üretilmiştir. Zeolit katkılı hafif blok numunelerinin üretim aşamasında zeolit, çimento, su, akışkanlaştırıcı ve köpük kullanılmıştır. Köpük ajanı ve su 1/20 oranında karıştırılarak mevcut bulunan mekanik düzenekte köpük solüsyonu elde edilmiştir. Daha sonra üretilen çimento hamurunabı köpük ilave edilmiştir.

Öncelikle çimentoyla zeolit çizelgede (bkz. Çizelge 4.3) belirlenen oranlarda karıştırılmıştır. Daha sonra su ile homojen bir karışım elde edinceye kadar mikserde karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu karıştırma işlemi iki seferde yapılmıştır. İlk karıştırma işlemi 90 sn. süreyle yapılmıştır. Bu süreden sonra mikserden alınıp 30 sn manuel karıştırma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra tekrar miksere alınıp 90 sn süreyle ikinci karıştırma işlemi uygulanmıştır. Bu karıştırma işleminden sonra köpük makinesinde üretilen köpük, iki parça halinde karışıma ilave edilip tekrar karıştırma işlemi sağlanmıştır. Homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla harç yine iki seferde karıştırılmıştır. İlk karıştırma işlemi 2 dk sürmüştür. Harç mikserden alınıp manuel

karıştırma işlemi uygulanmış ve kalan köpük ilave edilerek 3 dk süreyle ikinci karıştırma işlemi uygulanmıştır. Harç hazır olunca karışımdan belli bir miktar alınıp yüksekliği 4 cm, çapı 8 cm olan silindirik bir kap içerisinde taze birim hacim ağırlığı ölçüldükten sonra yağlanmış olan prizmatik kalıplara dökülmüştür. Üzerleri yine yağlanmış olan camlarla kapatılarak kurumaya bırakılmıştır. Kür için iki ortam şartı kullanılmıştır. Birincisi standart su kürü olup kalıplardan 24 saat sonra çıkarılan numuneler su içinde bekletilmiştir. İkinci kür şartı olarak hazırlanan numuneler 4 saat sonra Şekil 4.4'te verilen ısıtma ve soğutma çevrimi uygulanarak basınçsız sıcak buhar kürüne tabi tutulmuştur.



Şekil 4.4. Basınçsız sıcak buhar kürü çevrimi

Şekil 4.5'te çimento ve zeolitin ölçüm işlemleri ve kalıpların hazırlanması işlemi görülmektedir. Her bir üretim için sırayla çimento ve zeolit miktarları belirlenen oranlarda tartıda ölçülerek karıştırma aşamasına geçilmiştir. Her bir kalıp yağlanarak harcın dökülmesine hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.6'da yapı laboratuvarında mevcut bulunan köpük üretme makinesiyle köpük üretimi esnasında çekilen görsellere yer verilmektedir. Şekil 4.7'de ise üretilen köpüğün çimento hamuruna ilavesi görülmektedir. Köpük ilavesi sonra mikserle karıştırma işlemi uygulanmıştır. Buna ait görseller de Şekil 4.8'de verilmektedir. Şekil 4.9'da yağlanmış olan harcın dökülmesine hazır hale getirilen numune kalıpları görülmektedir. Hazırlanan harçların dökülmesi aşaması Şekil 4.10'da görülmektedir. Harçların prizmatik kalıplara dökülmesi işleminden sonra yüzeyleri düzlenerek (Şekil 4.11) yine yağlanmış olan camlarla Şekil 4.12'de görüldüğü gibi üzerleri kapatılmış ve laboratuvar ortamında beklemeye

alınmıştır. 24 saat sonunda numuneler kalıplardan çıkarılarak su kürü uygulanmış diğer serideki numuneler ise 4 saat sonra kalıpla birlikte buhar kürüne alınmıştır(Şekil 4.13).



Şekil 4.5. Malzeme tartımları ve kalıp hazırlığı



Şekil 4.6.Köpük üretimi



Şekil 4.7.Çimento hamuruna köpük ilavesi



Şekil 4.8. Köpük ilavesi yapılan harç karışımının mikserle karıştırılması işlemi



Şekil 4.9. Yağlanmış olan numune kalıpları



Şekil 4.10. Hazırlanan harç karışımının yağlanmış olan numune kalıplarına dökülmesi



Şekil 4.11. Yüzey düzeltme işlemi



Şekil 4.12. Numune yüzeylerinin yağlanmış camla kaplanması



Şekil 4.13. Numunelerin kür ortamlarına alınması

4.4. Deneyler

Tez çalışmasının bu bölümünde zeolit katkılı hafif blok numunelerine uygulanan deneylere yer verilmiştir.

4.4.1. Zeolit katkılı hafif blok harçların taze birim ağırlık deneyi

Hafif betonlarda ölçülen birim hacim ağırlık $300-1800 \text{ kg/m}^3$ aralığında olmaktadır (Oğuz, 2019). Harçlardaki s/ç oranına bağlı olarak birim hacim ağırlık değerinde de değişim olmaktadır. Aralarında ters orantı bulunmakta olup s/ç oranındaki bir artış birim hacim ağırlığın azalmasına sebep olacaktır. Prizini alıp sertleşen harçlarda su kaybı yaşandığı için birim hacim ağırlık taze haline oranla düşmektedir.

Köpüklü harç numunelerin ağırlıklarını belirlemek amacıyla labotaruvarında mevcut bulunan SS Wock RCZ-B marka elektronik tartı kullanılmıştır. Öncelikle tartıda, hacmi 190 cm^3 olan silindirik bir kabın darası alınmıştır. Darası alınan kaba köpüklü harçtan yerleştirilerek numunelerin ağırlıklarına ulaşılmıştır. Sonrasında numune ağırlıkları, silindirik kabın hacmine bölünerek taze beton hacim ağırlıklarına ulaşılmıştır.

Taze beton birim hacim ağırlık değerlerinin bulunmasında kullanılan formül denklem 1’de verilmiştir. Şekil 4.14’te ise silindirik kap yardımıyla taze birim hacim ağırlık değerlerinin ölçümü fotoğraflanmıştır.



Şekil 4.14. Silindirik kap yardımıyla taze harç birim hacim ağırlıklarının ölçümü

$$WTBHA = (WKalıp+Harç - WKalıp)/VSKH(1)$$

WTBHA: Taze harç birim hacim ağırlık (g/cm³),

WKalıp+Harç: Köpüklü harç ile doldurulmuş silindirik kalıbın ağırlığı (gr),

WKalıp: Silindirik kalıbın ağırlığı (gr),

VSKH: Silindirik kalıbın hacmi (cm³).

4.4.2. Kuru birim hacim ağırlık deneyi

Priz süresini tamamlayan harcın ağırlığının boşluklu olan yapısı da dahil hacmine oranı birim hacim ağırlık olarak tanımlanmaktadır. ZKHB numuneler laboratuvar ortamında kurutulduktan sonra tartı yardımıyla ağırlıkları belirlenmiştir. Numune üretiminde kullanılan 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplar sayesinde de numunelerin hacmi belirlenmiştir. Numunelerin ağırlıkları, boyutları belli olan prizmatik kalıbın hacmine bölünerek kuru birim hacim ağırlıklar belirlenmiştir. ZKHB numunelerinin kuru birim hacim ağırlıkları denklem 2’ye göre belirlenmiştir. Şekil 4.15’te ölçüm işlemine ait bir fotoğraf yer almaktadır.



Şekil 4.15. ZKHB numunelerine ait kuru birim hacim ağırlıklarının ölçümü

$$WBHA = W_{Etüv} / VPKH (2)$$

(WBHA): Birim hacim ağırlık (g/cm^3),

($W_{Etüv}$): Laboratuvar ortamında ve etüvde bekletilen numunelerin ağırlıkları (gr),

(VPKH): Prizmatik numunenin hacmi (cm^3).

4.4.3. Su emme ve görünür porozite deneyleri

Prizini alarak sertleşmiş olan betonun boşluklarının tam olarak suya doymun olmaması durumunda ıslak olan bir ortama alındığında beton içerisinde mevcut bulunan boşluklara su girmektedir. Bu su emme işlemi, beton tam olarak suya doymun hale gelene kadar devam etmektedir. Bu olaya su emme denilmektedir. Su emme olayında ilk olarak büyük hacimli boşluklar daha sonra küçük hacimli boşluklar suyla dolmaktadır. Buna bağlı olarak su emme olayı ilk başlarda hızlı ilerlemekte daha sonra küçük hacimli boşlukların daha yavaş su emmesi dolayısıyla su emme işlemi yavaşlamaktadır. Bu hız ve emilen suyun miktarı, betonun ne kadar kuru olduğuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Beton, içerisinde barındırdığı boşluk oranı kadar su emecektir. Beton içerisindeki boşluk miktarı çeşitli etkenlerden etkilenmektedir. Beton ne kadar su emme kapasitesine sahipse dayanımı da o oranda düşük değerler vermektedir (Oğuz, 2019).

Su emme deneyi TS EN 12390-7 ve görünür porozite deneyi TS en 772-4 standartına uygun olarak yapılmıştır. Numunelerin 28 gün sonunda su emme oranları ve görünür porozite yüzdeleri hesaplanmıştır. 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler laboratuvar ortamında 24 saat boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Süre sonunda sudan alınan numuneler, havlu yardımıyla kurularak suya doymuş haldeki ağırlıkları ölçülmüştür. Numunelerin kuru ağırlıklarının ölçümü için 105°C’de 24 saat boyunca etüvde bekletilerek kuruması sağlanmıştır. Tekrar laboratuvar ortamına alınan numunelerin sıcaklıkları oda sıcaklığına gelince kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Numunelerin kuru ağırlıkları ve suya doymuş ağırlıkları belirlendikten sonra denklem 4 ve denklem 5’e göre sırasıyla su emme oranları ve görünür porozite yüzdeleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.16. 24 saat suda bekletilen ZKHB numuneleri

Şekil 4.16’da 24 saat su ortamında bekletilen numunelere ait görsel yer almaktadır. Şekil 4.17’de ise numunelerin suya doymuş ağırlık değerlerinin ölçümü aşamasından bir görsel yer almaktadır.



Şekil 4.17. ZKHB numunelerinin suya doymuş ağırlıklarının ölçümü

$$S_a = [(P_2 - P_1) / P_1] * 100 \quad (4)$$

$$GP = [(P_2 - P_1) / (P_1 - P_3)] * 100 \quad (5)$$

S_a :Hafif blok su emme oranı,

GP: Görünür Porozite

P₁: Numunenin kuru ağırlığı (gr)

P₂: Suya doymuş numunenin ağırlığı (gr)

P₃: Numunenin su içerisindeki ağırlığı (gr)

4.4.4. Basınç dayanımı deneyleri

Hafif blok elemanların basınç dayanımları yoğunluğundan büyük oranda etkilenmektedir. Buna bağlı olarak hafif blokların yoğunluğunda meydana gelen herhangi bir azalma betonun basınç dayanımında da azalmaya neden olacaktır (Oğuz, 2019).

Basınç dayanım deneyleri TS EN 1015-11(2020) standardına göre yapılmıştır. Numuneler ortadan ikiye bölünerek elde edilen deney numunelerinden 3 ayrı gün olmak üzere (1., 7. ve 28. gün) belirlenen günler için ayrı ayrı basınç dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Basınç dayanımını belirlemek için kullanılan formül denklem 6'da

verilmiştir. Şekil 4.18’de basınç dayanım değerlerinin ölçümü aşamasından bir görsel yer almaktadır.



Şekil 4.18. ZKHB numunelerinin basınç dayanım değerlerinin ölçümü

$$\sigma = P/A \text{ (6)}$$

σ : Basınç dayanımı, (MPa)

P: Numuneye uygulanan yük, (N)

A: Numunenin basınç uygulama alanı, (mm²)

4.4.5. Ultrases geçiş hızı belirleme deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyinde kullanılan cihaz, verici sayesinde betona dalga titreşimleri göndermektedir. Bu dalga titreşimleri sayesinde betondaki yani alıcıdaki titreşimin varış hızını ölçmektedir. Bu test sayesinde betonun mekanik özellikleri belirlenmektedir. Aynı zamanda betonun görüntülenmesinde mikroskop görevinde kullanılabilir. Boyutunun küçük olması, kolay taşınabilir özellikte olmasını sağlamaktadır. Bu özelliğiyle ergonomik bir özellik göstermektedir. Aynı zamanda ekonomik olmasını da sağlamaktadır (Oğuz, 2019).

40x40x160 mm boyutlarında üretilen ZKB numunelerinin ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır. Deney ASTM C-597-09 standartına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Yapı Laboratuvarında mevcut bulunan ultrases test cihazı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı değerleri denklem 7 kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.19’da ultrases hızının ölçümü için kullanılan cihaz görülmektedir.



Şekil 4.19. Ultrases ölçüm cihazı

Şekil 4.20’de numunelerin ultrases hız değerlerinin ölçüm aşamasından bir görsel yer almaktadır.



Şekil 4.20. Numunelerin ultrases hız ölçümü

$$V_{ses} = (S * 1000) / t \quad (7)$$

V_{ses} : Ultrases geçiş hızı (m/s),

S : Numuneye ait ölçüm yapılan iki yüzey arasındaki mesafe (m),

t : Ölçüm yapılan iki yüzey arasından sesin geçişi sırasında geçen süre (mikro saniye (μs) olarak ifade edilmektedir.)

4.4.6. Isı iletkenlik deneyi

Hafif blok elemanların ısı iletkenlikleri oldukça düşüktür. Bu özelliğı sayesinde ısı tutma kabiliyeti yüksek olup bu da enerji tasarrufunun olumlu yönde olmasını sağlamaktadır. Isı iletkenliklerinin düşük olması ısı yalıtımında tercih sebebi olmasını sağlamaktadır. Hafif blokların ısı iletkenlik katsayıları(k); boşluk oranı ve hücre yapısı, köpük yoğunluğu, köpük ajanı, karışım oranı, malzemenin birim ağırlığı gibi birçok etkene bağılı olarak değışkenlik göstermektedir (Oğuz, 2019).

Deney ASTM C518, ISO 8301 ve TS EN 12667 standartları baz alınarak yapılmıştır. ZKHB numunelerine ait ısı iletkenlik deneyi, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde yapılmıştır. Cihaz olarak Thermtest HFM-100 kullanılmıştır. Şekil 4.21’de k katsayısının belirlenmesinde kullanılan cihaz yer almaktadır. Şekil 4.22’de de ısı iletkenlik deneyinde kullanmak amacıyla üretilen numunelere ait görseller yer almaktadır.



Şekil 4.21. Isı iletkenlik katsayılarının ölçümünde kullanılan cihaz



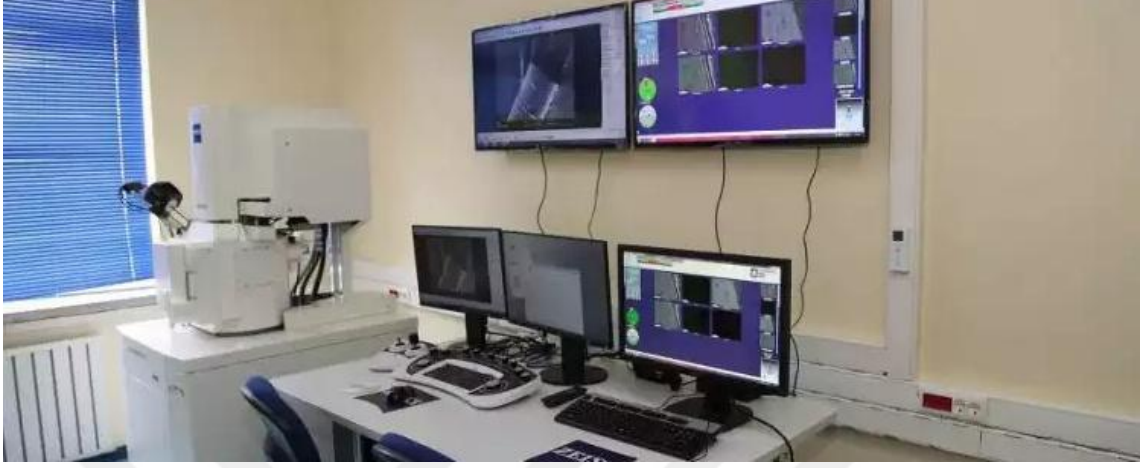
Şekil 4.22. Isı iletkenlik deneyi için üretilen numuneler

4.4.7. Zeolit katkılı hafif blok numunelerin mikro yapısal özelliklerinin incelenmesi

Betonun yapısındaki detay ve ayrıntıları insan gözüyle görmek imkansızdır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sayesinde mikron boyutundaki tanecikler görülebilmektedir. SEM ile elektronlar yüksek voltaj sayesinde hızlandırılarak numune ve elektronlar arasındaki etkileşim algılayıcılar sayesinde toplanmakta ve sinyal güçlendiricilerden geçirilerek elde edilen görüntü katot ışınları tüpü ekranına yansıtılmaktadır. Bu sayede betonun mikro yapısına dair görüntü elde edilmiş olmaktadır.

Bu deneyle amaçlanan, üretimi yapılan ZKHB numunelerine SEM/EDX analizi yapılarak numunelerin mikro yapısını ve oksitlerin oluşumunu incelemektir. SEM görüntüleme işlemi, numunelerin üzerine ışık yerine yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektron ışını probu verilerek bu propla numunenin taratılması ve taratılma neticesinde nano ölçeğe kadar numuneleri görüntüleme tekniğidir. Taramalı Elektron Mikroskobu ile yapılmaktadır. Şekil 4.23'te deneyde kullanılan ZEISS/GEMINI 500 marka taramalı elektron mikroskobuna ait bir görsel bulunmaktadır. ZKHB numunelerine ait SEM/EDX

analizleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde yapılmıştır.

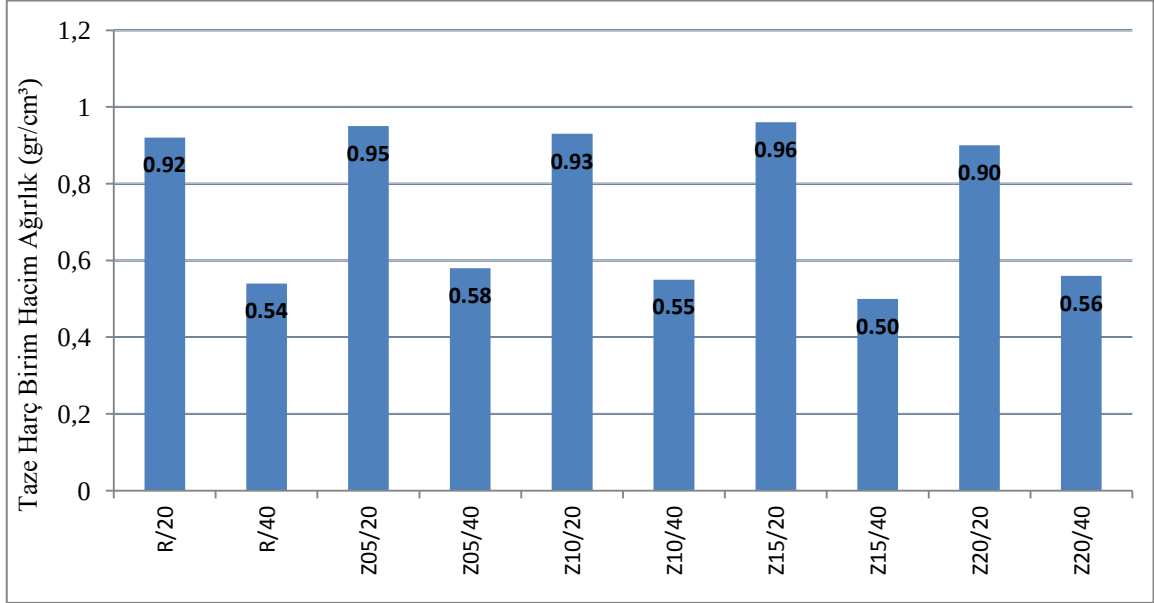


Şekil 4.23. Taramalı elektron mikroskobu

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1.Taze Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Numunelerin taze hacim ağırlık değerlerine ulaşabilmek adına çapı 8 cm ve yüksekliği 4 cm olan silindirik bir kap kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen taze birim hacim ağırlık değerleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

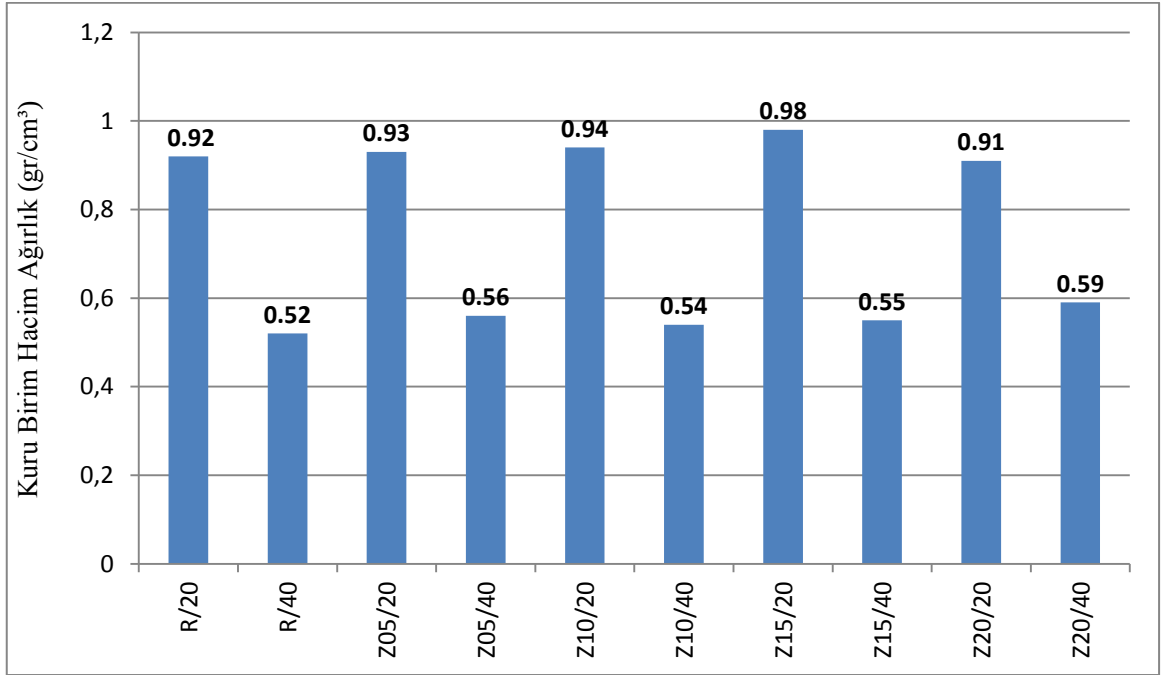


Şekil 5.1. ZKHB numunelerinin taze birim hacim ağırlık değerleri

Şekil 5.1’e bakıldığında taze harç birim hacim ağırlık değerinin %20 köpük oranı için 0.90-0.96 gr/cm³ aralığında olduğu, %40 köpük oranı için 0.50-0.58 gr/cm³ aralığında olduğu görülmüştür. Çalışmada hedeflenen 0.5-1.0 gr/cm³ birim ağırlıklara sahip numune üretme hedefi bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

5.2.Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

40x40x160 cm boyutlarında üretimi yapılan numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarına ulaşabilmek için her seriden üçer adet prizmatik numune alınarak her biri hassas terazide tartılmıştır. Tartım işlemi sonucu çıkan değerlerin aritmetik ortalaması numune hacmine bölünerek kuru birim hacim ağırlık değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.2’de verilmiştir.

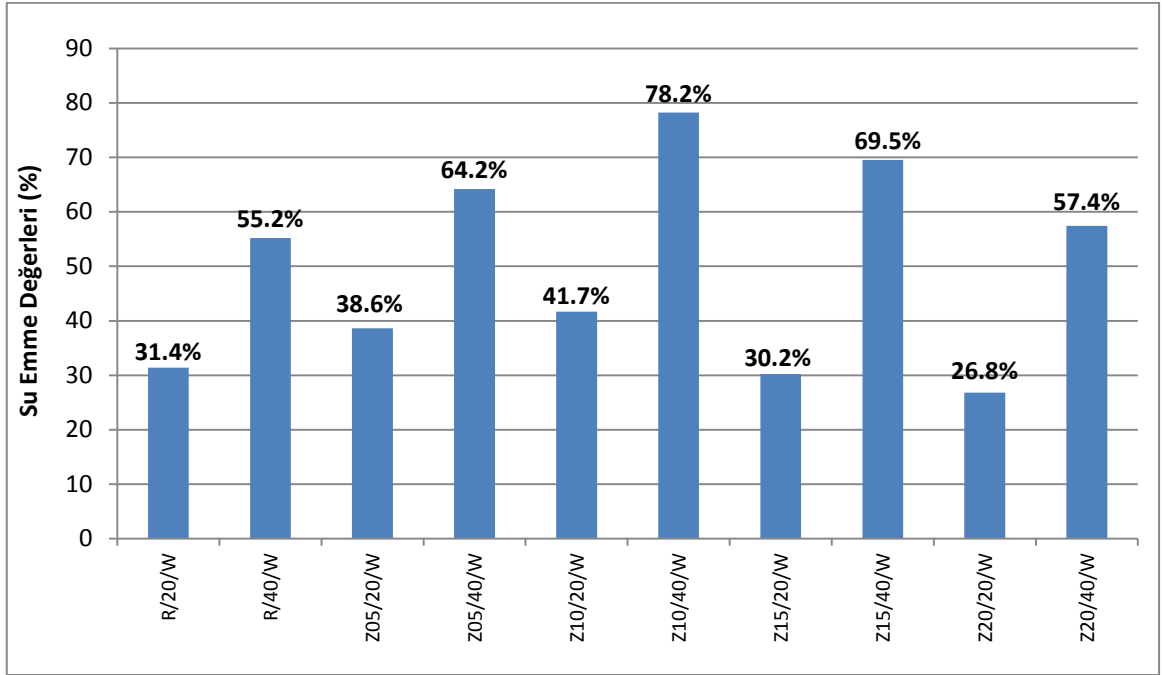


Şekil 5.2. ZKHB numunelerine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri

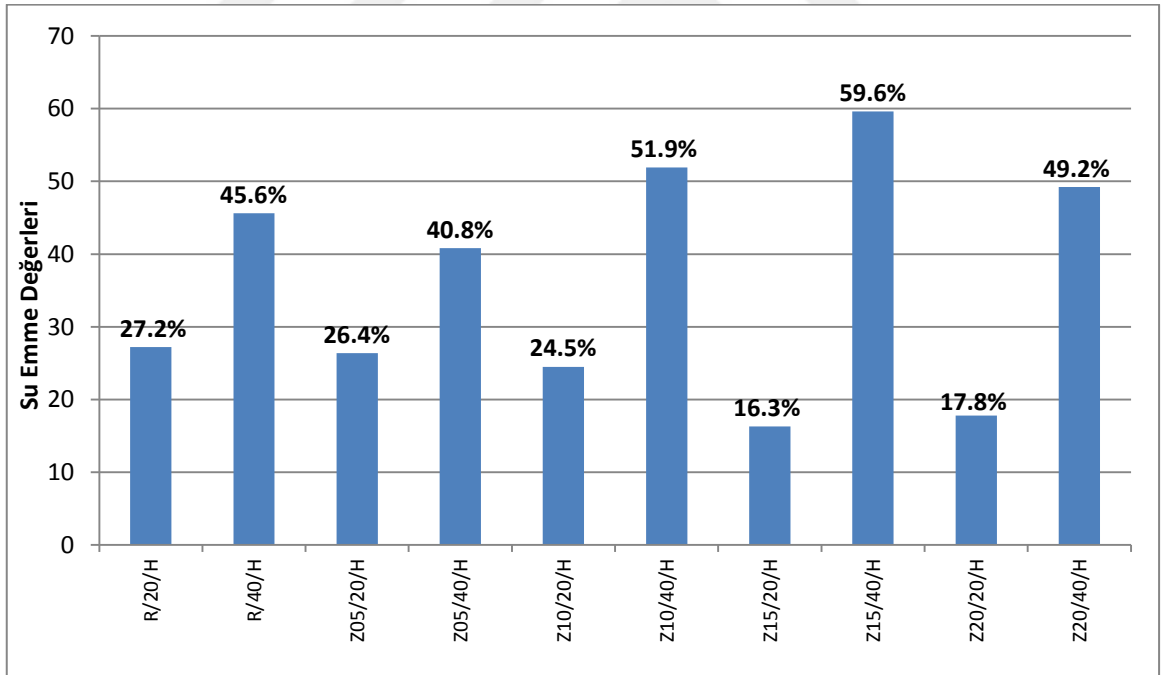
Şekil 5.2'ye bakıldığında kuru birim hacim ağırlıklar yine köpük oranının %20 olarak alındığı harç karışımlarıyla üretilen numunelerde daha yüksek değerler alırken köpük oranının artmasına bağlı olarak kuru birim hacim ağırlık değerlerinde de düşüş yaşanmıştır. Bunun yanında zeolitin giderek artış gösterdiği Z10 numunesinden itibaren kuru birim hacim ağırlık değerleri diğer serilere oranla, taze birim hacim ağırlık değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.

5.3.Su Emme ve Görünür Porozite Deneyleri

Üretimi gerçekleştirilen ZKHB numuneleri, bünyelerindeki köpük dolayısıyla gözenekli bir yapıya sahiptir. 24 saat suda bekletilen numuneler bir havlu yardımıyla üzerlerindeki serbest sudan arındırılarak tartıya alınmış ve suya doymun ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen su emme değerleri ağırlıkça her bir kür durumu için Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.



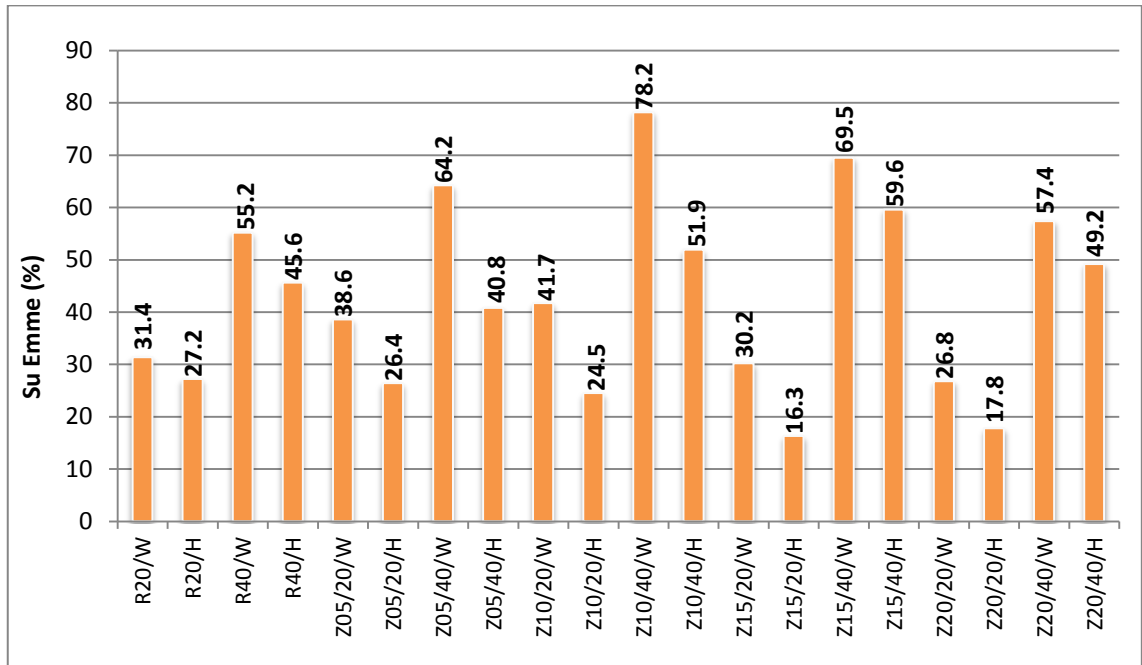
Şekil 5.3. Su küründeki ZKHB numunelerinin su emme değerleri



Şekil 5.4. Buhar küründeki ZKHB numunelerinin su emme değerleri

İki kür ortamına ait numunelere bakıldığında köpük oranına bağlı olarak boşluklu yapının çok olmasından dolayı %40 köpük oranına sahip numunelerde su emme oranının daha yüksek çıktığı görülmektedir. Gözeneklerin artmasına bağlı olarak emilen su oranı da artış göstermiştir. Bu durumun sem görüntülerinde de ortaya çıkan kılcal

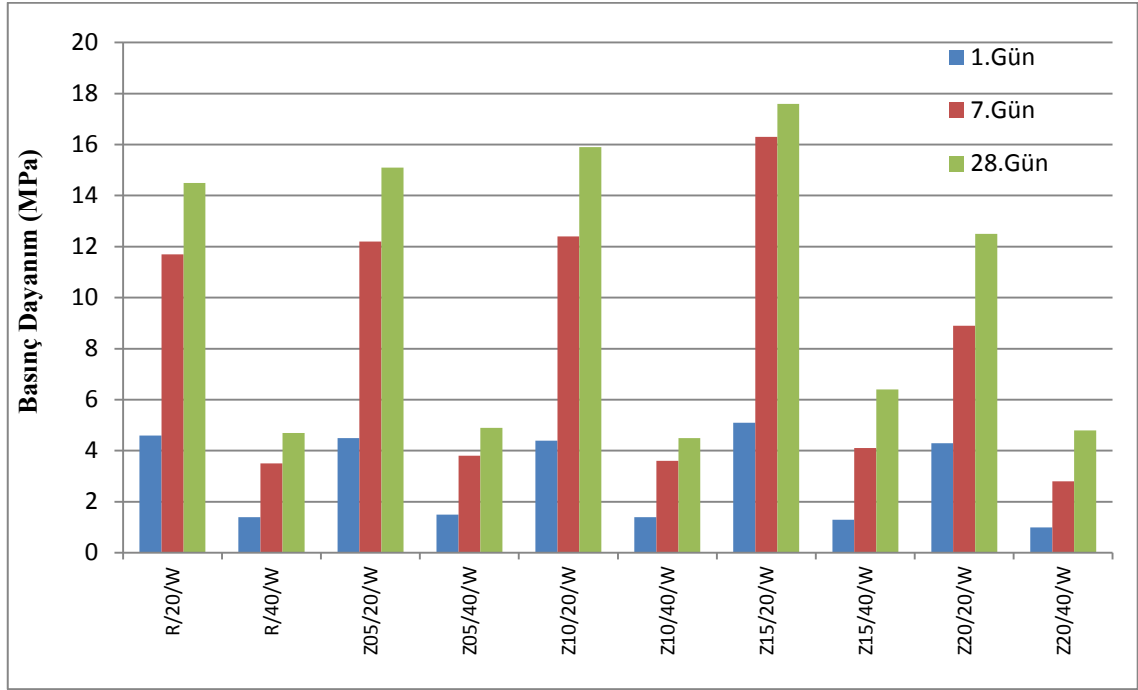
çatlaklarla ilgili olduğu sonucuna varılmıştır. Geçirimsizlik ne kadar fazla olursa beton asit etkisine, sülfat etkisine, karbonatlaşmaya, donma ve çözölmeye, ıslanma ve kurumaya, aşınmaya ve buna benzer fiziksel ve kimyasal dış etkenlere karşı dayanıksız hale gelmektedir. Üretilen hafif blokların geçirimsizliğinin fazla olmasının, dış cephede kullanımları durumunda kısa ömürlü olmalarına sebebiyet vermesi muhtemeldir. Şekil 5.5'te 28 günlük numunelerin kür koşullarına göre su emme değeri verilmiştir. Su emme değeri bakıldığında suda küre tabi tutulan numunelerin su emme değeri, buhar küründe bekletilen numunelerinkine oranla daha yüksek değeri vermiştir. Zeolit oranının artmasına bağlı olarak da su emme oranlarında artış gözlenmiştir.



Şekil 5.5. Kür koşullarına göre su emme değeri karşılaştırması

5.4.Basınç Dayanımı Deneyleri

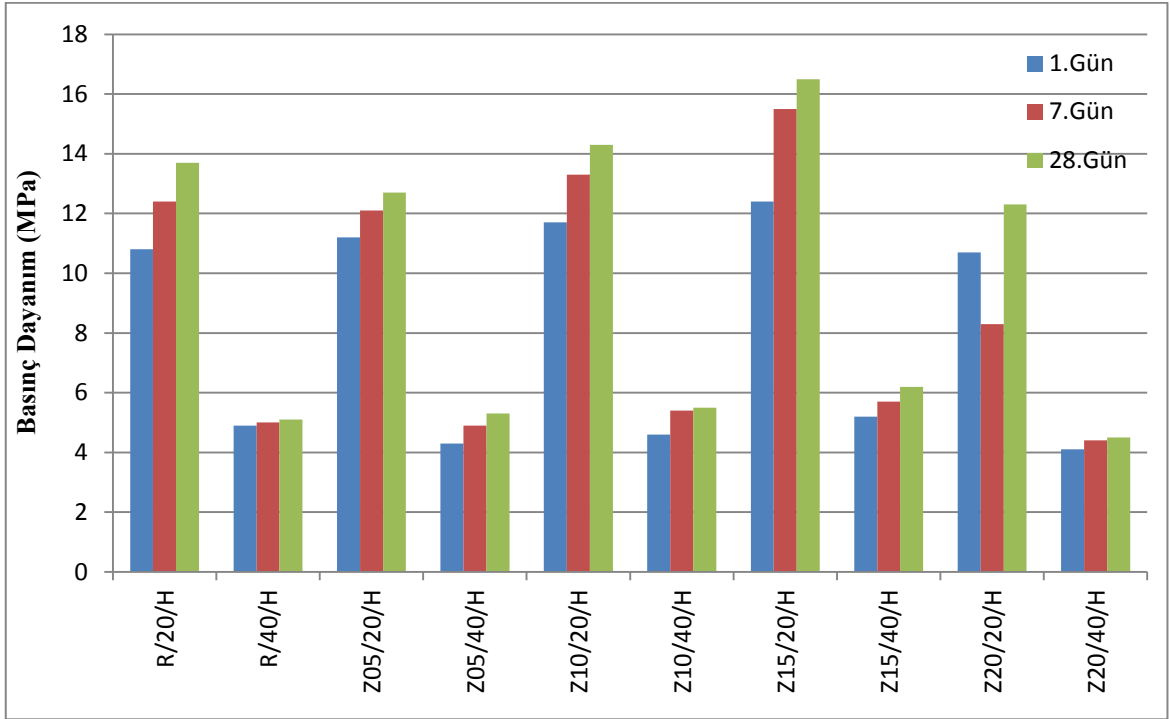
Prizmatik ZKHB numuneleri, basınç dayanım değeri belirlenmesi adına, düzgün yüzeyleri yüke maruz kalacak şekilde basınç presine alınarak dayanım testleri yapılmıştır. Numunelere ait basınç dayanım değeri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir.



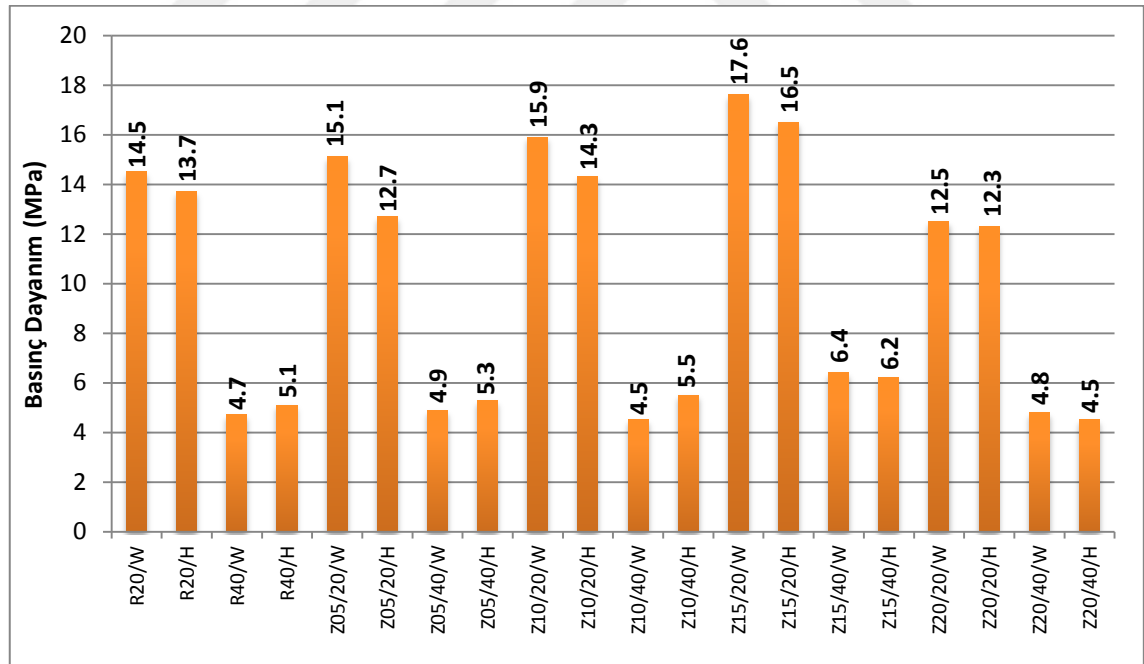
Şekil 5.6. Su kürü uygulanan numunelere ait basınç dayanım değerleri

Şekil 5.6'ya bakıldığında kuru birim hacim ağırlık değerlerinin de yüksek olduğu %20 köpük oranına sahip numunelerin basınç dayanım değerleri en yüksek çıkmıştır. Her bir seri için 1., 3. ve 28.gün değerlerine bakıldığında tamamında da dayanım değerlerinin günlere bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Tüm harç serilerinde köpük oranındaki artış, basınç dayanımlarını azaltmıştır.

Şekil 5.7'de ise ısıtma küre tabii tutulmuş numunelere ait basınç dayanım değerleri yer almaktadır. Yine %20 köpük oranına sahip numuneler yüksek basınç dayanımı sağlarken %40 oranına sahip numuneler boşluk oranına bağlı olarak düşük dayanımlarda çıkmıştır. Fakat burada Z20/20/H numunesine bakıldığında 7.günde basınç dayanım değerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu durumun gözenekli olan numune içerisinde meydana gelen rötre çatlaklarından meydana gelebileceği düşünülmektedir. Zeolit oranının artmasına bağlı olarak, zeolit %20 oranında kullanıldığı numunelere kadar zeolit artışıyla doğru orantılı olarak basınç dayanım değerlerinde de artış görülmüştür. Basınç dayanımında en iyi sonuç veren zeolit oranının %15 olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.7. Buhar kürüne tabi tutulan numunelere ait basınç dayanım değerleri



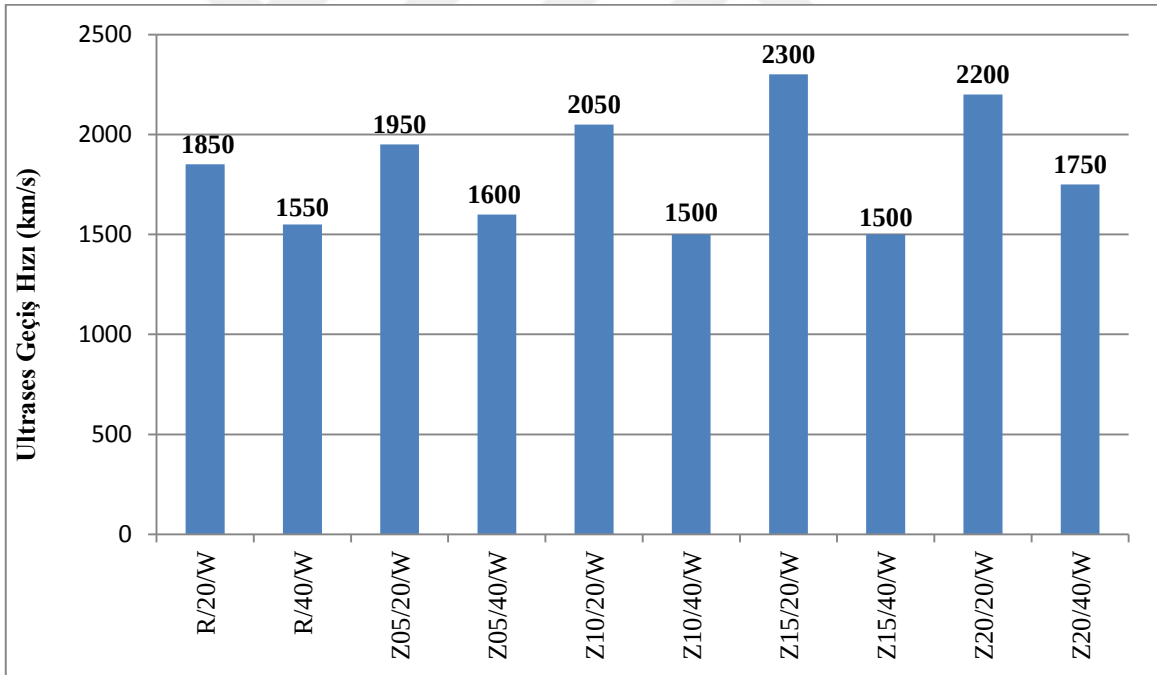
Şekil 5.8. Kür koşullarına göre basınç dayanım değerlerinin kıyaslanması

Şekil 5.8, 28 günlük numunelerin her iki kür koşulu için kıyaslama yapılabilmesi için oluşturulmuştur. Buna göre sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte su kürüne tabi tutulan numunelerde basınç dayanım değerleri daha yüksek sonuçlar vermiştir. Köpük

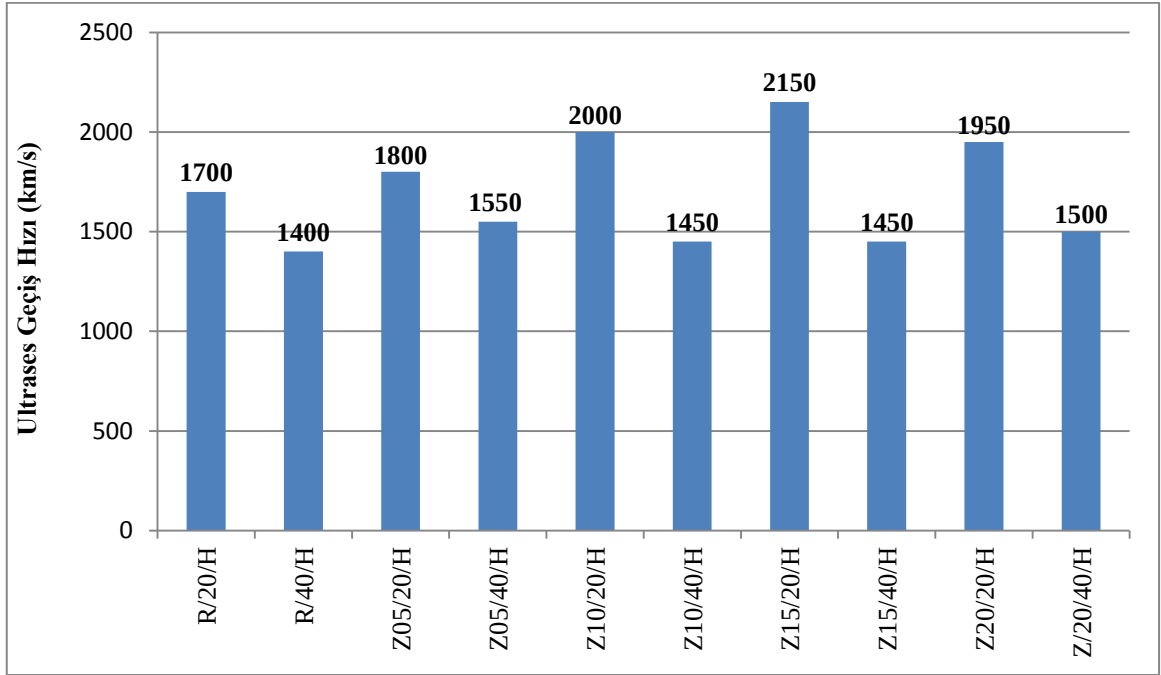
oranının %40 alındığı numunelerde ise Z15 numunesine kadar buhar kürüne tabi tutulan numuneler daha iyi dayanım sonuçları verirken Z15 numunesinden itibaren su küründe bekletilen numunelerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

5.5.Ultrases Geçiş Hızı Belirleme Deneyleri

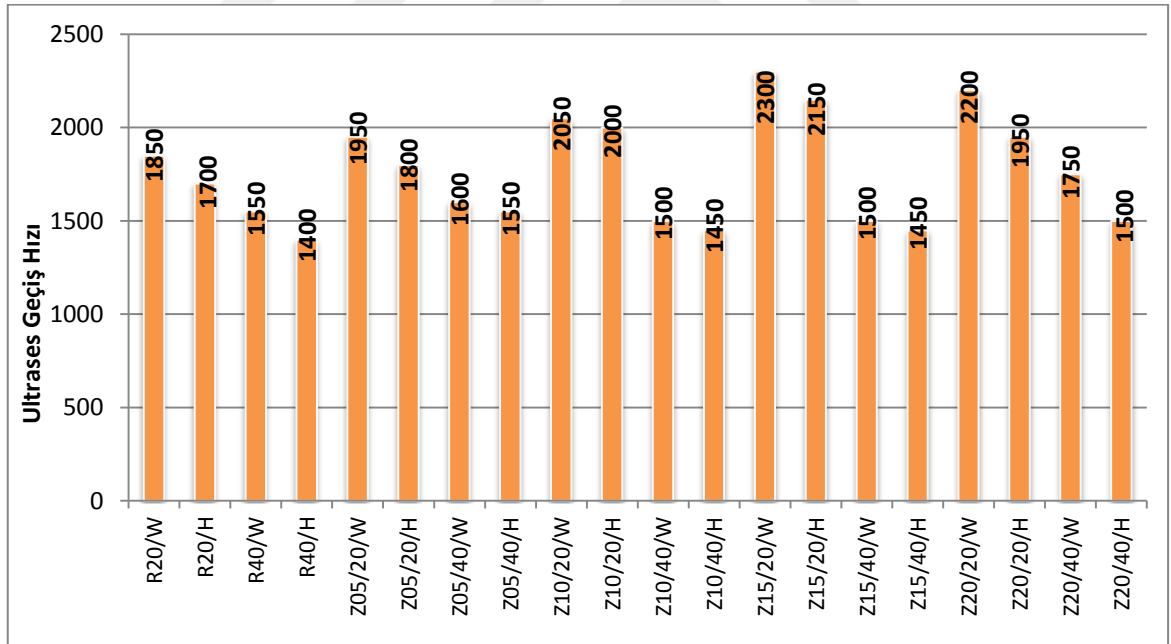
ZKHB numunelerinin ultrasonik ses geçiş hızlarını belirlemek amacıyla ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Numunelere ait ölçümler yapılmadan önce cihazın uçlarıyla (prob) numune arasında boşluksuz bir yüzey oluşturabilmek için proplara, cihaza özel olarak kullanılan ultrason jeli sürülmüştür. Numunelere ait ultrases ölçüm sonuçları Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Her ikisinde de boşluk oranıyla ters orantılı olacak şekilde değerler elde edilmiştir. Köpük oranı %20 olan numunelerde geçiş hızı boşluk oranının az olmasına bağlı olarak daha fazla çıkmıştır. %40 olan numunelerde boşluk oranına bağlı olarak geçiş hızı daha düşük değerlerde sonuç vermiştir.



Şekil 5.9. Su küründe bekletilen numunelere ait ultrases geçiş hızı grafiği



Şekil 5.10. Buhar küründe bekletilen numunelerin ultrases geçiş hızı grafiği

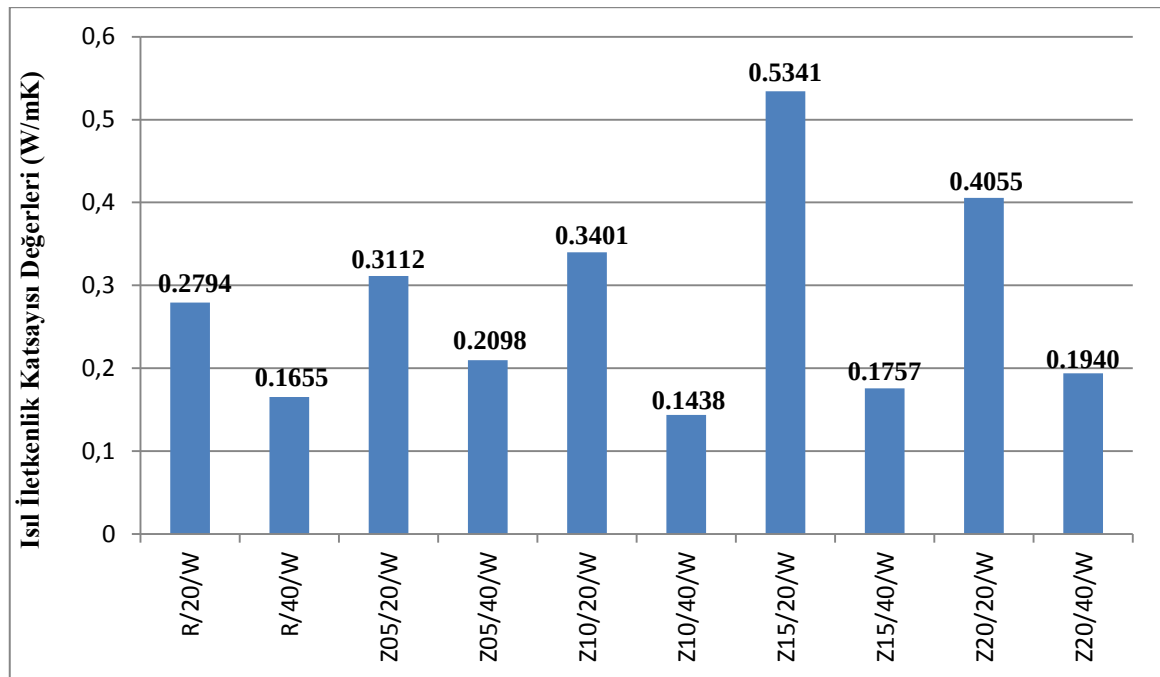


Şekil 5.11. Kür koşullarına göre kıyaslama

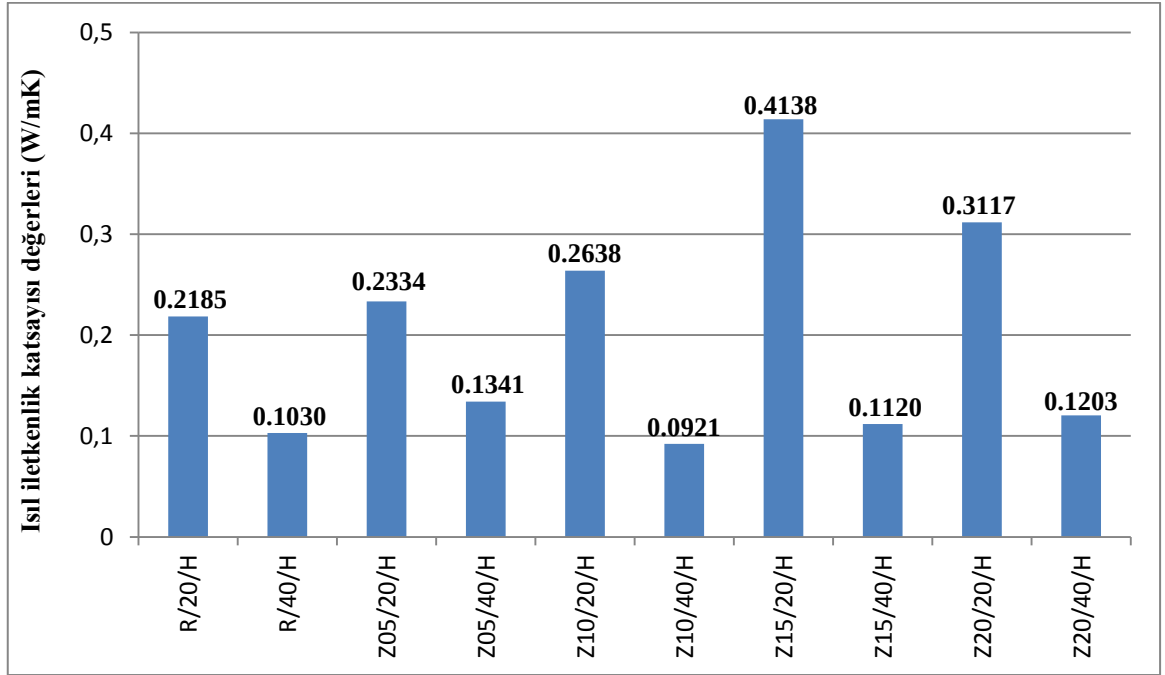
Şekil 5.11’de iki farklı kür ortamına tabi tutulan numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Suda küre tabi tutulan numunelerde ultrases geçiş hızı değerleri buhar kürüne tabi tutulan numunelere kıyasla daha yüksek değerler vermiştir. Zeolitin artmasına bağlı olarak %20 zeolit oranına kadar geçiş hızı değerlerinde de paralel artışlar görülmektedir.

5.6. Isı İletkenlik Deneyleri

Isı iletkenlik katsayısı; 1 m kalınlığındaki yüzeyin, 1 m²'lik kesitinden 1 saat süresince geçmesi gereken ısı miktarıdır. Isı iletkenlik katsayısının belirlenebilmesi için kullanılan alet içerisinde pirinç bir silindir ile disk bulunan bir alettir. Deney esnasında ortam ile ısı alışverişinin engellenmesi için izolasyonlu iki kısım vardır. Bahsi geçen silindir parça altına 40x160x160'lık prizmatik numunelerin alınmasıyla sıcaklık değişimlerinin ölçümü yapılmıştır. Numunelere ait ısı iletkenlik katsayıları (k) Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de verilmiştir.



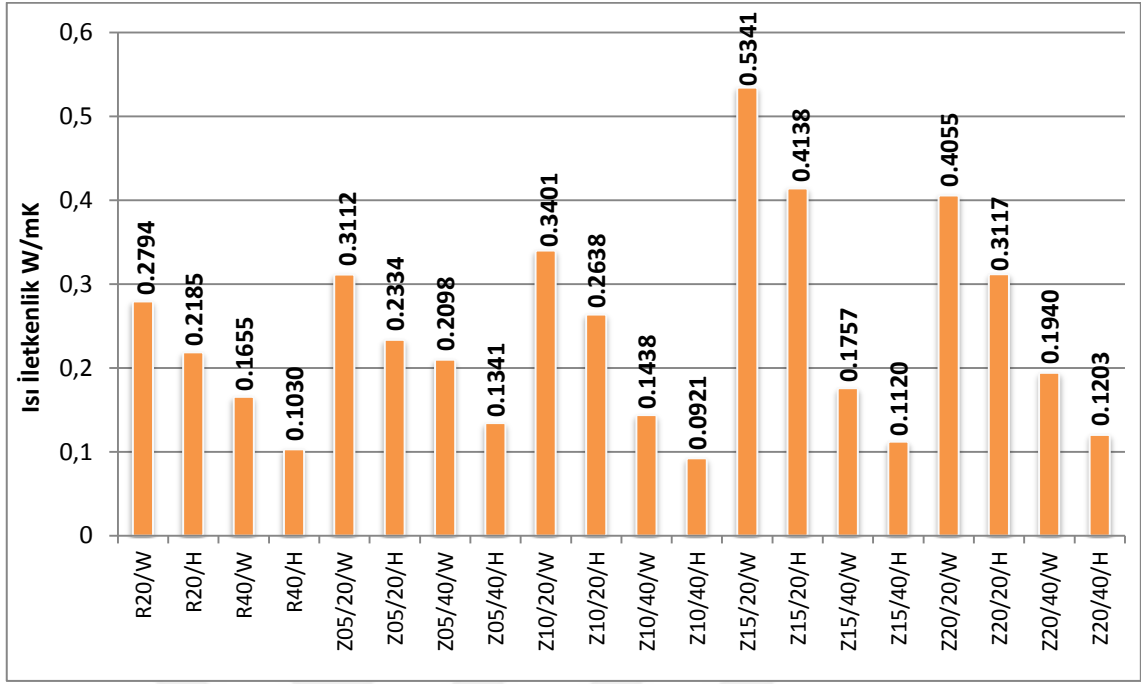
Şekil 5.12. Su küründe bekletilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısı grafiği



Şekil 5.13. Buhar kürü uygulanmış numunelerin ısı iletkenlik katsayısı grafiği

Isı iletkenlik katsayısı, ısıнын malzemenin içinden geçerek bir uçtan diğer bir uca iletilmesi durumudur. Bu değer ne kadar düşük olursa malzemenin ısı yalıtım değeri o kadar iyidir demektir.

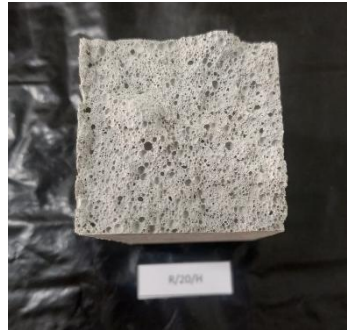
Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'e bakıldığında diğer tüm ölçümlerde olduğu gibi boşluk miktarına bağlı olarak değişimler gözlenmiştir. Köpük oranının %20 olduğu boşluk oranının daha az olduğu numunelerde ısı iletkenlik katsayısı değerleri daha yüksektir. Köpük oranının yüksek olduğu %40 oranlı numunelerde ise k katsayısı hava boşluğu miktarına bağlı olarak daha düşük değerler almıştır. Buradan anlaşılabacağı üzere %40 köpük oranlı numuneler, havanın en iyi ısı iletkeni olduğu göz önüne alınarak ısı yalıtımı açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Şekil 5.14'te ise kür koşullarına göre kıyaslama yapılması adına oluşturulan tablo yer almaktadır. Suda küre tabi tutulan numunelerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri, buhar küründe bekleyen numunelerinkine göre daha yüksek değerler almıştır. Buhar kürü ısı iletkenlik açısından daha olumlu sonuçlar vermiştir. Zeolit oranının artmasına bağlı olarak zeolit in ağırlıkça %20 olduğu numunelere kadar doğru orantılı bir artış olurken Z20 numunesinde ısı iletkenlik katsayısı tekrarsan düşmüştür. Isı iletkenliği açısından en iyi değer veren zeolit oranı %20 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.14. Kür koşullarına göre kıyaslama

5.7.SEM Görüntüleme Analiz Sonuçları

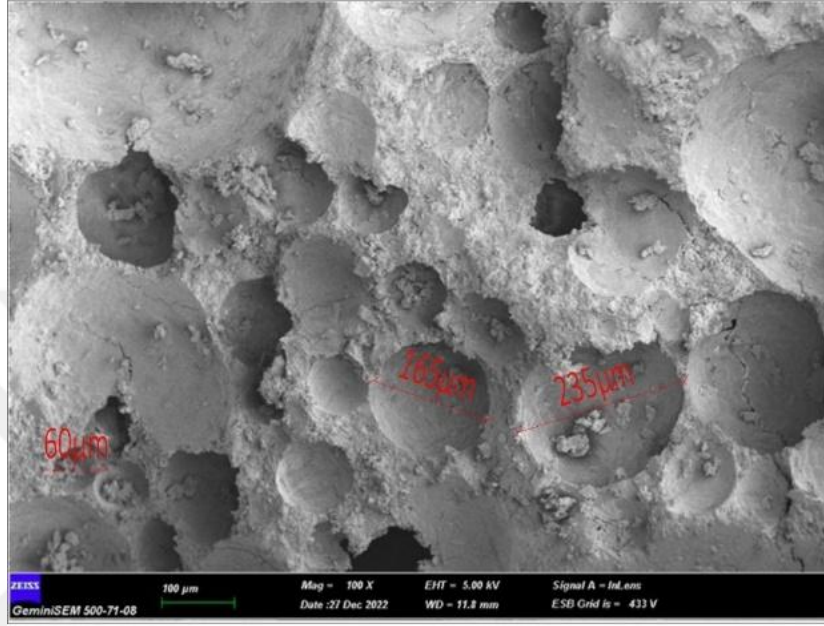
Bu analiz için ZKHB numuneleri 24 saat boyunca 60 °C sıcaklıkta etüvde kuru hale getirilmiştir. SEM görüntüleme analizi için köpük oranının kompozitlerin iç yapısında ya da hidratasyonunda büyük bir değişikliğe yol açmaması nedeniyle köpük oranı %20 olan ve farklı iki küre maruz bırakılan seriler kullanılmıştır. Numunelere ait SEM görüntüleri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır.



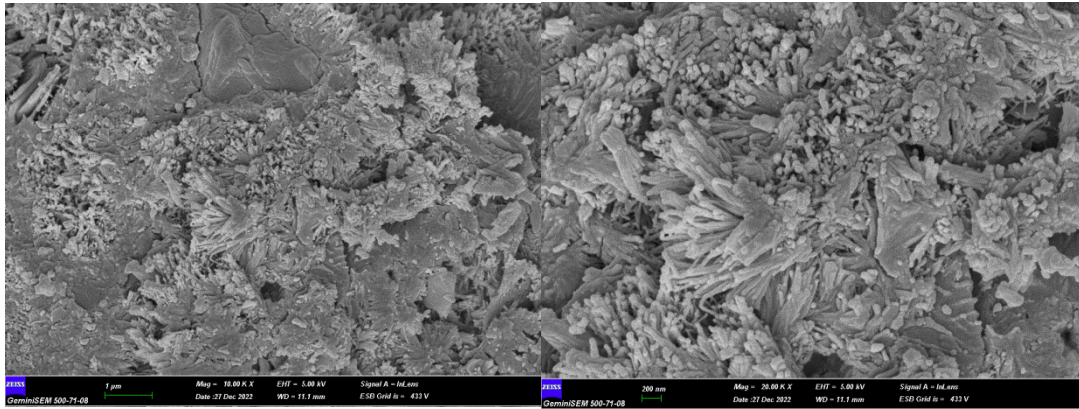
Şekil 5.15. R20/H numunesinin kesit görüntüsü

Şekil 5.15’de R20/H numunesi ortadan kırılarak gözenek yapısı görüntülenmiştir. Şekil 5.16’da ise R20/H numunesine ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Numunede çok fazla çatlak oluşumu görülmemekte, oluşan çatlakların da gözeneklerin etrafında

yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çatlakların bazı yerlerde komşu gözenekleri birbirine bağlayacak şekilde uzandığı görülmektedir. Numunenin gözenek çapları ölçülmüş olup 60 μm ile 235 μm aralığında kalmıştır. Şekil 5.17’de de numunenin kristal yapısına ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5.16. R20/H numunesine ait SEM’de görülen çatlak ve gözenekler

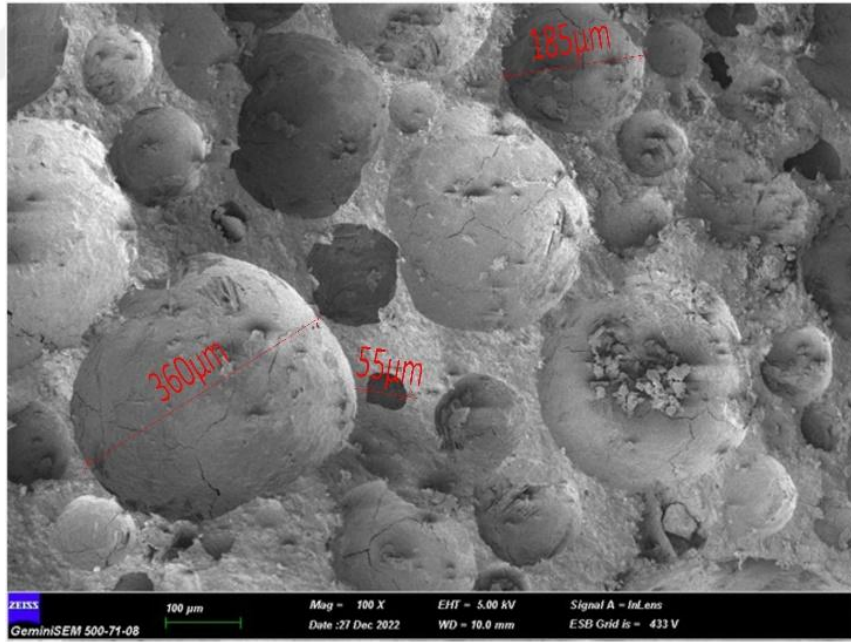


Şekil 5.17. R20/H numunesinin kristal yapısına ait görsel

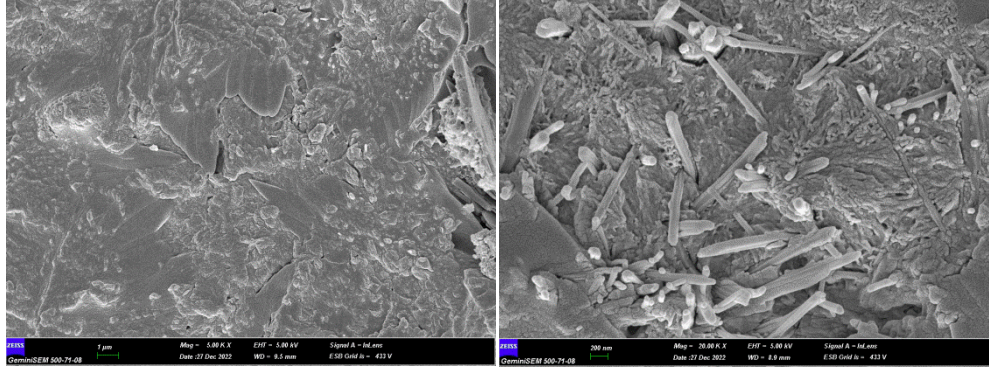


Şekil 5.18. R20/W numunesinden bir kesit

Şekil 5.18’de R20/W numunesi de kırılarak gözenek yapısına ait bir görsel alınmıştır. Şekil 5.19’da numuneye ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Çatlak oluşumunun çok derin olmayıp küçük çatlaklar halinde olduğu ve oluşan çatlakların da gözeneklerin etrafında olduğu görülmektedir. Numunenin gözenek çaplarına bakıldığında 55 μm ile 235 μm aralığında kaldığı görülmektedir. Şekil 5.20’de ise numunenin kristal yapısına ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5.19. R20/W numunesine ait SEM’de görülen çatlak ve gözenekler

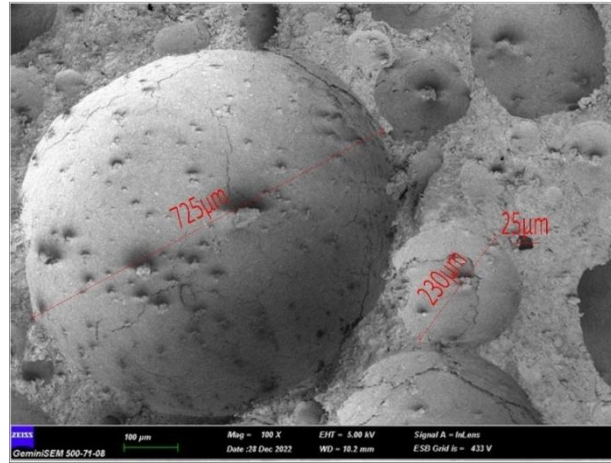


Şekil 5.20. R20/W numunesinin kristal yapısına ait görsel

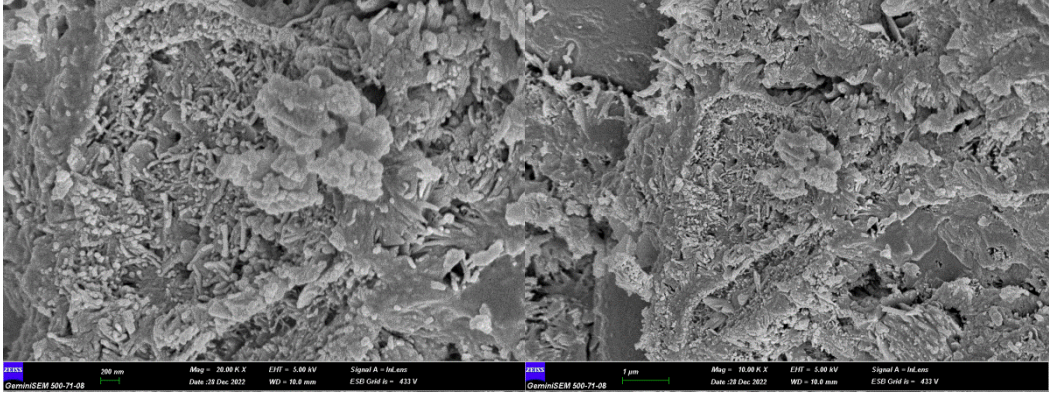


Şekil 5.21. Z05/20/H numunesinden bir kesit

Yukarıdaki şekilde (Şekil 5.21) de Z05/20/H numunesinin gözenek yapısına ait bir görsel yer almaktadır. Şekil 5.22’de de SEM görüntüleri yer almaktadır. Şekillere bakıldığında gözenek oluşumunun ısı küre tabii tutulan R20/H numunesine kıyasla daha yoğun olduğu görülmektedir. Gözeneklerin etrafında da mikro çatlaklar meydana gelmiştir. Numunenin gözenek çaplarına bakıldığında 25 μm ile 725 μm aralığında kalmıştır. Şekil 5.23’te de numunenin kristal yapısına ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5.22. Z05/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler

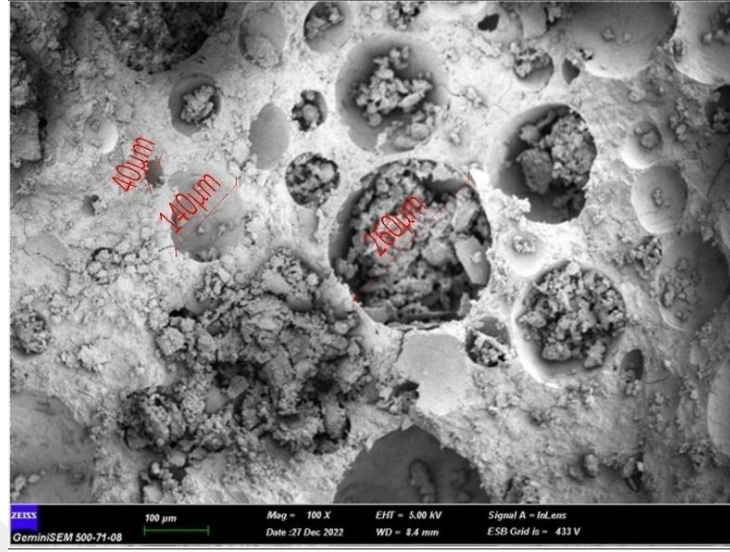


Şekil 5.23. Z05/20/H numunesi kristal yapısı

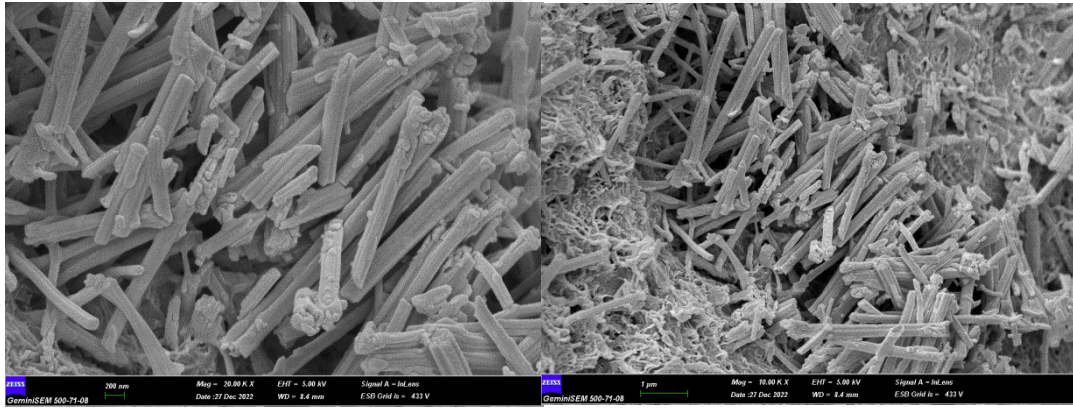


Şekil 5.24. Z05/20/W numunesinden bir kesit

Şekil 5.24’de numunenin gözenek yapısına ait bir görsel yer almaktadır. Şekil 5.25’te de SEM görüntüleme sonuçları yer almaktadır. Şekillere bakıldığında çatlakların gözenekler etrafında olduğu bazı yerlerde de komşu gözenekleri birbirine bağlayacak şekilde uzandığı görülmektedir. Fakat ısııl küre tabi tutulan Z05/20/H numunesiyle kıyaslandığında çatlak oluşumunun daha az olduğu görülmektedir. Numunenin gözenek çapları ölçülmüş olup 40 μm ile 260 μm aralığında kalmıştır. Şekil 5.26’da ise numunenin kristal yapısına ait görsel yer almaktadır.



Şekil 5.25. Z05/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler



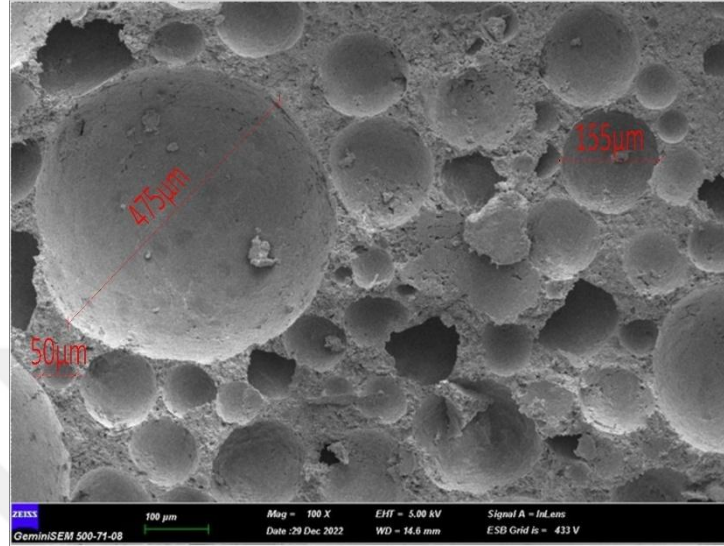
Şekil 5.26. Z05/20/W numunesi kristal yapısı



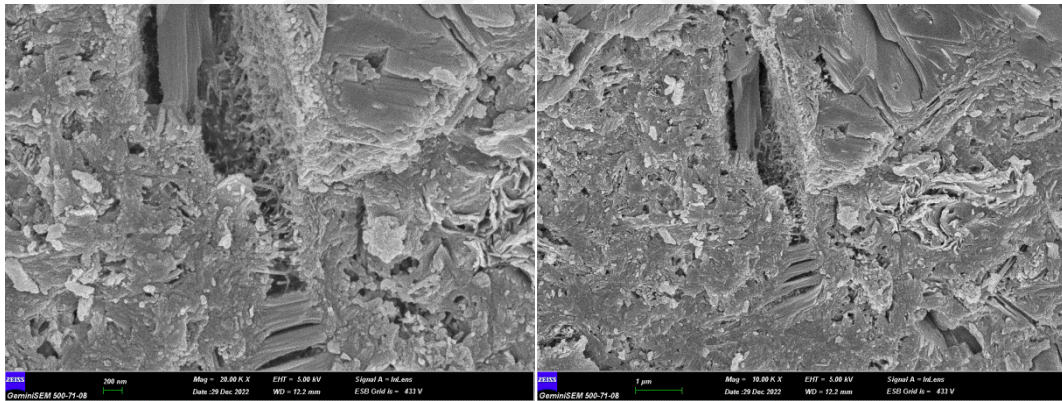
Şekil 5.27. Z10/20/H numunesinden bir kesit

Yukarıdaki şekilde (Şekil 5.27) bahsi geçen numunenin gözenek yapısına ait bir görsel yer almaktadır. Şekil 5.28’de ise SEM görüntüleme sonuçlarına ait görseller yer almaktadır. Şekillere bakıldığında çok fazla çatlak oluşumu görülmemektedir.

Gözeneklerin bazılarının etrafında minimal düzeyde çatlaklar oluştuğu görülmektedir. Numunenin gözenek çaplarına bakıldığında 50 μm ile 475 μm aralığında kalmıştır. Şekil 5.29'da da kristal yapısına ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5.28. Z10/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler

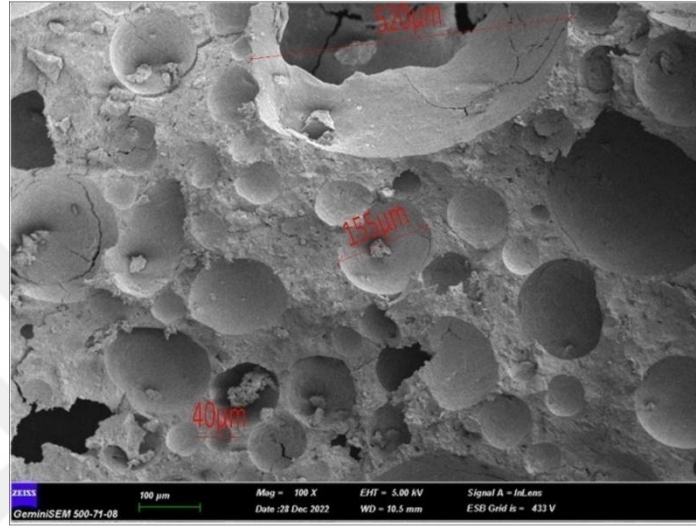


Şekil 5.29. Z10/20/H numunesi kristal yapısına ait görsel

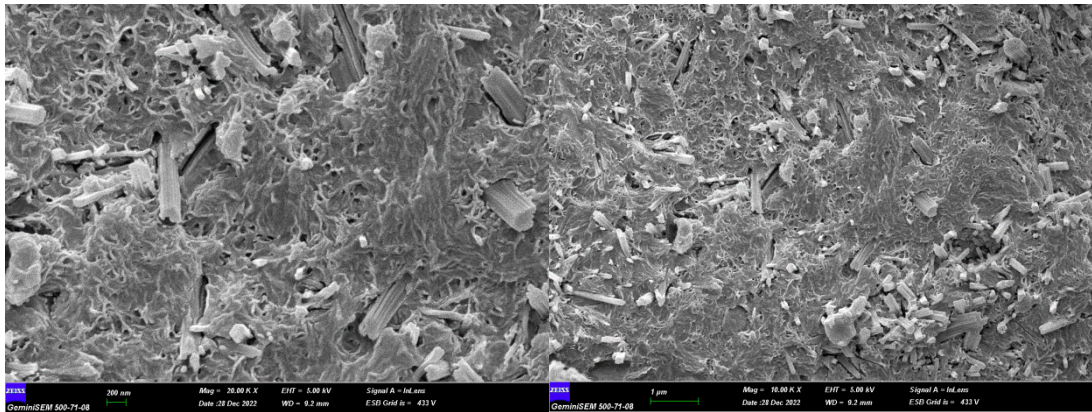


Şekil 5.30. Z10/20/W numunesinden bir kesit

Şekil 5.30'da numunenin gözenek yapısına ait görsel yer almaktadır. Şekil 5.31'de ise SEM görüntüleme sonuçları görülmektedir. Çatlak oluşumunun Z10/20/H numunesiyle benzer şekilde olduğu görülmektedir. Numunenin gözenek çaplarına bakıldığında ise 40µm ile 520µm aralığında kalmıştır. Şekil 5.32'de ise kristal yapıya ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5.31. Z10/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler

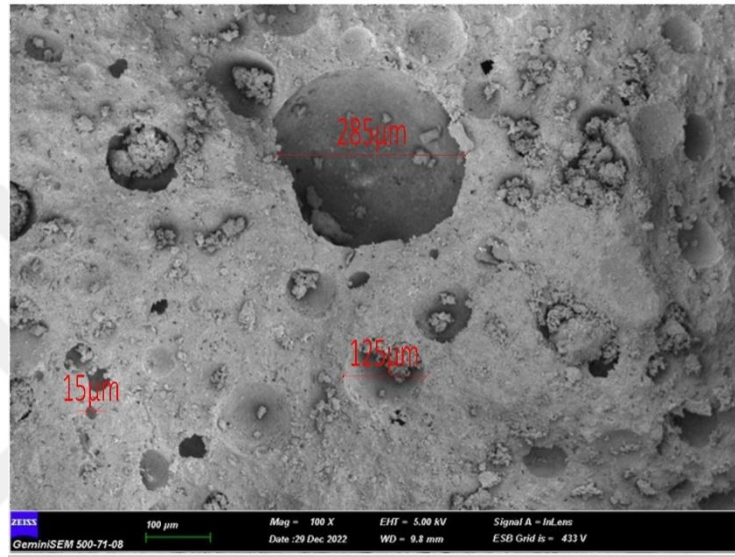


Şekil 5.32. Z10/20/W numunesi kristal yapısı

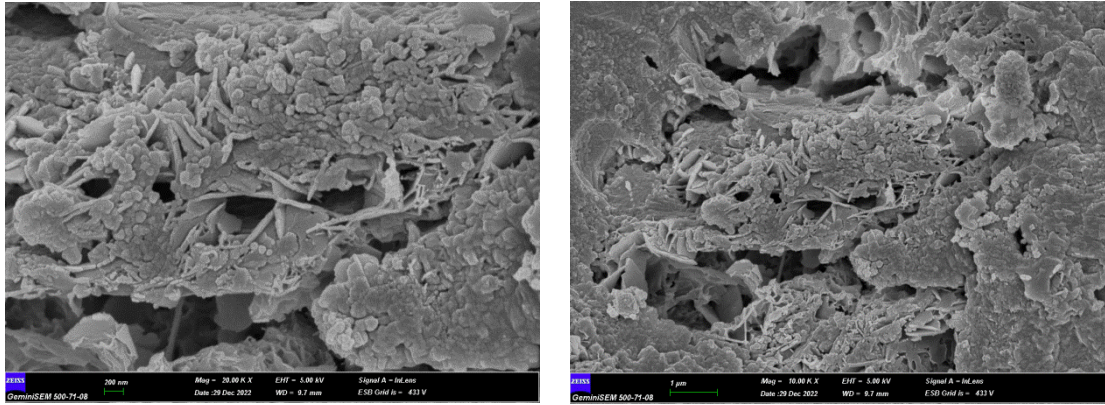


Şekil 5.33. Z15/20/H numunesinden bir kesit

Yukarıdaki şekilde (Şekil 5.33) numune kırılarak gözenek yapısına ait bir görsel alınmıştır. Şekil 5.34'te SEM görüntüleme sonuçları yer almaktadır. Şekillere bakıldığında gözenek oluşumunun diğer numunelere oranla daha az olduğu görülmektedir. Çatlak oluşumu da aynı şekilde minimum düzeydedir. Numunenin gözenek çaplarına bakıldığında 15 μm ile 285 μm aralığında kaldığı görülmüştür. Şekil 5.35'te ise numuneye ait kristal yapı görselleri yer almaktadır.



Şekil 5.34. Z15/20/H numunesi SEM'de görülen çatlak ve gözenekler

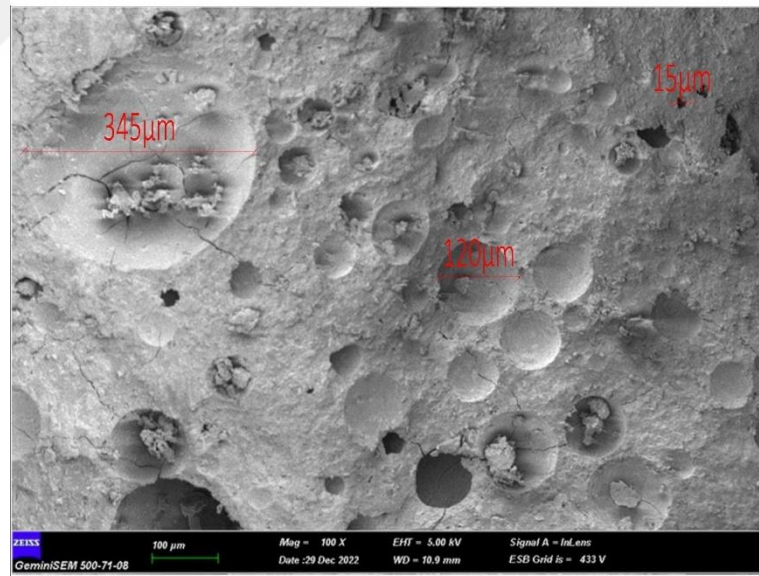


Şekil 5.35. Z15/20/H numunesi kristal yapısı

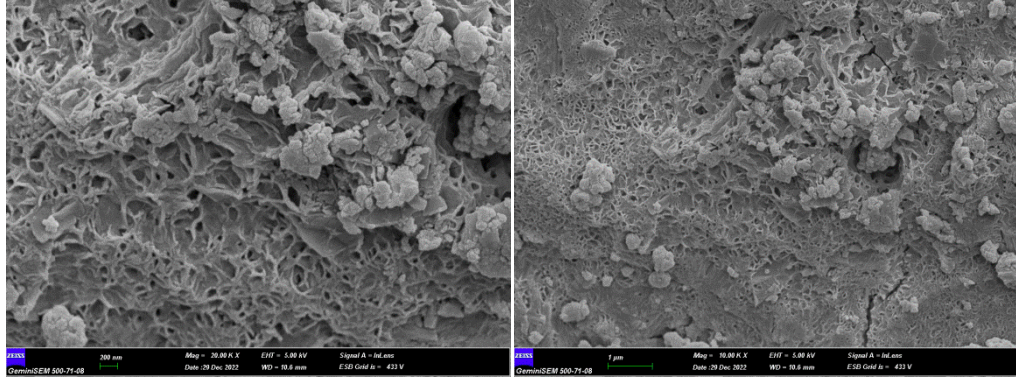


Şekil 5.36. Z15/20/W numunesinden bir kesit

Yukarıdaki şekilde (Şekil 5.36) numune kırılarak gözenek yapısına ait bir görsel alınmıştır. Şekil 5.37’de SEM görüntüleme sonuçları yer almaktadır. Şekillere bakıldığında gözenek oluşumunun diğer numunelere oranla yine daha az olduğu görülmektedir. Çatlak oluşumu da aynı şekilde minimum düzeydedir. Numunenin gözenek çapları ölçülmüş olup 15 μm ile 345 μm aralığında kalmıştır. Şekil 5.38’de kristal yapıya ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5.37. Z15/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler

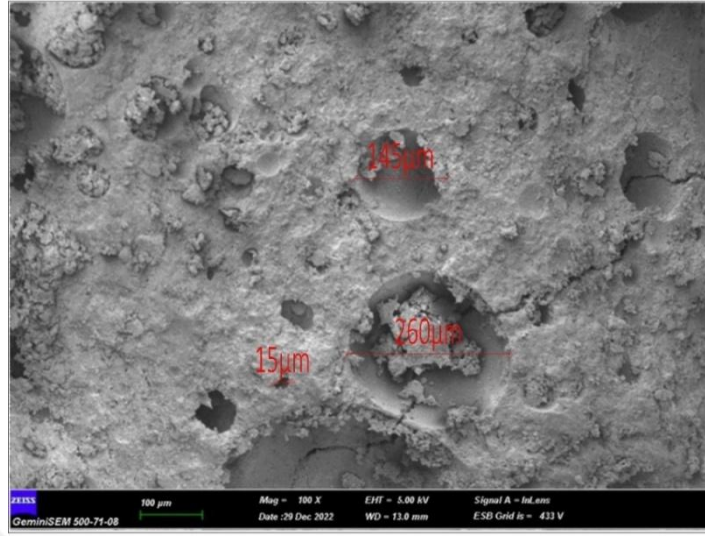


Şekil 5.38. Z15/20/W numunesi kristal yapısı

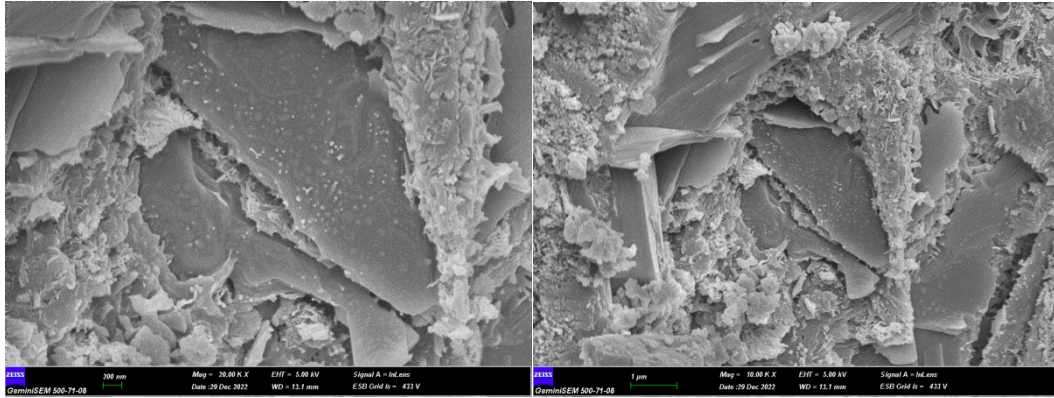


Şekil 5.39. Z20/20/H numunesinden bir kesit

Şekil 5.39’da Z20/20/H numunesinin gözenek yapısına ait bir görsel yer almaktadır. Şekil 5.40’ta ise SEM görüntüleme sonuçları yer almaktadır. Çatlakların gözenek etrafında ve gözenekleri birbirine bağlayacak şekilde uzadığı görülmektedir. Numunenin gözenek çaplarına bakıldığında $15\ \mu\text{m}$ ile $260\ \mu\text{m}$ aralığında kaldığı görülmüştür. Şekil 5.41’de de numunenin kristal yapısı hakkında görseller yer almaktadır.



Şekil 5.40. Z20/20/H numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler



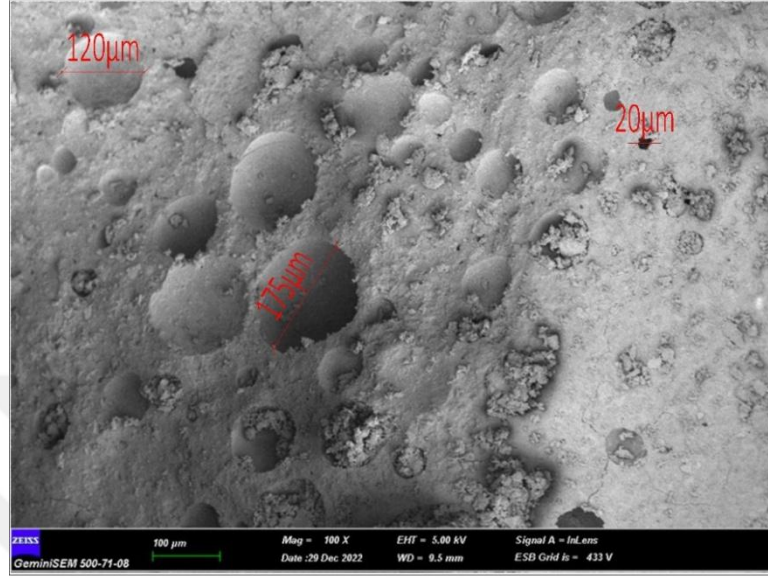
Şekil 5.41. Z20/20/H numunesi kristal yapısı



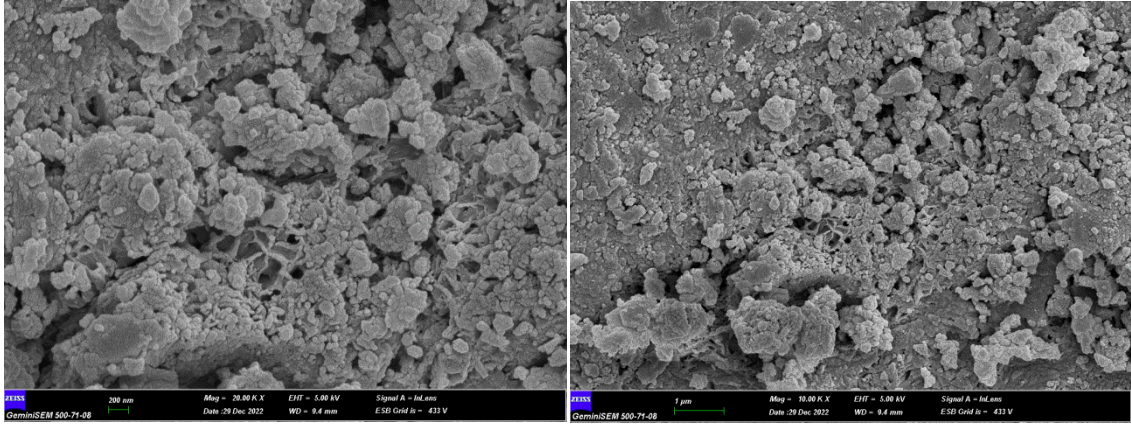
Şekil 5.42. Z20/20/W numunesinden bir kesit

Yukarıdaki şekilde (Şekil 5.42) diğer numunelerde olduğu gibi numune kırılarak gözenek yapısı için bir görsel alınmıştır. Şekil 5.43’te ise SEM görüntüleme sonuçları yer almaktadır. Çatlakların birbirini takip eden komşu gözenekler boyunca uzadığı

görülmektedir. Numunenin gözenek çapları ölçülmüş olup 20 μm ile 175 μm aralığında kalmıştır. Şekil 5.44'te ise numunenin kristal yapısı hakkında görseller yer almaktadır.



Şekil 5.43. Z20/20/W numunesi SEM’de görülen çatlak ve gözenekler



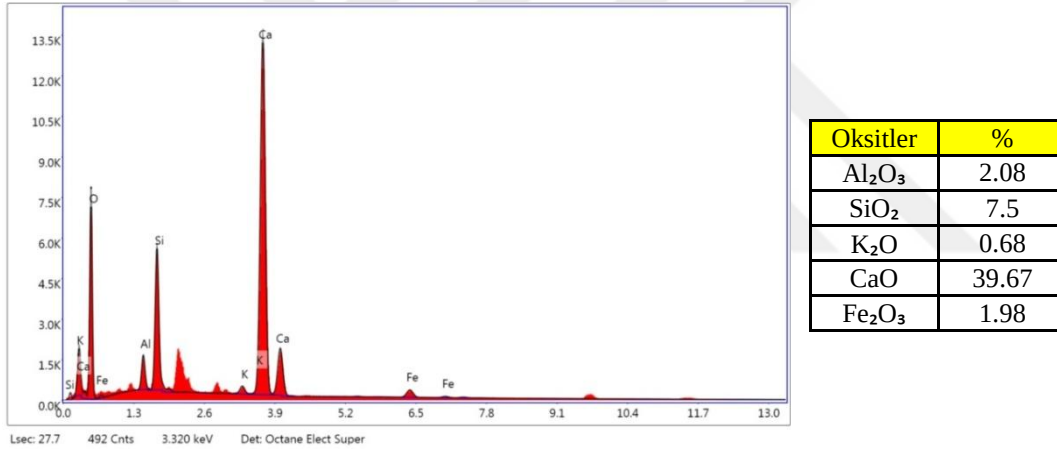
Şekil 5.44. Z20/20/W numunesi kristal yapısı

Tüm numunelerin kristal yapılarına bakıldığında ise zeolit oranının %15’e kadar olduğu numunelerin malzeme yoğunluğu zeolit oranına bağlı olarak artarken, zeolit oranının %20 olduğu numunede malzemenin yoğunluğunda tekrar bir düşüş olduğu görülmektedir. Kuru birim hacim ağırlık değerlerine bakıldığında da buna paralel sonuçlar verdiği görülmektedir.

5.7.1. EDX analizi

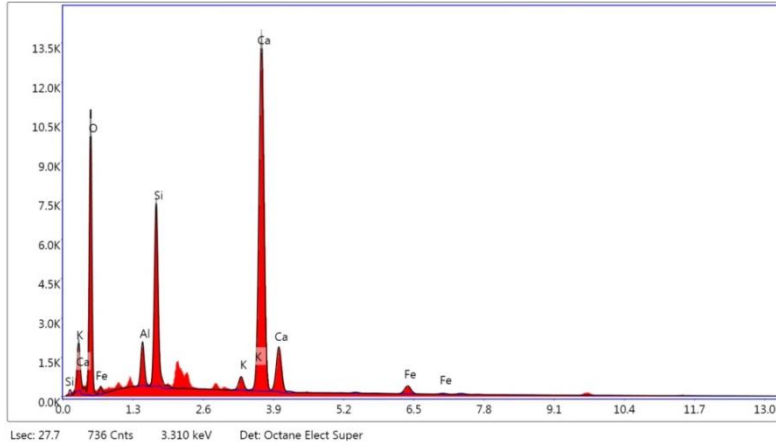
Malzemede bulunan element miktarını ölçmek amacıyla EDX (Enerji Dağılım Spektrometresi) analizi uygulanmaktadır. Aşağıda EDX analiz sonuçlarına ait grafikler için şekiller yer almaktadır (Şekil 5.45-Şekil 5.49). Difraktogramlarda görülen pikler analizi yapılan numuneyi oluşturan elementlere ait bilgi vermektedir. Piklere bakıldığında Si, K, Ca, Fe, Al, O elementleri görülmüştür. Bunun yanında sadece Z10/20/H numunesinde belli bir noktaya uygulanan EDX analizinde düşük oranda Mg elementine rastlanmıştır.

Ca+Si oranının yüksek olması ve Al+Fe oranının düşük olması C-S-H yapısının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Ca oranının yüksek, Si ve Al+Fe oranının düşük olması da CH yapısının yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Ceylan, 2021).



Şekil 5.45. R20/H numunesine ait EDXanaliz grafiği (CH)

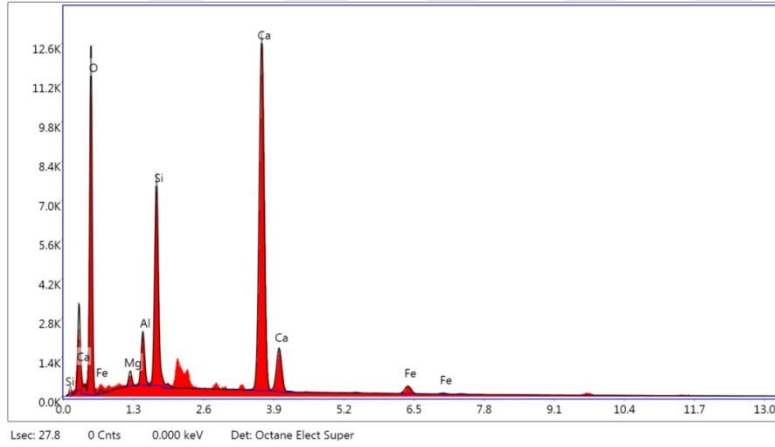
Yapılan analizde açığa çıkan Si iyonlarının azlığı C-S-H oranının azalmasına sebep olmakta CH oranını da artırmaktadır.



Oksitler	%
Al ₂ O ₃	2.36
SiO ₂	8.5
K ₂ O	1.14
CaO	35.35
Fe ₂ O ₃	1.9

Şekil 5.46. Z05/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH)

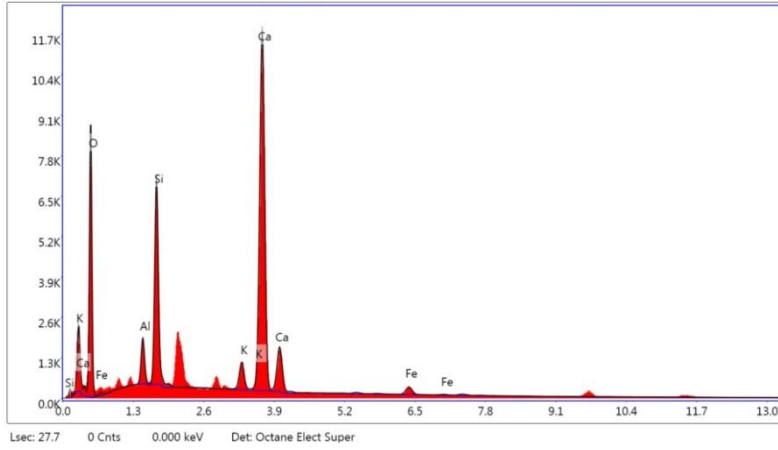
Açığa çıkan Si iyonunun düşük olması yine aynı şekilde C-S-H oranını azaltmakta, CH oranını ise artırmaktadır.



Oksitler	%
Al ₂ O ₃	2.64
SiO ₂	8.96
MgO	1.03
CaO	33.11
Fe ₂ O ₃	1.73

Şekil 5.47. Z10/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH)

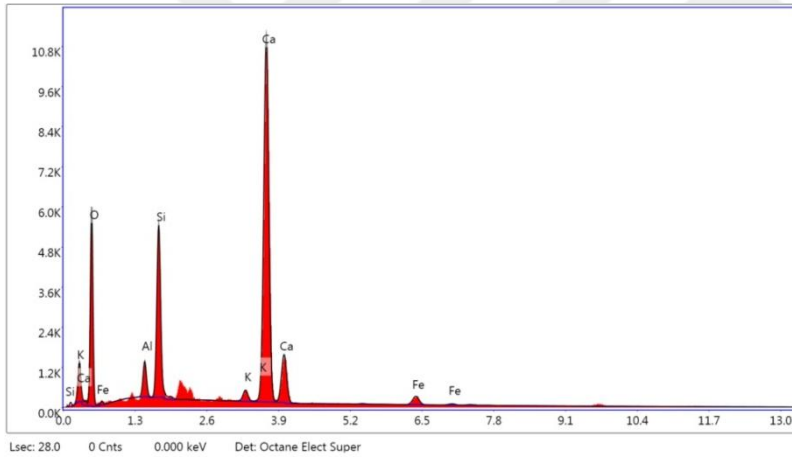
Açığa çıkan Si iyonunun düşük olması yine aynı şekilde C-S-H oranını azaltmakta, CH oranını ise artırmaktadır.



Oksitler	%
Al ₂ O ₃	2.45
SiO ₂	9.23
K ₂ O	2.17
CaO	34.76
Fe ₂ O ₃	1.75

Şekil 5.48. Z15/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH)

Yapılan analizlerde açığa çıkan Si iyonlarının azlığı C-S-H oranının azalmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde CH oranını da artırmaktadır.



Oksitler	%
Al ₂ O ₃	2.09
SiO ₂	8.89
K ₂ O	1.05
CaO	41.5
Fe ₂ O ₃	2.33

Şekil 5.49. Z20/20/H numunesine ait EDX analiz grafiği (CH)

Yapılan analizlerde açığa çıkan Si iyonlarının azlığı C-S-H oranının azalmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde CH oranını da artırmaktadır. EDX analiz sonuçlarına bakıldığında en önemli benzerliklerin SiO₂ ve CaO kompozisyonları arasında olduğu görülmektedir. CaO oranının yoğun olarak görülmesinin kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan CH yapısı ile ilişkili olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Manisa Gördes Zeolit'ten temin edilen 40 mikron altı tane çapına sahip zeolit, çimento ile ikameli olacak şekilde bağlayıcı olarak kullanılarak bir harç elde edilmiştir. Elde edilen harç içerisine köpük ilavesi yapılarak ZKHB numuneleri üretilmiştir. ZKHB numuneleri üzerinde kuru birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, su emme ve görünür porozite, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik tayinleri yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde açığa çıkan sonuçlar baz alınarak belirlenen bazı numuneler üzerinde ise SEM ve EDX analizleri uygulanmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmalar ve analizler neticesinde elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında; doğal olaylar sonucu açığa çıkan bir malzeme olan zeolitin değerlendirilmesiyle inşaat sektöründe oldukça yoğun kullanılan çimento kullanımını en aza indirgeyerek, sektörde taşıyıcı amaçla kullanılmayan yapı malzemelerine eşdeğer olması hedef alınan zeolit katkılı hafif blok üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki en önemli amaç, üretimi esnasında CO₂ gazı açığa çıkararak sera gazı salınımına sebep olması ve bu sera gazının atmosferde birikerek küresel ısınmayı tetiklemesi nedeniyle çimentoya alternatif maddeler bulabilmektir. Aynı zamanda doğal yollarla oluşmuş olan bir malzeme de değerlendirilerek çevre dostu bir yaklaşım ele alınmak istenmiştir. Bu sayede gelecek nesillere daha yaşanabilir, temiz bir Dünya bırakabilmek amaçlanmıştır.

- 1) Numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarına bakıldığında en düşük değerlerin köpük oranının %40 olarak alındığı numunelerde olduğu görülmektedir. Boşluk hacminin artmasına bağlı olarak malzemenin birim hacim ağırlığında düşüş yaşanmaktadır. Köpük oranının artmasıyla daha hafif malzemeler elde edilmektedir. Taze harç birim hacim ağırlık değerleriyle kıyaslama yapıldığında %10 zeolit oranından itibaren kuru birim hacim ağırlıklarının daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Zeolitin yüksek su emme özelliğinden kaynaklandığı düşünülerek karışımdaki zeolit miktarının artmasına bağlı olarak buharlaşan su miktarı azalmakta ve kuru birim hacim ağırlıklar taze harç birim hacim ağırlıklara oranla daha yüksek çıkmaktadır.

- 2) Basınç dayanım değerlerine bakıldığında, numunelerdeki boşluk miktarına bağlı olarak daha az boşluklu olan köpük oranının %20 alındığı numunelerde dayanımın daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Kuru birim hacim ağırlık değerleriyle doğru orantılı sonuçlar elde edilmiştir. Basınç dayanım değerleri 1., 7., 28. günlerde düzenli olarak artmıştır. Fakat ısıl küre tabii tutulan Z20/20/H numunesinde 7.günde dayanım değerinde düşüş görülmüş 28.günde tekrar artış yaşanmıştır. Bunun nedeninin betonun içinde meydana gelen rötre çatlaklarından olabileceği düşünülmektedir
- 3) Numunelerin tamamına bakıldığında bütün değerler birbiriyle paralellik göstermektedir. Harçlarda kullanılan köpük oranı miktarına bağlı olarak az boşluklu olan numunelerde kuru birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, ısıl iletkenlik katsayısı değerleri fazla olduğu gibi ultrases geçiş hızı değerleri de daha yüksek değerler almıştır.
- 4) Köpük ve zeolit kullanımına bağlı olarak birim ağırlık değeri azalan hafif bloklarda boşluk yapısı ve gözenek yapısında artış meydana gelmiştir. Bu boşluklu yapı dolayısıyla su emme değerleri de daha yüksek sonuçlar vermiştir.
- 5) Farklı kür koşulları arasında kıyaslama yapıldığında basınç dayanımlarının, ısıl küre tabii tutulan numunelerde daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Su emme oranlarına bakıldığında ise su emme ve görünür porozitenin suda küre tabii tutulan numunelerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Isı iletkenlik değerlerinde de aynı şekilde suda küre tabii tutulan numunelerin k katsayısı değerleri ısıl küre tabii tutulan numunelere oranla daha yüksek değerler almıştır. Farklı kür koşullarındaki numunelerin ultrases geçiş hızlarına bakıldığında ise suda kür uygulanan numunelerin geçiş hızı değerleri daha yüksek sonuçlar vermiştir.
- 6) Isı iletkenlik değerlerine bakıldığında diğer sonuçlarla paralellik göstererek köpük oranının %20 alınarak hazırlandığı hafif blok numunelerinde k katsayısının daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. En iyi ısı yalıtkanı

havadır. Hava ne kadar fazlaysa malzeme de ısı yalıtımı açısından o kadar iyi sonuçlar vermektedir. Yapılan deneyden çıkan sonuca bakıldığında da bunu kanıtlar bir sonuç elde edilmiş olup köpük oranının %40 olduğu numunelerde k katsayısı daha düşük değerler almış yani ısı iletkenliği yönünden daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

- 7) Değerlendirmesi yapılan deneysel çalışmalar sonucunda üretilen ZKHB numunelerinin elde edilen sonuçları, piyasada üretimi gerçekleştirilen gaz beton, bims, blok vb.gibi taşıyıcı özellikte olmayan yapı malzemeleriyle eşdeğer özellikler göstermektedir. Bahsi geçen yapı malzemelerine alternatif olarak değerlendirmeye alınabileceği öngörülmektedir.
- 8) Hafif blok harçların priz alma aşamasında meydana gelen hidrasyon ısının değişiminden kaynaklı sıcaklık farkı ve hafif blok elemanların yapısı gereği düzensiz hacimli olmasından kaynaklı olarak bu iki etken betonda rötreye neden olmaktadır. SEM görüntülerinden elde edildiği üzere ZKHB numunelerinde oluşan rötire çatlaklarının önüne geçilmesi amacıyla üretim esnasında polipropilen lif veya çelik tel ilavesi tercih edilebilir. Aynı şekilde beton katkıları da aynı amaç doğrultusunda değerlendirmeye alınabilir.

7. KAYNAKLAR

- Azizi, S. (2007). *Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Akbaba, H.(2007). Agrega türünün hafif blokların özelliklerine etkisinin araştırılması. (Afyon Kocatepe Üniversitesi/Yüksek lisans tezi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Alkaya, Ş. (2010). *Hafif beton üretiminde organik atıkların (ayçiçeği sapı) kullanılabilme olanakları* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Atabey, V. (2018). *Mermer atıklarından köpük beton blok üretimi* (Master's thesis).
- Akyüncü, V. (2019). Pomza agregalı hafif beton blokların mekanik özelliklerinin ve yangın etkisi altındaki davranışının incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 147-157.
- Atalar, O. (2006). Investigation of characteristic properties of light weight concrete obtained addition with apricot pipshell.
- Anonim. Ytong ürün özellikleri.
https://ytong.com.tr/dosyalar/user/Ytong_Blok_0,11.PDF
- Anonim. Arkoz gazbeton ürün özellikleri.
<https://www.arkozgazbeton.com.tr/tr/urunler/arkoz-blok-42>
- Anonim. Ege gazbeton düz duvar blokları.
<https://www.egegazbeton.com.tr/urunlerimiz/duz-duvar-bloklari/>
- Anonim. Denge bims geçmeli duvar blokları.
<https://www.dengebims.com.tr/kategori-detay-Gecmeli-Duvar-Bloklari>
- Anonim. Kaleblokbims duvar bims bloklar.
<http://kaleblokbims.com/urun-kategori/duvar-bims-bloklar>
- Anonim, 2022. İnşaat firmalarının satışları 5 yılda 621 milyara ulaştı.
<https://harmonigd.com.tr/tr/haber/harmoni-2020-inaaat-sektoru-raporu>
- Anonim, 2022. İnşaat sektörü analizi.
<https://www.tmb.org.tr/tr//pubs/60645e1862b4983868938aef/tmb-analiz-bulteni?y=2022>
- Anonim, 2014. Yapı teknolojisi ve malzeme.
<http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=390&RecID=3355>
- Anonim, 2022. Zeolit.
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/zeolit>
- Anonim, 2022. Zeolit.
<https://tr.wikipedia.org/wiki/Zeolit>
- Anonim, 2022. Zeolit nedir? Sihirli taş.
<https://www.rotamining.com/zeolit-nedir/?lang=tr>
- Anonim, 2022. Doğal zeolitlerin su ve çevre uygulamaları.
<https://www.suvecevre.com/yayin/527/dogal-zeolit-lerin-su-ve-cevre-uygulamalari-15664.html#.YVw7HppBzIU>
- Anonim, 2022. Zeolit nedir, nerelerde kullanılır?
<https://www.enerjiportali.com/zeolit-nedir-nerelerde-kullanilir/>
- Anonim, 2022. Hafif beton sistemleri.
<http://www.artrainsaat.com/genfil%20tr.html>
- BİNİCİ, H., DURGUN, M. Y., & GÜRÜN, D. K. Tüysüz Bazalt Tüfünün Hafif Beton Üretiminde Kullanımı.

- Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi Ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.
- Bayraktar, O. Y. (2020). The Use of Rice Husk Waste in Foam Concrete Production. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2716-2722.
- Bodur, B., Bayraktar, Ö. Ü. O. Y., & Kaplan, Ö. Ü. G. Kalsiyum alüminat çimentolarının köpük beton üretiminde kullanımının incelenmesi.
- Canpolat, F. (2002). Çimento performansının geliştirilmesinde doğal zeolit endüstriyel atıklarla birlikte çimento üretiminde kullanılması. (Doktora Tezi / Sakarya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ceylan, Z.(2021). *Mikronize edilmiş zeolit ikameli harçların betonların mühendislik özelliklerinin incelenmesi*. (yüksek lisans tezi/ Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çetinkaya, M.(2022). *Zeolit katkılı çimentolar içeren betonda donatı korozyonunun aderans performansına etkisi*. (yüksek lisans tezi/ Ordu Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Dağcı, Y.(2019). Zeolit ve yüksek fırın cürufu katkılı onarım harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin irdelenmesi. (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Yüksek lisans tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ersoy, H. (2020). Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cüruf katkılı geopolimer köpük beton üretimi, *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- GÜLTEKİN, E. (2014). Metakaolin katkılı taşıyıcı hafif betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışının incelenmesi/ Investigation of the behaviour of structural light weight concrete produced with metakaolin underelevated temperature.
- Geçer, Ş.(2020). *Kendiliğinden yerleşen harç ve betonlarda çimento ikame malzemesi olarak zeolit kullanılabilirliği*. (yüksek lisans tezi/ Kocaeli Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- KILINÇARSLAN, Ş., & Rüya, K. A. Y. A. Krom atıklarının köpük beton yapımında agrega olarak kullanımının araştırılması. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 31-34.
- KILINÇARSLAN, Ş., DAVRAZ, M., & Mehmet, A. K. Ç. A. (2018). POMZA AGREGALI KÖPÜK BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 148-153.
- KILINÇARSLAN, Ş., & TUZLAK, F. Uçucu Kül Katkılı Köpük Betonların Termo-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 1-5.
- Kılıçer, A. (2018). Pomza ve Genleştirilmiş Perlit Madenlerinin Köpük Betonda Agrega Olarak Kullanılması.
- Khan, Q. S., Sheikh, M. N., McCarthy, T. J., Robati, M., & Allen, M. (2019). Experimental investigation on foam concrete without and with recycled glass powder: Asustainable solution for future construction. *Construction and Building Materials*, 201, 369-379.
- Karakurt, C.(2008). Çimento üretiminde doğal zeolit ve volkanik tüflerin endüstriyel atıklarla birlikte kullanılmasının beton performansı üzerine etkileri. (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi /Doktora tezi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Karaüç, E.(2008). Uçucu kül ve zeolitin kendiliğinden yerleşen betonlara etkileri. (Sakarya Üniversitesi /Yüksek lisans tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Mesci,B.(2007), Bakır endüstrisi flotasyon atıkları ve zeolitlerin beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. (Ondokuz Mayıs Üniversitesi/ Doktora tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Makal, 2017. Aşırı karbon salınımının çevrede yarattığı tehlikeler. <https://noktahaberyorum.com/asiri-karbon-saliniminin-cevrede-yarattigi-tehlikeler.html>
- Osman, Ü. N. A. L., & UYGUNOĞLU, T. (2007). Diatomitin hafif beton üretiminde kullanılması. *Teknik Dergi*, 18(86), 4025-4034.
- Okumuş,N.(2012). Zeolit ve silika dumanı katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisinde mekanik ve geçirimsizlik özellikleri. (Mustafa Kemal Üniversitesi / Yüksek lisans tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Oğuz, M. (2019). *Geri dönüştürülmüş betonların köpük betonda kullanılabilirliğinin araştırılması* (Master'sthesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Oktay, E.D.(2022). *Zeolit katkılı çimentolar içeren lif takviyeli harçların özellikleri*. (yüksek lisans tezi/Ordu Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sezgin ve Aşarkaya, 2017. İnşaat Sektörü. https://ekonomi.isbank.com.tr/ContentManagement/Documents/sr201702_insaat_sektoru.pdf
- Serbest,D.(1999). Doğal zeolitlerin hafif yapı endüstrisinde kullanımı. (Yüksek lisans tezi/ Anadolu Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sarıkaya,H.(2006). Zeolit katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi / Süleyman Demirel Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- SUBAŞI, S. (2009). Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(3), 559-567.
- Savaş,M.(2012). Diatomit ve zeolit ikameli betonların kimyasal etkilere karşı davranışlarının araştırılması. (Düzce Üniversitesi / Yüksek lisans tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Singh, N. B., &Middendorf, B. (2020). Geopolymers as an alternativeto Portland cement: An overview. *Construction and BuildingMaterials*, 237, 117455.
- Şener, A. G. (2013). Zeolit Süspansiyonunun Farklı Değerlikli Katyonlara Sahip İnorganik Tuzlar ile Koagülasyonu. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 70.
- ŞİŞMAN, C. B., KOCAMAN, İ., & GEZER, E. (2008). Doğal zeolitten üretilcek hafif betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliği üzerine bir araştırma.
- Taban,S.(2010). Farklı oranlarda zeolitik tuf katkısının beton özellikleri ve betonarme çeliği korozyonuna etkilerinin araştırılması. (Gazi Üniversitesi / Doktora tezi /Fen Bilimleri Enstitüsü)
- TANYILDIZI, H., & COŞKUN, A. (2011). ELAZIĞ YÖRESİ VİŞNE MERMER TOZU KATKILI HAFİF BETONUN BASINÇ VE ULTRASONİK SES GEÇİRGENLİĞİ ÖZELLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(2), 150-154.
- Tombulca,C.(2019). Uçucu kül ve zeolit katkılı onarım harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Yüksek lisans tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Türeyen, A.C.(2019). *Genleştirilmiş vermikülit kullanılarak üretilen köpük betonların fiziksel ve mekanik özellikleri*. (yüksek lisans tezi/Yozgat Bozok Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Thongsanitgarn, P., Wongkeo, W., & Chaipanich, A. (2014). Hydration and compressive strength of blended cement containing fly ash and lime stone as cement replacement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(12), 04014088.
- Ünal, O., Demir, İ., & Uygunoğlu, T. (2003). Pomza ve Diatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. III. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Maden Müh. Odası, İstanbul*, 3-4.
- YAZICIOĞLU, S., & BOZKURT, N. (2006). Pomza ve mineral katkı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 675-680.
- Yıldırım, S. (2007). Puzolanik zeolitin çimentoda katkı uygunluğunun araştırılması. (Mustafa Kemal Üniversitesi/ Yüksek Lisans Tezi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yıldız, K. (2009). Pomza ve zeolit katkı yüksek dayanımlı betonların asit ve tuz etkilerine karşı dayanıklılığının araştırılması. (Gazi Üniversitesi / Doktora tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yazıcıoğlu, Ö. (2016). Çimento ve beton endüstrisinin sürdürülebilir üretimlerinde doğal zeolit (analsim)'in puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. (Ordu Üniversitesi / Yüksek lisans tezi / Fen Bilimleri Enstitüsü)
- YILDIRIM, K., Sümer, M., & SUBAŞI, S. (2018). Hafif beton üretiminde granüle edilmiş fındık kabuğunun kullanılabilirliğinin araştırılması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(2), 501-511.
- Yılmaz, İ. (2018). *Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve zeolit katkı kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. (yüksek lisans tezi/ Kocaeli Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yanardağ, B. (2020). *Kalsiyum alüminat çimentolu köpük beton tasarımı ve Mühendislik özelliklerinin belirlenmesi*. (yüksek lisans tezi/ Süleyman Demirel Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü)
- YILMAZ, M., GÖKHANOĞLU, H., ALPARSLAN, G., & ÖZĞAN, M. Y. KÖPÜK BETON HAKKINDA İNCELEME. (2021), *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 4(1), 16-21.

