



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ZEOLİTİN BETONUN DONMA ÇÖZÜLME
DAYANIMINA ETKİSİ

İbrahim İslam KARADUMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim İslam KARADUMAN tarafından hazırlanan “Zeolitin Betonun Donma Çözülme Dayanımına Etkisi” adlı tez çalışması 10/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hicran AÇIKEL

.....

Danışman

Prof. Dr. Ali KÖKEN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Arife AKIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İbrahim İslam KARADUMAN

Tarih:10/01/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEOLİTİN BETONUN DONMA ÇÖZÜLME DAYANIMINA ETKİSİ

İbrahim İslam KARADUMAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ali KÖKEN

2023, 131 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ali KÖKEN
Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
Dr. Öğr. Üyesi Arife AKIN**

Beton yüzyıllardır yapıların ayakta durmasını sağlayan ve en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe kullanıldığı günden bu yana birtakım özelliklerinin geliştirilmesi adına çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Geliştirilmesi gereken en önemli konulardan biri de betonun donma çözülme etkisine karşı gösterdiği davranıştır. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmada, karışım içerisinde farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin donma çözülme dayanımına etkisi araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında karışım içerisinde agregaya ağırlıkça %5, %10, %15 oranında $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak 150x150x150 mm boyutunda hava sürükleyici katkılı/katkısız 72 adet küp numune, çimentoya ağırlıkça %5, %10, %15 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak 40x40x160 mm boyutunda hava sürükleyici katkılı/katkısız 72 adet numune ve çimentoya ağırlıkça %5, %10, %15 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak 40x40x160 mm boyutunda hava sürükleyici katkılı/katkısız 72 adet numune üretilmiştir. Bütün serilerde su/çimento oranı 0.5 olarak sabit tutulmuş ve 350 kg/m³ çimento dozajlı numuneler üretilmiştir. Üretilen 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi ve donma çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir. 40x40x160 mm boyutunda numuneler üzerinde eğilme dayanımı deneyi, basınç dayanımı deneyi ve donma çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonunda $D_{max}=10$ mm zeolitin sahip olduğu boşluklu yapıdan dolayı numunelerin basınç dayanımlarında ciddi oranlarda azalmalar meydana geldiği, yapının kullanım amacına göre karışım içerisinde %5 ve %10 oranında öğütülmüş zeolit kullanılmasının numunelerin dayanımlarını iyileştirdiği belirlenmiştir. Genel itibarıyla zeolit kullanılarak üretilen bütün serilerde donma çözülme deneyi sonrasında kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: beton, beton dayanımı, çözülme, donma, donma çözülme dayanımı, zeolit

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF ZEOLİTE ON THE FREEZE-THAW STRENGTH OF CONCRETE

İbrahim İslam KARADUMAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ali KÖKEN

2023, 131 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ali KÖKEN
Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
Asst. Prof. Dr. Arife AKIN**

Concrete has been the most widely used building material that has allowed buildings to stand for centuries. Since the day it was used in the construction industry, various studies have been carried out to improve some of its properties. One of the most important issues to be developed is the behavior of concrete against freeze-thaw effect. In this context, in the experimental study, the effect of air-entraining additive and non-additive samples produced by using different ratios of zeolite in the mixture on the freeze-thaw resistance was investigated.

Within the scope of the study, 72 cube samples with or without air-entraining additives in the size of 150x150x150 mm by using %5, %10, %15 $D_{max}=10$ mm zeolite to the aggregate by weight in the mixture, %5, %10, %15 by weight to the cement up to 40 μ using ground zeolite, 40x40x160 mm sized samples with or without air-entraining additives and 72 samples with or without air-entraining additives in 40x40x160 mm size by using zeolite ground up to 40 μ by weight, %5, %10, %15 by weight, and river sand instead of fine aggregate sample was produced. In all series, the water/cement ratio was kept constant as 0.5 and samples with 350 kg/m³ cement dosage were produced. Compressive strength test and freeze-thaw test were carried out on the 150x150x150 mm sized samples produced. Bending strength test, compressive strength test and freeze-thaw test were performed on 40x40x160 mm samples.

At the end of the experimental study, it was determined that the compressive strength of the samples decreased significantly due to the porous structure of the $D_{max}=10$ mm zeolite, and the use of %5 and %10 ground zeolite in the mixture according to the purpose of use of the structure improved the strength of the samples. In general, better results were obtained after the freeze-thaw test in all series produced using zeolite compared to the control samples.

Keywords: concrete, concrete strength, freeze-thaw resistance, freezing, thaw, zeolite

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim ve öğrenimim boyunca desteklerini ve bilgilerini benden esirgemeyen başta yüksek lisans danışmanım Prof. Dr. Ali KÖKEN'e, Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN'e ve babam Dr. Öğr. Üyesi Adnan KARADUMAN'a saygılarımı sunar ve sonsuz teşekkür ederim.

Deneysel çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin temin edilmesinde bana yardımcı olan Balıkesir Türk Zeolit firmasına ve Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye teşekkür ederim.

İbrahim İslam KARADUMAN
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL	18
3.1. Harç ve Beton Karışımlarında Kullanılan Çimento ve Özellikleri	19
3.2. Beton Karışım Suyu ve Özellikleri	21
3.3. Harç ve Beton Karışımlarında Kullanılan Agregaların Özellikleri	21
3.4. Harç Numunelerinde Kullanılan Dere Kumu ve Özellikleri	23
3.5. Hava Sürükleyici Katkı ve Özellikleri	24
3.6. Doğal Zeolit	25
4. YÖNTEM	28
4.1. Harç ve Beton Numuneleri için Karışım Hesapları	28
4.2. Zeolit Kullanım Oranları	29
4.3. Hava Sürükleyici Katkı Kullanım Dozajı	31
4.4. Harç ve Beton Numuneleri İçin Karışım Dizaynları	32
4.5. Sertleşmiş Harç ve Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler.....	43
4.5.1. Donma Çözülme Deneyi.....	43
4.5.2. Eğilme Dayanımı Deneyi.....	45
4.5.3. Basınç Dayanımı Deneyi	46
5. DENEYSSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
5.1. Harç ve Beton Karışım Dizayn Sonuçları.....	49
5.2. Sertleşmiş Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	51
5.3. Sertleşmiş Harç ve Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	68
5.4. Sertleşmiş Harç ve Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Donma Çözülme Deneyi Sonuçları.....	96
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	123
6.1. Sonuçlar	123
6.2. Öneriler	125
KAYNAKLAR	128

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_c	Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı
b	Numune genişliği
D_{max}	En büyük agrega tane çapı
F	Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
f_c	Basınç dayanımı
h	Numune yüksekliği
L	Yükleme tablası mesnet arasındaki açıklık
M	Maksimum moment
P	Kırılma yükü
W	Mukavemet momenti
σ	Eğilme dayanımı
$^{\circ}C$	Santigrat derece
%	Yüzde değer
Φ	Fi katsayısı

Kısaltmalar

cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
Cl ⁻	Klorür
gr	Gram
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
MgSO ₄	Magnezyum sülfat
MPa	Megapascal
m ³	Metreküp
mK	Milikelvin
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
N	Newton
NaCl	Sodyum klorür
S	Saniye
SO ₃	Kükürt trioksit
W	Watt
μ	Mikron

1. GİRİŞ

Beton yapıların ayakta durmasını sağlayan ve inşaat sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Nüfusun artışıyla birlikte dünyanın çeşitli bölgelerinde artan barınma ihtiyacına cevap verdiği için de üretildiği günden itibaren önemini korumaktadır. Yüzyıllardır insanların barınma ihtiyacını karşılayan bu gri renkli taşın, teknolojinin gelişmesiyle birlikte bazı kusurlarının giderilmesi ve daha da geliştirilmesi amacıyla her gün farklı birimlerde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Yapı malzemesi olarak kullanılan beton üretildiği günden itibaren çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaya başlar. Bu etkiler betonun fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerine zarar verebilir, gerekli önlem alınmadığı takdirde betonun güvenli bir yapı malzemesi olarak kullanılmasını güçleştirir. Donma çözülme etkisi betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine zarar veren ve geliştirilmesi gereken bu çevresel etkilerden birisidir. Betonun fiziksel yapısının yanında betonu oluşturmak için yan yana gelmesi gereken su, çimento ve agrega bileşenleri de donma çözülme etkisinde önemli bir rol oynar.

Su donduğunda genişleyen bir maddedir. Betonda boşluklu ve heterojen yapıya sahip bir malzemedir. Bu özellikler bir araya geldiğinde betonun donma çözülme dayanımı için ciddi bir dezavantaj oluşturur. Agregaların boşluklarına nüfuz eden su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonucunda, donarak boşluklar içinde bir “hacim artması” meydana getirir. Oluşan bu hacim artışı yeterince boşluk bulandırmayan beton içerisinde içsel gerilmelere sebep olur. Eğer agrega taneleri, bu “içsel gerilmelere” karşı dirençli değil ise betonun yapısında bozulmalara sebep olur. Böyle agregalarla üretilen betonlarda-tekrarlı “donma-çözülme” olaylarının sonucunda çimento hamuru ile agrega arasındaki “aderans” zarar görebilir. Dolayısıyla betonun güvenli bir yapı malzemesi olarak kullanılmasını olumsuz yönde etkiler.

Agregaların donmaya karşı dayanıklılığını denetleyen temel faktörler porozite (boşluk oranı), porların (gözenekler) geometrik boyutları ve dağılımları, yapı içinde porların birbiriyle bağlantı şekilleri (sürekli veya süreksiz), donma veya çözülme sıcaklıkları, donma veya çözülme çevrim sayısıdır. Betonun çevre etkilerinin başında donma ve çözülme, donatının korozyonu, alkali-silika reaksiyonu ve sülfat hücumu gelir (Özyıldırım, 1993). Donma çözülme çimentolu sistemlerde bozulmaya sebep olan temel faktörlerden birisidir. Bu durum gündüz ve gece saatlerinde betonun maruz kaldığı sıcaklık farklarından da kaynaklanabilir. Dolayısıyla donma çözülme etkisi

kuvvetli sıcaklık farklarının yaşandığı sert iklim bölgelerinde çözülmesi gereken en temel problemlerden biridir. Böyle ortamlarda bu çevresel etki betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömründen önce işlevini yitirmesine yol açabilmektedir.

Betonun donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen en önemli iki faktör betonun boşluk yapısı ve suya doygunluk derecesidir. Betonun suya doygun olduğu veya doygunluk derecesine yakın olduğu durumlarda tekrarlı donma çözülme etkisinin beton üzerinde önemli bir dezavantajı ortaya çıkar. Böyle bir ortamda beton dayanımını kısa sürede kaybedebilir. Dolayısıyla donma çözülme etkisi gerekli önlem alınmadığı takdirde betonun yapı malzemesi olarak kullanılmasını güçleştirir.

Buza dönüşen suyun hacmi %9 oranında artar ve beton içerisinde gerilmelere yol açar. Betonda suyun bulunacağı yerler genellikle çimento hamuru içerisindeki jel, kapiler boşluklar ile agregaların içindeki ve arasındaki boşluklardır. Bu hacim genişmesini karşılayacak boşluğu olmayan beton, kritik doygunluğa erişir ve hacim genişmesi sonucu itilen suyun yaptığı hidrolik basınç yüzünden yüksek gerilmeler meydana gelir (Kosmatka et. al, 2002). Beton çekme dayanımı düşük olan bir malzeme olduğundan, bu yüksek gerilmelere karşı gelemez. Tek bir donma karşısında betonun tahminen 3.5 MPa, fakat sert iklimde birkaç donma ve çözülme karşısında ise tahminen 28 MPa basınç dayanımı olması istenir (ACI 201.2R). Önlem alınmazsa betonda çatlama ve patlamalar meydana gelebilir ve sonuç olarak beton kullanılamaz bir hale gelebilir.

Agregalarda donma sonucunda oluşan çatlaklar D-çatlama olarak adlandırılır. Bu durum, zamanla agregaya suyun girmesi ancak kısa bir zaman içerisinde kolayca çıkamaması yüzünden kaynaklanır. Bu tip agregalar deneylerle belirlenir ve genellikle agregaya boyutları küçültülüp suyun kaçma olanağı kolaylaştırılarak gerekli direnç sağlanır (NCHRP, 1987; Janssen and Snyder, 1994). Kritik doygunluktaki betonun donma ve çözülme etkisinden korunması gerekir. Betonun boşluklarının suya doygun olması en büyük risktir. Bu durumda alınması gereken tedbirler; yeterli hava boşluğu parametreleri, uygun agregalar ve betonun yeterli olgunluğa erişmesini sağlamaktır (Bryant, 1990).

Sertleşmiş betonun donma sonunda çatlamasına neden olan en baskın etken bünyesindeki suyun miktarıdır. Su miktarı fazlalaştıkça betonun donma-çözülme süreci sonunda bozulup dağılma riski artar. Buna karşılık boşluklarında su bulunmayan betonlarda donma çözülme olgusu zararlı etki yaratmaz. Suyla dolu olmayan boşluklar bir çeşit yastık vazifesi görecektir. Nitekim donan suyla gelen hacim artışı bu boşluklara

doğru büyüyecek ve gerilme meydana gelmeyecektir. Tamamen boşluksuz bir beton üretmek imkânsız olacağından çözüm katkılı bir beton üretmektir. Kimyasal katkıları, betonun istenilen özelliğini iyileştirmek veya çimentolu sistemlerin farklı uygulama alanlarına uyumunu sağlamak amacıyla, beton karışımı içerisinde çimento miktarı baz alınarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli katkı maddeleridir.

Betonun donma direncini artırmak için kullanılan kimyasal katkı da hava sürükleyici katkılarıdır. Donma sırasında itilen suyun, yakındaki bir boşluk içine girmesini sağlamak gerekir (Whiting and Nagi, 1998). Bunun için beton içerisine düzenli bir şekilde dağılmış küçük hava boşluklarına ihtiyaç vardır. Bir cm^3 'lük hava sürüklenmiş bir betonda çoğunlukla küçük boşluklardan oluşan 60,000'den fazla hava boşluğu vardır (Whiting and Nagi, 1998). Beton karışımı sırasında hava boşlukları farklı şekillerde meydana gelir. Bu boşluklar değişik boyutlarda kendini gösterir. Genellikle 1 mm çapından büyük veya küçük diye ikiye ayrılır: 1 mm çapından büyük olanlar düzensiz bir şekle sahiptir, 1 mm çapından küçük olanlar ise küre şeklindedir. Beton içindeki bu büyük çaptaki boşluklara hapsolmuş hava boşlukları denir ve iyi yerleşmiş bir betonda hapsolmuş hava boşlukları genellikle yüzde ikiden az olmaktadır. Hava boşlukları bilhassa küçük olanlar birbirleriyle bir araya gelir, yok olur veya içlerindeki yüksek basınçtan dolayı çözelti içerisinde kaybolur. Karıştırmadan doğan küçük hava boşluklarının yok olmaması ve beton içinde kalmasını temin etmek beton karışımı sırasında kimyasal katkı kullanılmasıyla mümkündür. Bunun için betona hava sürükleyici katkıları eklenir ve bu tip küçük hava boşluklarına sürüklenmiş hava denir. Her ne kadar kimyasal katkıları betonun istenilen özelliğini iyileştirme konusunda başarılı olsalar da uzun yıllardır yapılan çalışmalarla kimyasal katkılara alternatif olarak kullanılabilen doğal kaynaklar aranmaktadır. Hava sürükleyici katkıları alternatif olarak kullanılabilen malzemelerden biri zeolit mineralidir.

Zeolit volkanik dağların patlaması ile denize karışan lavların kimyasal reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkan maddedir. Son yılların önemli hammaddelerinden olan zeolit 1756 yılında Cronstedt tarafından, ısıtıldığında yapılarında bulunan suyu çıkartırken köpürmesinden dolayı "kaynayan taş" olarak isimlendirilmiştir. Zeolitler alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alüminasilikatları olarak tanımlanır. Ülkemizde 1980'li yıllardan itibaren artan ilgi ile değişik sektörlerde kullanılmaya başlanılmıştır. Doğal zeolitler 40'a yakın mineralden oluşmuş boşluklu bir mineral grubunun adıdır. Zeolit minerallerinden ticari anlamda klinoptilolit, şabazit ve mordenit türleri önem kazanmıştır.

Ülkemizde genel olarak gözlenen zeolit türü klinoptilolit ve analsim olup diğer doğal zeolit türlerine çok az rastlanmıştır. Zeolitlerin en önemli üç özelliği: Gazları ve sıvıları adsorplama, iyon değiştirme ve hidrasyondur. Zeolitler, kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeniyle, günümüz endüstriyel hammaddeleri arasında önemli bir yerde bulunmaktadır. Sahip oldukları fiziksel yapıları ve kimyasal özelliklerinden dolayı, kirlilik kontrolü, enerji verimliliği, madencilik, tarım ve hayvancılık gibi birçok endüstri kolunda kullanılmıştır.

Türkiye’de detaylı etüdü yapılmış tek zeolit sahası Manisa – Gördes civarındaki MTA ruhsatlı sahadır. Sahada 18 milyon ton görünür zeolit rezervi ve 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi tespit edilmiştir. Balıkesir-Bigadiç ve Sivas-Yıldızeli bölgelerinde ise Türkiye’nin en önemli zeolit yatakları 1995 yılında tespit edilmiş olup kolaylıkla işletilebilir nitelikte yaklaşık 500 milyon ton rezerv olduğu tahmin edilmektedir. Diğer bölgelerde detaylı bir çalışma yapılmamış olup, ülkemiz genelinde toplam rezervin 50 milyar ton civarında bulunduğu tahmin edilmektedir (Yörükoğulları, 2005).

Bu çalışmada zeolitin betonun donma çözülme dayanımına etkisini araştırmak amacıyla zeolit ve donma çözülme dayanıklılığı ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılmış ve bu araştırmalar doğrultusunda yapılan deneysel çalışma sonunda sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ünal ve Uygunoğlu (2004), yaptıkları çalışmada karışım içerisine farklı oranlarda uçucu kül ve mermer tozu ekleyerek numunelerin donma çözülme etkisi altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Birinci seri numunelerde %10, %20, %30 oranında uçucu kül ve ikinci seri numunelerde %10, %15, %20 oranında mermer tozu kullanarak 100x100x100 mm'lik ve 150x150x150 mm'lik küp numuneler üretmişlerdir. Üretilen bütün numuneler donma çözülme deneyine tabi tutulduktan sonra 100x100x100 mm'lik numuneler üzerinde basınç dayanım deneyi, 150x150x150 mm'lik numuneler üzerinde porozite deneyi yapmışlardır. Donma çözülme deneyi 3 saat -20 °C sıcaklıkta donma, 2 saat +4-6 °C su içerisinde çözülme bir periyot sayılarak, 25 çevrim uygulanarak gerçekleştirilmiştir. 28 günlük kür sonunda 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sonucunda uçucu kül katkılı numunelerin basınç dayanımlarında uçucu kül miktarının artışına bağlı olarak kontrol numunesinin dayanımına göre göre çok az azalma eğilimi görülmüştür. Porozite deneyi sonucunda uçucu kül katkılı numunelerin porozite değerleri artarken dayanımları azalmaktadır. %10 uçucu kül kullanılan numunelerde basınç dayanımı %9 oranında azalırken porozite de %10 civarında artmıştır. Diğer uçucu kül betonlarında bu ilişki tersinedir. Buna göre karışımlarda çimentonun %15-20'si uçucu kül ile değiştirilerek üretilen betonlarda dayanım açısından fayda sağlanabilir. Mermer tozu kullanılarak üretilen betonlarda mermer tozu oranına bağlı olarak kontrol betonunun dayanımında azalma görülürken porozite değerleri artmaktadır. Buna göre karışımlarda çimento yerine %10 oranında mermer tozu kullanılarak beton üretiminde değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Şengül ve arkadaşları (2003), tarafından yapılan deneysel çalışmada beton karışımında bazalt, kumtaşı ve üç farklı bölgeden alınan kalker agregaları kullanılarak agrega türünün betonun donma çözülme dayanımına etkisi incelenmiştir. Basınç deneyi için 100 mm çapında 200 mm yüksekliğinde silindir numuneler ve eğilme deneyi için de 70x70x280 mm boyutunda numuneler üretilmiştir. Üretilen prizmatik numunelere 21. günde -20°C'de donma,+20°C'de çözülme deneyi uygulanmaya başlanmıştır. 120 çevrim sonucunda numunelerin üzerinde 28 günlük eğilme ve basınç deneyleri yapılmış sonuçlar hava sürüklenmiş ve hava sürüklenmemiş numuneler arasında

karşılaştırılmıştır. Hava sürükleyici katkı içermeyen ve donma çözülme çevrimi uygulanmamış numuneler içinde en yüksek basınç dayanımı bazalt agregası ile üretilen betonlarda, en düşük dayanım ise kumtaşı ile üretilen betonlarda elde edilmiştir. Hava sürükleyici katkı içermeyen betonlardan donma çözülme deneyi sonrası basınç dayanımında en çok azalma %27'lik oranla Cebeci kalkerleri ile üretilen betonlarda görülmüştür. Bunu sırasıyla %15 azalmayla kumtaşı ile üretilen numuneler, %11'lik azalmayla Bazalt ile üretilen numuneler, %9 azalmayla Çatalca kalkerleri ile üretilen numuneler ve %8 azalmayla Gebze kalkerleri ile üretilen numuneler izlemiştir. Hava sürükleyici katkı içeren betonlardan sadece kumtaşı ile üretilen betonların basınç dayanımında donma çözülme deneyi sonrası azalma meydana gelmiş, diğerlerinin ise donma çözülmeden etkilenmediği görülmüştür.

Topçu ve Canbaz (2008), tarafından yapılan çalışmada demir-çelik üretim aşamasında fabrika atığı olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufu (YFC) karışım içerisinde çimento yerine ağırlıkça %0, 25, 50, 75, 100 oranlarında kullanılarak hazırlanan numunelerin donma çözülme etkisine karşı davranışı araştırılmıştır. Yüksek fırın cürufunu aktive edebilmek için karışım içerisinde sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum silikat kullanılmıştır. 7x7x7 cm boyutunda hazırlanan harç numuneleri 28 günlük kür sonunda 2 saat -20 °C'de donma, 2 saat 20 °C'de çözülme şeklinde tekrarlı donma çözülme etkileri altında bırakılmıştır. Donma çözülme deneyi sonrasında çevrim sayısı artışına bağlı olarak numunelerin çatlak miktarı ve genişlikleri artmış, harçların birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımları azalmıştır. Aktive edilmiş YFC kullanılan numunelerde bu kayıplar en aza indirilmiştir. Donma çözülme etkisi sonrası sadece basınç dayanımı incelendiğinde ise, en uygun aktivatör kombinasyonu %100 YFC oranında sodyum silikat olmuştur. Sonuç olarak, donma çözülme dayanıklılığını arttırmada YFC oranını arttırmak için aktivasyonda kullanılan aktivatörün önemli olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, sodyum silikat kombinasyonunun dayanım açısından karışım içerisinde kullanılması önerilmiştir. Ayrıca karışımlarda fazla oranlarda YFC kullanımı, numunelerin donma çözülme dayanıklılığını arttıracığı gibi, atık değerlendirme konusunda da ekonomiye ve çevreye katkı sağlayacağı bildirilmiştir.

Gökçer ve arkadaşları (2013), tarafından yapılan çalışmada, karışım içerisinde farklı oranlarda cam lifi ve atık mermer tozu kullanılarak üretilen numunelerin donma çözülme etkisi altındaki davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı oranlarda cam lif içeren numunelere bağlayıcı malzemeye ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında mermer tozu ilave etmişlerdir. Donma çözülme deneyi ASTM C 666'ya uygun olarak -20 ± 2 °C'de donma, oda sıcaklığında 20 ± 2 °C suda çözülme olacak şekilde 30 çevrim uygulanmıştır. Deneylerde 40x40x160 mm'lik prizmatik numuneler üzerinde eğilmede çekme dayanım deneyi ve 50x50x50 mm'lik küp numuneler üzerinde basınç dayanım deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek eğilmede çekme dayanım değeri cam lif ve mermer tozunun birlikte kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir. Karışım içerisinde kısa ve uzun liflerin birlikte kullanımı çekme dayanımının artışında avantaj sağlamıştır. Mermer tozunun ince taneli yapısından dolayı boşlukları doldurmasıyla, harç daha yoğun ve geçirimsiz hale geldiği için basınç dayanımının artışında avantaj sağlamıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri, cam lifin bulunmadığı ve %30 mermer tozunun bulunduğu CE0-MT30 serisidir. Cam lifin harç numunesiyle yeteri kadar aderans sağlayamaması ve donma-çözülmenin harca olumsuz etkiye bulunması basınç dayanımı değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır.

Kurbetçi ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen beton karışımları içerisinde bağlayıcı maddeye oranla farklı miktarlarda silis dumanı ve/veya uçucu kül kullanarak hazırlanan numunelerin donma çözülmeye karşı davranışlarını incelemişlerdir. Karışım içerisinde uçucu kül çimentoya oranla %10, %20, %30 oranlarında, silis dumanı %6, %9 ve %12 oranlarında kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere 100x100x400 mm boyutunda prizmatik numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 1 gün sonra kalıplarından çıkarıldıktan sonra bir kısmı 20 °C suda ve hava sıcaklığında 28 gün kür gördükten sonra TS3449'a uygun olarak -20°C 'de 2 saat donma ve $+5^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat suda çözülme olacak şekilde 300 çevrim donma çözülme deneyine tabi tutulmuştur. En düşük dayanım değerleri 28 gün havada kür edildikten sonra donma çözülme deneyine maruz bırakılan numunelere aittir. En yüksek dayanım değerleri ise standart kür gördükten sonra donma çözülme deneyine maruz bırakılan numunelere aittir. Çalışmada bağıl basınç dayanımlarında en fazla azalma hava koşullarında bekletilip donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerde elde edilmiştir. Bu durumun boşluklu yapıya sahip numunelerin donma çözülme etkisinden daha fazla etkilenmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Yıldız ve arkadaşları (2006), yaptıkları çalışmada üç farklı santralden elde ettikleri C16, C18, C20, C25 ve C30 sınıflarındaki beton numuneler üzerinde, donma çözülme ve sonrasında bu numuneler üzerinde ağırlık kaybı ve basınç dayanımı deneyleri yaparak kırma taşla üretilen hazır betonların donma çözülme etkisine karşı davranışını araştırmışlardır. Deneylerde 15x15x15 cm boyutunda küp numuneler kullanılmıştır. Donma çözülme deneyi ASTM C 672-84'e uygun olarak -20 °C'de 12 saat donma ve 23±3 °C suda 12 saat çözülme olacak şekilde 25 donma çözülme çevrimi uygulanmıştır. Donma-çözülme deneyi sonrasında bir beton santraline ait C16 beton sınıfındaki numunelerde hafif çatlakların olduğu ve C20 beton sınıfına ait numunelerin köşe noktalarının koptuğu belirlenmiştir. Başka bir beton santraline ait C25 beton sınıfına ait numunelerde de hafif çatlakların olduğu belirlenmiştir. Basınç deneyi sonuçları incelendiğinde 3 santralden de elde edilmiş bütün sınıflardaki numunelerin basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. En fazla dayanım kaybı %28,87 azalma ile A santralinden elde edilen C16 sınıfına ait numunelerde, en az dayanım kaybı ise %6,23 azalma ile B santralinden elde edilen C20 beton sınıfına ait numunelerde tespit edilmiştir.

Erdem ve Öztürk (2012), tarafından yapılan çalışmada çimento yerine karışımlarda ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında mermer tozu kullanılarak üretilen numunelerin yayılma değerleri ve donma çözülme deneyi sonrası basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Deneylerde kullanılacak numuneler 50x50x50 mm küp ve 40x40x160 mm prizma boyutlarında üretilmiştir. Donma çözülme deneyi -25 °C'de 11 saat boyunca donma ve 25 °C'de 1 saat çözülme olacak şekilde 50 ve 100 çevrim uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde numunelerin yayılma değerlerinde mermer tozunun kullanımına bağlı olarak azalma meydana gelmiştir. Yani mermer tozu kullanımı ince taneli yapısından dolayı numunelerin işlenebilirliğini olumsuz etkilemiştir. Mermer tozu oranına bağlı olarak eğilme ve basınç deneyi sonuçları incelendiğinde sadece %10 oranında mermer tozu kullanımı donma çözülme sonrası numunelerin dayanımını iyileştirmiş, kalan durumlarda numunelerin dayanımında azalma meydana gelmiştir. Çevrim sayısı açısından incelendiğinde ise 100 çevrim uygulanan numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarının 50 çevrim uygulanan numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarından daha az değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Topçu ve Canmaz (2004), yaptıkları çalışmada karışım içinde farklı oranlarda silis dumanı kullanarak iki farklı çimento ile beton numuneler üretmişlerdir. Silis dumanı karışım içerisinde %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde su emme, ağırlık kaybı ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Donma çözülme deneyi ASTM C 310'a uygun olarak göre -20 °C havada donma ve +20 °C suda çözülme olacak şekilde 25 çevrim uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde silis dumanı kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarında artış meydana gelmiştir. En yüksek basınç dayanım artışı %12 oranında %15 silis dumanı eklenen numunede meydana gelmiştir. Numunelerin dinamik elastisite modüllerinde silis dumanı kullanımına bağlı olarak artış meydana gelmiştir. Silis dumanının ince yapısından dolayı yoğun bir beton yapısı elde edildiği için beton numunelerin su emmeleri azalmıştır. Numunelerin porozite değerleri incelendiğinde en yüksek artış silis dumanı kullanılmadan üretilen numunelerde meydana gelmiştir. Silis dumanı donma çözülme deneyinden sonra numunelerde oluşan mikro çatlakları olumlu yönde etkilemiştir yani oluşan mikro çatlakların dallanmadan tekil olarak devam ettiği görülmüştür.

Bozkurt ve Karaca (2019), yaptıkları çalışmada atık taş tozlarını karışım içerisine çimentoya ağırlıkça %0, %10, %20, %40 oranlarında ilave ederek numunelerin donma çözülme deneyinden sonra dayanım ve durabilite özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada Bitlis yöresi pomza taşı (BPT), Ahlat yöresi ignimbirit tozu (ATT) ve Güroymak yöresi ignimbirit tozu (GTT) kullanılmıştır. Hazırlanan 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri yapılmıştır. Donma çözünme deneyi TSE CEN/TR 15177'ye uygun olarak 90 çevrim uygulanmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları incelendiğinde numunelerin kür yaşına bağlı olarak ultrases geçiş hızlarında da artış meydana gelmiştir. Atık tozların kullanımına bağlı olarak numunelerin ultrases geçiş hızlarında azalmalar meydana gelmiştir. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde bütün numunelerin dayanımında kür süresinin artışıyla paralel sonuçlar gözlenmiştir. Katkılı numunelerin içinde en yüksek eğilme dayanımı değeri Bitlis pomza taşı kullanılarak üretilen numunelerde gözlenmiştir. Basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde yine en yüksek basınç dayanım değeri Bitlis pomza taşı kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir.

Geven (2019), yaptığı çalışmada karışım içerisinde hava sürükleyici katkı ve farklı oranlarda uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve metakaolin kullanarak hava sürükleyici katkı ve mineral katkıların donma çözülme dayanımına etkisini araştırmıştır. Donma çözülme deneyi ASTM C666'ya göre $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de donma ve $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de çözülme olacak şekilde 50, 100, 150 ve 200 çevrim uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde mineral katkılı numunelerin arasında en yüksek Marsh hunisi akış süresi uçucu kül katkılı numunelerde, en düşük akış süresi ise silis dumanı içeren numunelerde elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan mineral katkıların ince taneli yapısından dolayı düşük yayılma değerleri elde edilmiştir. En düşük yayılma değeri bütün katkıların birlikte kullanıldığı numunede elde edilmiştir. Basınç dayanım deneyi sonrasında mineral katkı kullanılan numuneler için kontrol karışımına yakın sonuçlar elde edilirken karışımda kullanılan mineral katkıların tamamı genel anlamda numunelerin basınç dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. En yüksek basınç dayanımı %10 silis dumanı kullanılan numunede elde edilmiştir. Karışımlarda kullanılan mineral katkı numunelerin boşluk oranı ve geçirimsizliğini azaltmış, özellikle uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanıldığı numunelerde donma çözülme etkisine karşı direnci arttırmıştır.

Özden (2010), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde %10, %15 ve %20 oranlarında poliester reçine kullanılarak üretilen numunelerin donma çözülme etkisine karşı gösterdiği davranış incelenmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde donma çözülme ve basınç deneyleri yapmış ve bu numunelerin dayanım ve ağırlık kayıplarını birbirleriyle karşılaştırmıştır. Donma çözülme deneyi -10°C 'de donma ve $+5^{\circ}\text{C}$ 'de çözünme, -20°C 'de donma ve $+5^{\circ}\text{C}$ 'de çözünme, -30°C 'de donma ve $+5^{\circ}\text{C}$ 'de çözünme olacak şekilde 3 farklı donma derecesinde 30 çevrim uygulanmıştır. Basınç ve donma çözülme deneyleri sonucunda serilere ait basınç dayanımları ve ağırlık kayıpları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en fazla ağırlık kaybı %0,62'lik oranla -30°C 'de donma, $+5^{\circ}\text{C}$ 'de çözünme ve %15 poliester reçine kullanılan numunede tespit edilmiştir. Numunelerin hiçbirinde gözle görülen bir çatlama veya hasara rastlanmamıştır. Basınç dayanım deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek basınç dayanım değeri kontrol numunesinde elde edilmiş olup, karışım içerisinde poliester reçine kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımında artış ve donma çözülme dayanımı açısından fayda sağladığı tespit edilmiştir.

Gönen ve Yazıcıoğlu (2015), tarafından yapılan karışım içerisinde farklı oranlarda pomza ve genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların donma çözülme deneyi sonrası ultrases hızları, basınç ve eğilme dayanımları araştırılmıştır. Bu amaçla %10, %20 ve %30 oranında pomza ve genleştirilmiş perlit agregası içeren kendiliğinden yerleşen hafif betonlar ve katkısız hafif betonlar üretilerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada pomza ve perlit agregasının donma çözülme dayanımına etkisi araştırıldığı için karışımlarda hava sürükleyici katkı kullanılmamıştır. Numunelere 7, 28 ve 90. günde basınç dayanımı deneyi, 28. günde ise eğilmede çekme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Donma çözülme deneyi -20 °C'de donma ve 20 °C'de çözünme 1 çevrim sayılarak 100 çevrim uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde donma çözülme deneyinden önce ve sonra en düşük ultrases geçiş hızı değeri %20 perlit agregası kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde ise donma çözülme deneyinden önce ve sonra en düşük basınç dayanım değerinin katkı kullanılmadan üretilen hafif betonlarda olduğu tespit edilmiştir. Genel anlamda kullanılan pomza ve perlit agregası dayanımı düşürse de maliyet açısından kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

Bilim (2011), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde %10 silis dumanını sabit tutularak ve karışımda farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Karışımda %0, %5, %10, %15, %20 ve %30 oranlarında zeolit kullanarak 40x40x160 mm boyutlarında ve 70.7x70.7x70.7 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, porozite, su emme deneyleri yapılmış ve numunelerin kuru birim ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol karışımıyla kıyaslanmıştır. Basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde 28. gün yaşına kadar en düşük dayanım %30 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde meydana gelmiştir. Genel itibarıyla zeolit kullanılarak üretilen numunelerde kontrol karışımına kıyasla daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Eğilme dayanımı deney sonuçları basınç dayanımı deneyi sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Porozite ve su emme deney sonuçları incelendiğinde %20 oranında zeolit kullanımına kadar kontrol karışımından daha düşük değerler elde edilmiş, zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin porozite ve su emme değerlerinde artış gözlenmiştir. Zeolitin hafif ve

boşluklu yapısından dolayı numunelerin kuru birim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Şişman ve arkadaşları (2008), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde %25, %50, %75, %100 oranlarında doğal zeolit kullanılarak üretilen hafif betonlar üzerinde numunelerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini belirlemek için basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan zeolit Manisa ili Gördes ilçesinden temin edilmiş olup deneyler 15x15x15 cm boyutundaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. En yüksek dayanım değeri %25 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde, en düşük dayanım değeri ise %100 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Birim ağırlık deney sonuçları incelendiğinde numunelerin birim ağırlıkları zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır. Bunun sebebi zeolitin hafif ve boşluklu yapısından kaynaklıdır. En düşük birim ağırlık değeri %100 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde, en yüksek birim ağırlık değeri ise %25 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Numunelerin su emme oranları incelendiğinde yine zeolitin boşluklu yapısından dolayı zeolit kullanımına bağlı olarak su emme değerlerinde artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak hafif beton üretiminde karışım içerisinde %50 - %75 oranında zeolit kullanımının hem maliyet açısından avantaj sağlayacağı hem de bu oranın istenilen fiziksel ve mekanik özellikleri karşılayacağı belirlenmiştir.

Yıldız (2012), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde pomza ve zeolit kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretilmiş ve bu betonların NaCl etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Karışımda %15 oranında zeolit - %0 oranında pomza, %10 oranında zeolit - %5 oranında pomza, %5 oranında zeolit - %10 oranında pomza ve %0 zeolit - %15 oranında pomza kullanarak üretilen numunelerin basınç ve aşınma dayanımları araştırılmıştır. 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler NaCl çözeltisinde bekletilmiş ve TS EN 12390-3 standardına uygun olarak basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde en düşük dayanım değeri %0 oranında zeolit - %15 oranında pomza kullanılarak üretilen numunelerde, en yüksek dayanım değeri %15 oranında zeolit - %0 oranında pomza kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Zeolit kullanımına bağlı olarak

numunelerin dayanım değerlerinde artış meydana gelmiştir. NaCl etkisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde ise bu sefer pomza kullanımına bağlı olarak numunelerin dayanımlarında artış meydana gelmiştir. Üretilen tüm numunelerin basınç dayanım değerleri istenilen basınç dayanım değerlerinden yüksek çıkmıştır. Yapılan deneyler sonucunda pomza ve zeolitin yüksek dayanımlı betonlarda katkı malzemesi olarak kullanılmasının avantaj sağlayacağı belirlenmiştir.

Kılıncarslan (2007), yaptığı çalışmada karışım içerisinde çimentoya ağırlıkça farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen numunelerin mekanik ve termal özellikleri araştırılmıştır. Karışımında %0, %5, %10 ve %15 oranlarında öğütülmüş zeolit kullanılmış, üretilen numunelerin birim ağırlık, basınç dayanımı, ısı iletkenlik katsayısı ve ultrases geçiş hızı değerleri belirlenmiştir. Deneyler 10x10x10 cm'lik küp numuneler üzerinde ve Φ 15x30 cm'lik silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde zeolitin hafif ve boşluklu yapısından dolayı zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin birim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde en düşük dayanım %5 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde 37.8 MPa, en yüksek basınç dayanımı %15 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde 39.4 MPa olarak belirlenmiştir. Genel itibariyle karışımında zeolit kullanımı numunelerin basınç dayanımını çok fazla etkilememiştir. Zeolitin boşluklu yapısından dolayı zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin ısı iletkenlik katsayılarında azalma meydana gelmiştir. En yüksek ısı iletkenlik katsayısı 2.07 W/mK ile kontrol numunesinde, en düşük ise 1.51 W/mK ile %15 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde zeolit kullanımının çok fazla bir etkisi olmadığı fakat zeolit kullanımına bağlı olarak değerlerde bir miktar iyileşme olduğu belirlenmiştir.

Koçak ve Savaş (2015), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde %10 ve %20 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerin $MgSO_4$ etkisi altındaki davranışını incelemek için 15x15x15 cm boyutunda küp numuneler üretilmiş ve üretilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, çekme dayanımı, birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. 28 gün kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları incelendiğinde zeolitin boşluklu ve hafif yapısından dolayı en düşük birim ağırlık değeri %20 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Numunelerin su emme deney sonuçları incelendiğinde

birim ağırlık deneyinin tersi şekilde en yüksek su emme oranı %20 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunede, en düşük su emme oranı referans numunede elde edilmiştir. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde zeolit kullanımının sonucu çok fazla etkilemediği fakat nispeten zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin çekme dayanımlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde ise referans numunenin basınç dayanımı 54.4 MPa bulunurken, %20 zeolit kullanılan numunede bu değer 43.8 MPa olarak tespit edilmiştir. Son olarak zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin görünür boşluk oranlarının ciddi şekilde arttığı fakat ultrases geçiş hızlarını çok fazla etkilemediği belirlenmiştir. Genel olarak yapılan deney sonuçları incelendiğinde karışımda %10 zeolit kullanımının numuneler üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu ve zeolitin yapı malzemesi olarak fayda sağlayacağı tespit edilmiştir.

Sarıkaya ve arkadaşları (2009), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen katkı ve katkısız betonların elastisite modüllerini belirlemek için numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Çalışmada agregaya hacimce %10, %30, %50 oranlarında zeolit kullanılarak çapı 150 mm yüksekliği 300 mm silindirik numuneler ve 100 mm boyutunda küp numuneler üretilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde hem katkılı hem katkısız numunelerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Slump deneyi sonuçları incelendiğinde numunelerin slump değerlerinde zeolit kullanımına bağlı olarak azalmalar meydana gelmiştir. Su emme oranı değerleri incelendiğinde zeolit kullanımının katkısız numunelerde su emme oranını ciddi derecede arttırdığı belirlenmiştir. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları incelendiğinde karışımlarda zeolit kullanımı hem katkılı hem katkısız numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerini arttırmıştır. Schmidt yüzey sertlik deneyi sonuçları incelendiğinde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin sertlik değerleri azalmıştır. Hem katkılı hem katkısız numunelerde numunelerin basınç dayanımı değerleri zeolit kullanımına bağlı olarak ciddi derecede azalmıştır. Genel olarak bütün deney sonuçları incelendiğinde karışımda %10 - %30 oranında zeolitin yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi daha fazla oranda kullanıldığı takdirde betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Sarıkaya (2006), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen akışkanlaştırıcı katkı ve katkısız numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, numunelerin ultrases geçiş hızları, Schmidt sertlikleri, basınç dayanımları ve eğilme dayanımları belirlenmiştir. Karışımlarda agregaya hacimce %10, %30 ve %50 oranlarında zeolit kullanılmıştır. 28 günlük kür süresini tamamlayan katkısız numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım 45.97 MPa olarak referans numunesinde, en düşük dayanım 19.38 Mpa olarak %50 zeolit kullanılan numunede tespit edilmiştir. Katkılı numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları incelendiğinde katkısız numunelere benzer şekilde en yüksek dayanım 47.99 MPa olarak referans numunesinde, en düşük dayanım 22.4 MPa olarak %50 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Katkılı numunelerin katkısız numunelerden daha yüksek dayanıma sahip olmasının sebebi karışımda kullanılan akışkanlaştırıcı katkının S/Ç oranını azaltmasıdır. Genel olarak deney sonuçları incelendiğinde karışım içerisinde %30 veya %50 oranında zeolit kullanıldığı durumda çimento miktarının artırılması önerilmektedir.

Güçlüer (2016), tarafından yapılan çalışmada zeolit ve metakaolin kullanılarak gaz beton üretilmiş, üretilen numunelerin birim hacim ağırlıkları ve elastisite modülleri belirlenmiş ve numuneler üzerinde basınç dayanım deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere 7 cm boyutunda küp numuneler üretilmiştir. Yapılan deney sonuçları incelendiğinde zeolit kullanımına bağlı olarak yani karışımda kullanılan çimento miktarının azalmasıyla numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Metakaolin kullanılan numunelerinde birim hacim ağırlık değerleri zeolit kullanılan numunelere benzer şekilde azalmıştır. Basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım değeri 5.52 MPa ile en yüksek oranda çimento kullanılan Z1 adlı numunede elde edilmiştir. Bunu 5.1 MPa ile Z3 adlı numune ve 4.14 MPa ile Z2 adlı numune izlemiştir. Metakaolin kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı zeolit kullanılarak üretilenlere göre daha düşük çıkmıştır. Numunelerin dinamik elastisite modülleri incelendiğinde karışıma giren çimento miktarının azalmasıyla basınç dayanımlarına benzer şekilde daha düşük değer elde edilmiştir. Genel olarak deney sonuçları incelendiğinde karışıma giren puzolanik maddelerin numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.

Sevim ve Okumuş (2011), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde farklı oranlarda zeolit ve sabit oranda silika dumanı kullanılarak üretilen numunelerin geçirimsizlik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Karışım içerisinde çimentoya ağırlıkça sabit %8 oranında silika dumanı ve çimentoya ağırlıkça %10, %20, %30 oranında zeolit kullanılmıştır. 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde karışım içerisinde %20 oranına kadar zeolit kullanımının basınç dayanımına katkı sağladığı daha yüksek oranlarda ise basınç dayanımını azalttığı belirlenmiştir. Silika dumanıyla birlikte %10 oranında zeolit kullanımının basınç dayanımını ciddi miktarda arttırdığı belirlenmiştir. En düşük dayanım değeri silika dumanıyla birlikte %30 oranında zeolit kullanılan numunede elde edilmiştir. Yarma deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım değeri %10 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde, en düşük dayanım %30 oranında zeolit kullanılan numunelerde elde edilmiştir. Su emme deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek su emme değeri kontrol numunesinde, en düşük su emme değeri silika dumanı ve %20 oranında zeolit kullanılan numunelerde elde edilmiştir. Genel itibariyle deney sonuçları incelendiğinde zeolitin karışım içerisinde kullanılmasının betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine katkı sağladığı belirlenmiştir.

Dayı ve arkadaşları (2013), tarafından yapılan çalışmada karışım içerisinde farklı oranlarda zeolit, uçucu kül, atık cam ve portland çimentosu klinkeri kullanılarak üretilen kompoze çimentolar üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, bu malzemelerin kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Karışımında çimentoya ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında zeolit kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere 40×40×160 mm boyutunda numuneler üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda numunelerin yoğunluk değerleri incelendiğinde en düşük yoğunluk değeri %75 PÇ klinkeri, %10 atık cam, %10 uçucu kül ve %5 alçıtaşı kullanılan numunede, en yüksek yoğunluk değeri ise referans numunesinde elde edilmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde yapılan eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek dayanım değeri %85 PÇ klinkeri, %5 atık cam, %5 uçucu kül, %5 alçıtaşı kullanılan numunede, en düşük dayanım değeri ise %75 PÇ klinkeri, %10 zeolit, %10 atık cam ve %5 alçıtaşı kullanılan numunede elde edilmiştir. Basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım değeri %85 PÇ klinkeri, %5 atık cam, %5 uçucu kül ve %5 alçıtaşı kullanılan numunelerde ve en düşük dayanım değeri ise %75 PÇ klinkeri, %10 zeolit, %10 atık cam ve %5 alçıtaşı kullanılan

numunelerde elde edilmiştir. Genel itibariyle yapılan deney sonuçları incelendiğinde üretilen çimentoların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin standartlara uygun olduğu ve zeolit, uçucu kül ve atık cam tozunun %5 ve %10 oranlarında Portland kompoze çimento üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Yörükoğulları (2005), tarafından yapılan çalışmada zeolitin kullanım alanları ve genel kullanımı, buz ve kar çözücü olarak kullanımı ve karayollarında kullanımı araştırılmıştır. Soğuk havalarda, özellikle kışın yağın kar ve don etkisiyle trafikte aksamalar, ölümlerle sonuçlanan kazalar yaşanmaktadır. Karayollarında ki kar ve buzlanmanın yavaşlatılması ve önüne geçilmesi için uzun yıllardır kullanılan en yaygın yöntem yollarda buzlanma olan yerlere dökülen tuzdur. Bu konuda tuz kullanılması olumlu sonuçlar verse de, tuzun kimyasal yapısı sebebiyle korozyona sebep olmakta, karayollarının kullanım ömrünü kısaltmakta, dere ve çay gibi su kaynaklarını kirletmektedir. Buzlanma konusunda tuza alternatif olarak kullanılabilecek başka maddeler de vardır fakat maliyet açısından tuzdan daha pahalı olduğu için kullanılması tercih edilmemektedir. Bu sonuçlar düşünüldüğünde tuza alternatif olarak kullanılabilecek maddelerden biri zeolittir. Zeolit kristal yapıya sahip hafif, boşluklu bir mineral grubunun adıdır. Dolayısıyla yapısı gereği donma sırasında suyun genişeceği boşluğa sahip bir malzemedir. Ülkemizde zeolit rezervi yaklaşık 50 milyar ton olup, doğada yatay olarak yataklandığı için işletimi kolaydır. Buzlanma konusunda karayollarında kullanımı maliyet açısından değerlendirildiğinde tuza yakın değerler gösterse de çevreye etkisi bakımından kıyaslandığında tuzdan çok daha önde bir malzemedir. Yani buzlanma konusunda zeolitin değerlendirilmesi hem maliyet açısından hem de çevre etkisi açısından avantaj sağlayabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte betonun bazı kusurlarının giderilmesi ve geliştirilmesi adına çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Betonun geliştirilmesi gereken özelliklerinden birisi de donma çözülme etkisine karşı gösterdiği davranıştır. Gerekli önlem alınmadığı takdirde beton bu etki karşısında savunmasız kalır. Dolayısıyla bu etki betonun yapı malzemesi olarak kullanılmasını güçleştirebilir.

Betonun bünyesine bir şekilde nüfuz eden su sıcaklık derecesinin 0 °C' nin altına düşmesiyle donar ve donan su hacim genişlemesine uğrar. Bu hacim genişmesi sırasında beton içerisinde içsel gerilmeler meydana gelir. Tek bir donma çözülme çevrimi betonda herhangi bir hasara sebep olmaz fakat donma çözülme çevrim sayısının artışıyla birlikte betonda parçalanma ve hasara sebep olabilir. Yapısında suyun barınacağı bir boşluk bulundurmayan betonlarda donma çözülme etkisi olumsuz bir etki yaratmaz fakat tamamen boşluksuz bir beton üretmek de imkânsızdır. Tamamen boşluksuz bir beton üretilemeyeceğinden bu konuda farklı önlemler alınmaktadır. Alınan önlemlerden en yaygın ve etkili olanı kimyasal katkı kullanımındır.

Kimyasal katkılar betonun istenilen özelliğini iyileştirmek amacıyla karışım içerisinde kullanılan organik veya inorganik maddelerdir. Donma çözülme direncini arttırmak için kullanılan katkı türü hava sürükleyici katkılardır. Beton üretim aşamasında karışım içerisine eklenen hava sürükleyici katkıları sayesinde donma esnasında genişleyen suyun büyüyeceği boşluklar betona hapsedilir, beton içerisinde gerilme oluşmaması sağlanarak donma çözülme dayanımı yüksek betonlar elde edilir. Fakat bu çözümün bazı dezavantajları vardır. Beton içerisine hapsedilen boşluklar betonun bazı mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında, kristal ve boşluklu bir yapıya sahip olan zeolit minerali farklı boyutlarda ve farklı oranlarda karışım içerisinde kullanılarak hava sürükleyici katkılı ve katkısız numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde donma çözülme deneyi yapılmış ve numunelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Bu bölümde çalışma kapsamında harç ve beton karışımlarında kullanılan materyaller ve uygulanan yöntem hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Harç ve Beton Karışımlarında Kullanılan Çimento ve Özellikleri

Çimentolar normal bir beton karışımında yaklaşık %10 civarında yer işgal eden, su ile hidratasyonu sonucunda bağlayıcılık özelliği kazanarak yapının ayakta durmasını sağlayan en temel yapı malzemesidir. 1800'lü yıllardan itibaren inşaat sektöründe kullanılmaya başlayan çimento belli standartlara bağlı kalarak zamanla farklı alanlarda, farklı amaçlarla kullanılmak üzere geliştirilmiş ve çeşitlendirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere üretilen harç ve beton numunelerinde CEM-I 42,5 / R - Portland Çimentosu kullanılmıştır. TS EN 197-1 standardında belirtildiği üzere CEM-I 42,5 / R çimentosunun ana bileşenleri portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşıdır. Standart bir hesap yöntemi ile karışımdaki oranları belirlenen kalker ve kil birleşiminin 1400 °C' de pişirilmesi ile çimentonun hammaddesi olan klinker oluşur. Klinkerin alçı taşı ile bazen de ihtiyaca göre farklı mineral katkıları ile öğütülmesi ile Portland Çimentosu üretilir. Genel kullanıma uygun olan bu çimento türü erken kalıp alınması gereken zamanlarda ve yüksek hidratasyon ısılarından dolayı soğuk havada kullanılabilir. Gerekli koşullar sağlandığında erken ve nihai dayanım sağlar.

Çalışmada kullanılan CEM-I 42,5 R cinsi çimento Konya'da bulunan Konya Çimento Fabrikasından temin edilmiştir.

CEM-I 42,5 R portland çimentonun üretici firma tarafından belirlenen standart kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM-I 42,5 R portland çimentonun standart kimyasal özellikleri

Kızdırma Kaybı	≤ % 5
Çözünmeyen Kalıntı	≤ % 5
Kükürt Trioksit (SO ₃)	≤ % 4,0
Klorür (Cl ⁻)	≤ % 0,1

CEM-I 42,5 R portland çimentonun üretici firma tarafından belirlenen standart fiziksel özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. CEM-I 42,5 R portland çimentonun standart fiziksel özellikleri

Priz başlama süresi	≥ 60 dakika
Genleşme	≤ 10 mm
2 Günlük dayanım	≥ 20,0 MPa
7 Günlük dayanım	-
28 Günlük dayanım	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5MPa

CEM-I 42,5 R portland çimentonun üretici firma tarafından belirlenen içerik bilgisi ve diğer özellikleri Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. CEM-I 42,5 R portland çimentonun içeriği ve diğer özellikleri

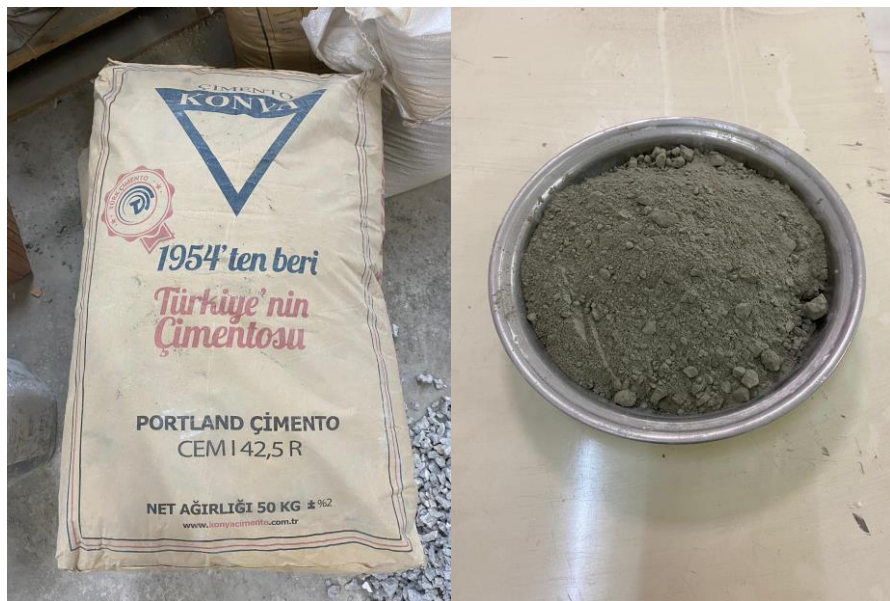
Portland Çimento Klinkeri	95%
Minör Bileşen	5%
Özgül Yüzey (Blaine)	3500-3700 cm ² /g
Yoğunluk	3,10-3,15 gr/cm ³

CEM-I 42,5 R portland çimentonun TS EN 197-1 standartında verilen genel özellikleri Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. CEM-I 42,5 R portland çimentonun TS EN 197-1'e göre genel özellikleri

Çimento Sınıfı	CEM-I 42,5 R
Klinker Oranı (%)	95-100
Minör İlave Bileşen	0-5
2 Günlük Erken Dayanım	≥ 20 MPa
28 Günlük Standart Dayanım	≥ 42,5 MPa
28 Günlük Standart Dayanım	≤ 62,5 MPa
Priz Başlama Süresi	≥ 60 dakika
Genleşme	≤ 10 mm

Çalışmada kullanılan CEM-I 42,5 R portland çimentonun görüntüsü Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. CEM-I 42,5 R portland çimentonun görüntüsü

3.2. Beton Karışım Suyu ve Özellikleri

Su normal bir beton karışımında yaklaşık %15 civarında yer işgal eden, çimento ile hidratasyonu sonucunda çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran doğal yaşamın da inşaat sektörünün de temel yapı taşlarından biridir. Su, hidratasyonun sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi açısından içerisinde hidratasyonu engelleyecek herhangi bir madde barındırmamalıdır.

Daha önceden yapılmış çalışmalar üzerinde yapılan literatür çalışmasında deniz suyunun da beton üretiminde kullanılabileceği fakat üretilen numunelerin normal su kullanılarak üretilen numunelere göre daha düşük sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Beton karışım suyu olarak TS EN 1008'de belirtildiği üzere içilebilir suların beton üretiminde uygunluğu kabul edildiğinden harç ve beton karışımlarında hiçbir deneye tabi tutulmadan Konya ili Selçuklu ilçesi şebekesinden temin edilen şebeke suyu kullanılmıştır.

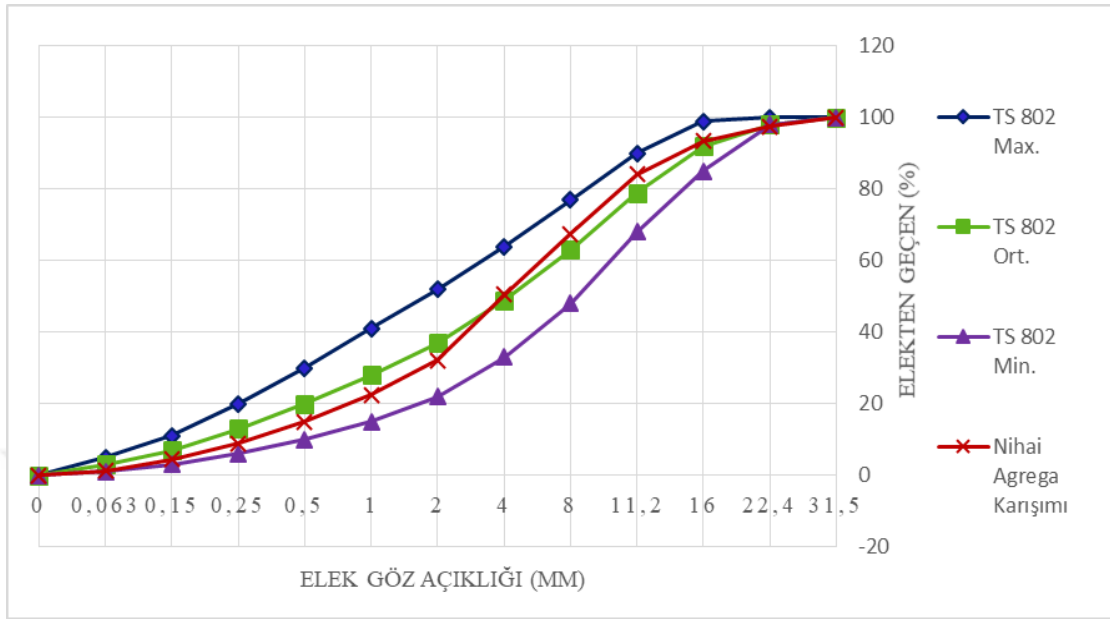
3.3. Harç ve Beton Karışımlarında Kullanılan Agregaların Özellikleri

Agregalar normal bir beton karışımında %75 civarında yer işgal eden kum, çakıl, kırmataş gibi mineral yapıya sahip inorganik malzemelerdir. Ucuz olması açısından beton üretiminde maliyet açısından avantaj sağlar ve çimentolu sistemlerdeki priz esnasında büzülmelemlerden dolayı meydana gelebilecek hacim küçülmesini engelleyerek oluşacak çatlaklara engel olurlar. Beton karışımında kullanılacak agregaların belirli standartlara uygun olması gerekmektedir. Beton üretiminde kullanılacak agregaların sert, dayanıklı ve boşluksuz yapıda olmaları, yassı taneler içermemeleri ve beton içerisinde aderansı olumsuz etkileyecek toz ve toprak gibi maddeler içermemeleri gerekmektedir.

Agregalar ince ve iri agregalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Max. tane çapı 4 mm'den küçük olan agregalar ince agrega, max. tane çapı 4 mm'den büyük olan agregalar iri agrega olarak sınıflandırılmaktadır.

Çalışmada harç numunelerinin üretiminde max. tane çapı 4 mm olan ince taneli agregalar ve beton numunelerinin üretiminde ince agregalara ek olarak tane dağılımı 4-16 mm arasında olan iri taneli agregalar kullanılmıştır.

Beton numunelerinin üretiminde kullanılan 0-16 mm çapındaki iri ve ince taneli agregaların granülometri analizi değerleri Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Beton numunelerinin üretiminde kullanılan 0-16 mm çapındaki iri ve ince taneli agregaların granülometri analizi değerleri

150x150x150 mm boyutunda numunelerin üretiminde kullanılan tane dağılımı 0-16 mm arasında olan iri ve ince agregat görüntüsü Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Tane dağılımı 0-16 mm arasında olan iri ve ince agregat

40x40x160 mm boyutunda numunelerin üretiminde kullanılan tane dağılımı 0-4 mm arasında olan ince agrega görüntüsü Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Tane dağılımı 0-4 mm arasında olan ince agrega

3.4. Harç Numunelerinde Kullanılan Dere Kumu ve Özellikleri

Dere kumu dalga ve suyun akıntısıyla birlikte aşınarak yuvarlak ve yassı hale gelen genellikle badem şekline benzeyen taştır. Farklı renkte ve farklı boyuttadırlar. Yıkama işlemi gerekli şartnameye uygun su kullanılarak ve patenli yıkama tesislerinde veya sürükleyici önlemler alınarak yataklar ve oluklar içinde yapılmaktadır. İnşaat sektöründe pek fazla kullanılmamaktadır.

DeneySEL çalışmada üretilen numunelerin bir kısmında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler birtakım mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Çalışmalarda bazı serilerde ince agrega yerine dere kumu kullanılmasının amacı dere kumunun yapısında ince taneler içermemesi dolayısıyla donma çözülme dayanımına katkı sağlayacağını düşünülmesidir.

40x40x160 mm boyutunda numunelerin üretiminde kullanılan tane dağılımı 0-4 mm arasında olan dere kumunun görüntüsü Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Tane dağılımı 0-4 mm arasında olan dere kumunun görüntüsü

3.5. Hava Sürükleyici Katkı ve Özellikleri

Hava sürükleyici katkıları 1930'lardan beri beton endüstrisinde kullanılan ve beton üretim aşamasında karışıma eklenerek kullanılan kimyasal katkılarıdır. (Özyıldırım, 2007). Hammaddeleri genellikle kâğıt ve beton endüstrisinden elde edilen deterjan ve tuzlar, petrol kaynaklı bazlardır. Hava sürükleyici katkıları beton yollar, havaalanları, pist ve taksi yolları gibi birçok alanda kullanılırlar. Genellikle beton üretim aşamasında karışım içerisine uygun dozajda eklenerek kullanılırlar. Donma çözülme olayında betonun bünyesindeki su uğradığı hacim genişmesi sonucu beton içerisinde gerilmeler oluşturur. Üretim aşamasında karışıma eklenen hava sürükleyici katkıları küçük hava boşluklarını çimento ve agrega tanelerine sabitleyerek donma esnasında genişleyen suyun bu boşluklara doğru büyümesini, dolayısıyla donma çözülme direnci yüksek betonlar elde edilmesini sağlarlar. Betonda ayrışma riskini azaltırlar ve işlenebilirliği arttırlar.

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere üretilen harç ve beton karışımlarında Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'den temin edilen SikaAER hava sürükleyici katkı kullanılmıştır. Katkının kullanım dozajı daha önceden yapılan literatür araştırması ışığında ve yapılan ön deneyler neticesinde üretici firmanın tavsiye ettiği değerler dikkate alınarak belirlenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında karışımda hava sürükleyici katkı kullanılmasının donma çözülme dayanımını arttırdığı fakat katkı kullanımı sonucunda boşluklu bir beton elde edildiği için üretilen numunelerin bazı mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

SikaAER hava sürükleyici katkının genel özellikleri Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. SikaAER hava sürükleyici katkının genel özellikleri

Kimyasal Yapı	Özel yüzey aktif maddelerden oluşan sıvı
Yoğunluk	0,99-1,03 kg/l
pH Değeri	3-7
Donma Noktası	0 °C
Toplam Klorür İyon İçeriği	En fazla %0.1, klorür içermez
Alkali Miktarı (%Na ₂ O Eşdeğeri)	En fazla %3
Aşırı Dozlama Etkisi	Belirtilen oranın üstünde kullanıldığında beton dayanımlarını olumsuz etkiler.

3.6. Doğal Zeolit

Zeolitler alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alüminasilikatları olarak tanımlanır. Doğal zeolitler 40'a yakın mineralden oluşmuş bir mineral grubunun adıdır (Yörükoğulları, 2005). Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı madencilik, inşaat, sağlık sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ülkemizde rezervi fazla ve yatay yataklanmalarından dolayı işlenebilmesi kolaydır. Hafif ve boşluklu bir yapıya sahiptir. İnşaat sektöründe birçok alanda varlığını sürdürmektedir fakat diğer yapı malzemeleri kadar ilgi gören bir malzeme değildir.

Zeolitin boşluklu yapısı sayesinde karışımlarda zeolit kullanımının hava sürükleyici katkıyla aynı görevi üstleneceği ve donma çözülme dayanımına katkı sağlayacağı düşünülerek deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere karışımda farklı oranlarda zeolit kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere üretilen harç ve beton numunelerinde Balıkesir ili Türk Zeolit firmasından elde edilen 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılmıştır.

Zeolit mineralinin genel özellikleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Zeolit mineralinin genel özellikleri

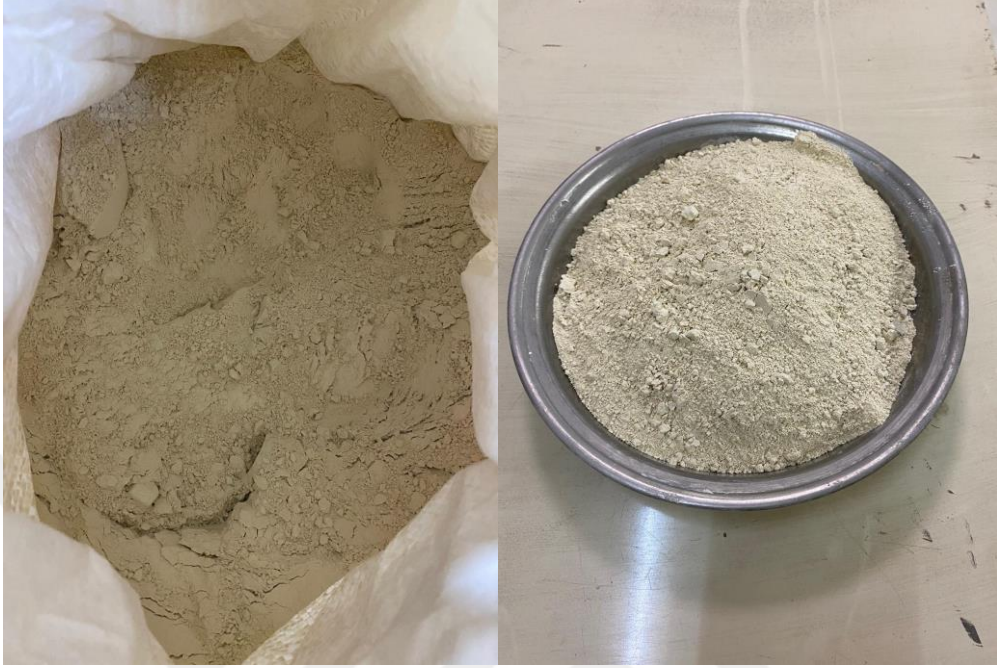
Toz Yoğunluğu	1,42 g/cm ³
Katı Yoğunluğu	2,143 g/cm ³
Dökülme (Kullanım) Yoğunluğu	0,54 g/cm ³
Sertlik	3,5-4,0 mohs
Spesifik Yüzey	14,500 cm ² /g
Renk	Fildişi rengi
Akışkanlaşma Sıcaklığı	1506 °C

150x150x150 mm boyutunda numunelerin üretiminde kullanılan $D_{max}=10$ mm zeolitin görüntüsü Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. $D_{max}=10$ mm zeolitin görüntüsü

40x40x160 mm boyutunda numunelerin üretiminde kullanılan 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolitin görüntüsü Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolitin görüntüsü

4. YÖNTEM

4.1. Harç ve Beton Numuneleri için Karışım Hesapları

Çalışma kapsamında karışımda 3 farklı agrega ve 2 farklı boyut tipinde zeolit kullanılarak harç ve beton numuneler üretilmiştir. Üretilen her seri numune, zeolitin hava sürükleyici katkıya göre donma çözülme dayanımına etkisinin araştırılması amacıyla hava sürükleyici katkı ve katkısız olarak üretilmiştir. Üretilen numuneler uygun koşullarda kür edildikten sonra bazı mekanik deneylere tabi tutulmuştur.

Çalışmada hazırlanan numunelerin kıyaslanması konusunda asıl parametreler karışımdaki zeolit oranı ve kullanılan zeolit tipi olduğu için bütün numuneler çimento dozajı ve su/çimento oranı sabit tutularak üretilmiştir.

Kullanılan beton numunelerin karışım hesabı TS 802'ye uygun olarak 350 kg/m³ çimento dozajlı beton numuneler üretilecek şekilde yapılmıştır. Karışımlarda su/çimento oranı 0.5 olarak sabit tutularak %40 oranında ince agrega (0 – 4 mm) ve %60 oranında iri agrega (4 – 16 mm) kullanılmıştır.

TS 802'ye göre kontrol numunesi için yapılan 350 kg/m³ çimento dozajlı 1 m³ beton karışımında bulunan malzeme miktarları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 350 kg/m³ çimento dozajlı 1 m³ beton karışımında bulunan malzeme miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	İnce Agregası (kg)	İri Agregası (kg)
NB	175,00	350,00	704,91	1128,97

Çalışmalarda kullanılan harç numuneleriyle ilgili herhangi bir karışım hesabı yapılmamıştır. Numunelerin karışım oranları TS EN 196-1 standardında verilen karışım oranları ve yapılan literatür araştırması göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Karışımda su, çimento ve agrega sırasıyla 0.5, 1 ve 3 oranlarında kullanılarak harç numuneleri hazırlanmıştır.

1 m³ harç karışımında bulunan malzeme miktarları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 1 m³ harç karışımında bulunan malzeme miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	İnce Agregası (kg)
NBi	266,66	533,33	1600,00

Çalışmalarda ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen harç numuneleriyle ilgili herhangi bir karışım hesabı yapılmamıştır. Karışım oranları ince agrega kullanılarak üretilen numunelere benzer şekilde TS EN 196-1 standardında verilen karışım oranları ve yapılan literatür araştırması göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Karışımında su, çimento ve dere kumu sırasıyla 0.5, 1 ve 3 oranlarında kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir.

Dere kumu kullanılarak hazırlanan 1 m³ harç karışımında bulunan malzeme miktarları Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Dere kumu kullanılarak hazırlanan 1 m³ harç karışımında bulunan malzeme miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Dere Kumu (kg)
NDKBi	266,66	533,33	1600,00

4.2. Zeolit Kullanım Oranları

Çalışmalarda harç ve beton numunelerinde 2 farklı boyut türünde zeolit kullanılmıştır. İnce agrega veya ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki harç numunelerinde 40 µ'a kadar öğütülmüş zeolit, ince ve iri agrega kullanılarak üretilen 150x150x150 mm boyutundaki beton numunelerinde D_{max}=10 mm zeolit kullanılmıştır.

Zeolit kullanım oranlarıyla alakalı yapılan literatür araştırması sonucunda zeolit boşluklu ve hafif yapıda bir malzeme olmasından dolayı yüksek oranlarda karışım içerisinde kullanılmasının dayanımda ciddi derecede azalmalara sebep olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan karışımında hava sürükleyici katkı kullanımını da beton içerisinde boşluklar oluşturacağı için dayanımlarda azalmalara sebep olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmada karışım içerisinde yüksek oranda zeolit kullanımının veya zeolit hava sürükleyici katkı ile birlikte kullanılmasının dayanımlarda ciddi

azalmalara sebep olacağı dolayısıyla harç ve beton numunelerinin dayanım değerlerinin kontrol numunesiyle kıyas konusunda sağlıklı sonuçlar vermeyeceği düşünüldüğünden karışımlarda çok yüksek oranlarda zeolit kullanılmamıştır.

Hazırlanan beton numunelerinde $D_{\max}=10$ mm zeolit iri ve ince agregaya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında kullanılmıştır. Kullanılan zeolit karışım içerisine aynı oranlarda agregaya azaltılarak ilave edilmiştir.

Agregaya ağırlıkça %5, %10, ve %15 oranlarında $D_{\max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen beton numunelerin 1 m^3 'ü için karışım hesabı Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Agregaya ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında $D_{\max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen beton numunelerin 1 m^3 'ü için karışım hesabı

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Zeolit (kg)	İnce Agregaya (kg)	İri Agregaya (kg)
NB	175,00	350,00	0	704,91	1128,97
NZ5			91,69	668,23	1073,96
NZ10			183,39	631,55	1018,94
NZ15			275,08	594,88	963,92

Hazırlanan harç numunelerinde 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit çimentoya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında kullanılmıştır. Kullanılan zeolit karışım içerisine aynı oranlarda çimento azaltılarak ilave edilmiştir.

40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen harç numunelerinin 1 m^3 'ü için karışım hesabı Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Çimentoya ağırlıkça %5, %10, ve %15 oranlarında 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen harç numunelerinin 1 m^3 'ü için karışım hesabı

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Zeolit (kg)	İnce Agregaya (kg)
NBi	266,66	533,33	0	1600,00
NZ5i		506,66	26,67	
NZ10i		480,00	53,33	
NZ15i		453,33	80,00	

Hazırlanan diğer harç numunelerinde ince agregaya yerine dere kumu ve 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit çimentoya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında

kullanılmıştır. Kullanılan zeolit karışım içerisinde aynı oranlarda çimento azaltılarak ilave edilmiştir.

40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen harç numunelerinin 1 m³'ü için karışım hesabı Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Çimentoya ağırlıkça %5, %10, ve %15 oranlarında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen harç numunelerinin 1 m³'ü için karışım hesabı

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Zeolit (kg)	Dere Kumu (kg)
NDKBi	266,66	533,33	0	1600,00
NDKZ5i		506,66	26,67	
NDKZ10i		480,00	53,33	
NDKZ15i		453,33	80,00	

4.3. Hava Sürükleyici Katkı Kullanım Dozajı

Hava sürükleyici katkıları çimentoya ve agregaya hava boşluklarını sabitleyerek betonun donma çözülme dayanımını arttıran kimyasal katkılardır. Donma çözülme dayanımındaki bu artış beton içerisinde hava boşlukları oluşturularak sağlandığı için hava sürükleyici katkının yüksek oranlarda kullanımı beraberinde bazı dezavantajlar doğurmaktadır. Bu dezavantajların en önemlisi boşluklu bir beton üretildiği için katkılı betonun dayanımındaki azalmadır. Donma çözülmeye karşı dayanıklı bir beton elde ederken betonun istenilen dayanımının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu sebeple hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen betonlarda karışıma girecek katkı oranının doğru yollarla ve dikkatli bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu hususta beton üretiminde hava sürükleyici katkı kullanım dozajı hava ölçme cihazı kullanılarak veya yapılan ön deneylerle belirlenmektedir.

Deneysel çalışmada her seri numunenin üretiminde kullanılan hava sürükleyici katkı kullanım dozajı üretici firmanın tavsiye ettiği %0,03 - %0,15 oranındaki kullanım dozajı sınır değerleri dikkate alınarak yapılan ön deneyler sonucunda belirlenmiş olup, en uygun kullanım dozajının çimento miktarının ağırlıkça %0,1'i oranında olduğu tespit edilmiştir. Hava sürükleyici katkının daha yüksek dozajlarda kullanıldığı durumlarda hazırlanan numunenin kontrol numunesine göre yaklaşık %50 oranında dayanım kaybettiği belirlenmiştir. Bu durumun zeolit kullanılarak üretilen numunelerle yapılacak kıyas konusunda sağlıklı sonuçlar vermeyeceği düşünülmüştür.

$D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli numunelerin 1 m^3 'ü için karışıma girecek malzeme miktarları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli numunelerin 1 m^3 'ü için karışıma girecek malzeme miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	İnce Agregası (kg)	İri Agregası (kg)	H.S.K (kg)
NKB	175	350	704,91	1128,97	0,35

40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli numunelerin 1 m^3 'ü için karışıma girecek malzeme miktarları Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli numunelerin 1 m^3 'ü için karışıma girecek malzeme miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	İnce Agregası (kg)	H.S.K (kg)
NKBi	266,66	533,33	1600	0,53

40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agregası yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli numunelerin 1 m^3 'ü için karışıma girecek malzeme miktarları Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agregası yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli numunelerin 1 m^3 'ü için karışıma girecek malzeme miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Dere Kumu (kg)	H.S.K (kg)
NDKKBi	266,66	533,33	1600	0,53

4.4. Harç ve Beton Numuneleri İçin Karışım Dizaynları

Deneyisel çalışmalar kapsamında kullanılmak üzere farklı boyutlarda zeolit ve agregası kullanılarak hava sürükleyici katkıli ve katkısiz olmak üzere 24 seri harç ve beton numune üretilmiştir. 3 farklı deneyde kullanılmak üzere ve numuneler hazırlanırken yapılacak hataları en aza indirmek amacıyla her seri numuneden 9 adet

üretilmiştir. Deney sonuçları 3 adet numunenin sonuçlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Karışımında ince agrega ve çimentoya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız serilerde karışıma girecek malzeme miktarı TS EN 196-1 standardında belirtilen oranlar ve yapılan literatür araştırması doğrultusunda su, çimento, agrega oranı 0.5, 1, 3 olacak şekilde belirlenmiştir. Karışıma giren zeolit çimento miktarı azaltılarak karışıma ilave edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve çimentoya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız serilerinde karışım oranları ince agrega kullanılarak üretilecek numunelere benzer şekilde, TS EN 196-1 standardında belirtilen oranlar ve yapılan literatür araştırması sonucunda belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda su, çimento, agrega oranı 0.5, 1, 3 olacak şekilde belirlenmiştir. Karışıma giren zeolit, çimento miktarı azaltılarak karışıma ilave edilmiştir.

Karışımında %40 oranında ince ve %60 oranında iri agrega ve agregaya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız serilerin üretiminde karışıma girecek malzeme miktarları TS 802'ye uygun olarak yapılan karışım hesabıyla belirlenmiştir. Karışım hesabı su/çimento oranı 0.5 ve çimento dozajı 350 kg/m^3 olacak şekilde yapılmıştır. Karışıma giren farklı seriler için farklı oranlardaki zeolit, agrega miktarı azaltılarak karışıma ilave edilmiştir.

Numuneler isimlendirilirken karışımında kullanılan agrega cinsi, katkı durumu, numune boyutu, karışıma giren zeolit oranı ve zeolit türü gibi parametreler kullanılmıştır.

Karışımında %40 oranında ince agrega, %60 oranında iri agrega ve farklı oranlarda $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen $150 \times 150 \times 150$ mm boyutundaki; zeolit ikamesiz olarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NB ve NKB kodu ile, %5 oranında $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NZ5 ve NKZ5 kodu ile, %10 oranında $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NZ10 ve NKZ10 kodu ile, %15 oranında $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NZ15 ve NKZ15 kodu ile ifade edilmiştir.

Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki;

Zeolit ikamesiz olarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NBi ve NKBi kodu ile, %5 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NZ5i ve NKZ5i kodu ile, %10 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NZ10i ve NKZ10i kodu ile, %15 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NZ15i ve NKZ15i kodu ile ifade edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki;

Zeolit ikamesiz olarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NDKBi ve NDKKKBi kodu ile, %5 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NDKZ5i ve NDKKZ5i kodu ile, %10 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NDKZ10i ve NDKKZ10i kodu ile, %15 oranında 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkısız/katkılı numuneler NDKZ15i ve NDKKZ15i kodu ile ifade edilmiştir.

Farklı oranlarda ve farklı tane boyutunda zeolit kullanılarak üretilen bütün numuneler için karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Bütün numuneler için karışıma giren malzeme miktarları

Zeolit Türü	Kimyasal Katkı	Numune Kodu	Su (g)	Çimento (g)	Zeolit (g)	İnce Agrega (g)	İri Agrega (g)	Dere Kumu (g)	H.S.K (g)	Numune Boyutları (mm)
D _{max} =10mm Zeolit	Katkısız	NB	590,63	1181,25	0,00	2379,07	3810,27	0,00	0,00	150x150x150
		NZ5			309,47	2255,28	3624,59			
		NZ10			618,93	2131,50	3438,91			
		NZ15			928,40	2007,71	3253,23			
	Hava Sürükleyici Katkılı	NKB	590,63	1181,25	0,00	2379,07	3810,27	0,00	1,18	
		NKZ5			309,47	2255,28	3624,59			
		NKZ10			618,93	2131,50	3438,91			
		NKZ15			928,40	2007,71	3253,23			
40 µ'a kadar öğütülmüş Zeolit	Katkısız	NBi	68,26	136,53	0,00	409,60	0,00	0,00	0,00	40x40x160
		NZ5i		129,70	6,83					
		NZ10i		122,88	13,65					
		NZ15i		116,05	20,48					
	Hava Sürükleyici Katkılı	NKBi	68,26	136,53	0,00	409,60	0,00	0,00	0,14	
		NKZ5i		129,70	6,83					
		NKZ10i		122,88	13,65					
		NKZ15i		116,05	20,48					
	Katkısız	NDKBi	68,26	136,53	0,00	0,00	0,00	409,60	0,00	
		NDKZ5i		129,70	6,83					
		NDKZ10i		122,88	13,65					
		NDKZ15i		116,05	20,48					
	Hava Sürükleyici Katkılı	NDKKBi	68,26	136,53	0,00	0,00	0,00	409,60	0,14	
		NDKKZ5i		129,70	6,83					
		NDKKZ10i		122,88	13,65					
		NDKKZ15i		116,05	20,48					

Hazırlanan her seri numunenin kendi içerisinde belirli bir standarta sahip olması için aynı serideki 9 numune için gerekli malzemeler mikserde aynı anda dökülerek üretim tek seferde gerçekleştirilmiştir. Üretim aşamasında hazırlanan karışımların karıştırma kabında kalarak ya da dökülerek eksilme ihtimaline karşı ve kalıpların

yüzeyine kadar eksiksiz doldurulması amacıyla karışıma giren malzeme miktarları %10 arttırılarak deney yapılmıştır.

Her seriden üretilecek 9 adet numune için karışıma girecek malzeme miktarları %10 arttırılarak Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Her seriden üretilecek 9 adet numune için uygulamada karışıma girecek malzeme miktarı

Zeolit Türü	Kimyasal Katkı	Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Zeolit (kg)	İnce Agregası (kg)	İri Agregası (kg)	Dere Kumu (kg)	H.S.K (g)	Numune Boyutları (mm)
D _{max} =10mm Zeolit	Katkısız	NB	5,85	11,69	0,00	23,55	37,72	0,00	0,00	150x150x150
		NZ5	5,85	11,69	3,06	22,33	35,88	0,00	0,00	
		NZ10	5,85	11,69	6,13	21,10	34,05	0,00	0,00	
		NZ15	5,85	11,69	9,19	19,88	32,21	0,00	0,00	
	Hava Sürükleyici Katkılı	NKB	5,85	11,69	0,00	23,55	37,72	0,00	11,69	
		NKZ5	5,85	11,69	3,06	22,33	35,88	0,00	11,69	
		NKZ10	5,85	11,69	6,13	21,10	34,05	0,00	11,69	
		NKZ15	5,85	11,69	9,19	19,88	32,21	0,00	11,69	
40 µ'a kadar öğütülmüş Zeolit	Katkısız	NBi	0,68	1,35	0,00	4,06	0,00	0,00	0,00	40x40x160
		NZ5i	0,68	1,28	0,07	4,06	0,00	0,00	0,00	
		NZ10i	0,68	1,22	0,14	4,06	0,00	0,00	0,00	
		NZ15i	0,68	1,15	0,20	4,06	0,00	0,00	0,00	
	Hava Sürükleyici Katkılı	NKBi	0,68	1,35	0,00	4,06	0,00	0,00	1,35	
		NKZ5i	0,68	1,28	0,07	4,06	0,00	0,00	1,35	
		NKZ10i	0,68	1,22	0,14	4,06	0,00	0,00	1,35	
		NKZ15i	0,68	1,15	0,20	4,06	0,00	0,00	1,35	
	Katkısız	NDKBi	0,68	1,35	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	
		NDKZ5i	0,68	1,28	0,07	0,00	0,00	4,06	0,00	
		NDKZ10i	0,68	1,22	0,14	0,00	0,00	4,06	0,00	
		NDKZ15i	0,68	1,15	0,20	0,00	0,00	4,06	0,00	
	Hava Sürükleyici Katkılı	NDKKBi	0,68	1,35	0,00	0,00	0,00	4,06	1,35	
		NDKKZ5i	0,68	1,28	0,07	0,00	0,00	4,06	1,35	
		NDKKZ10i	0,68	1,22	0,14	0,00	0,00	4,06	1,35	
		NDKKZ15i	0,68	1,15	0,20	0,00	0,00	4,06	1,35	
Toplam Malzeme			57,59	113,56	36,76 1,62	206,16	279,71	32,44	57,59	(kg)

Harç numunelerinin hazırlanması, uygun ortamda kür edilmesi ve sertleşmiş harç numunelerinde yapılan deneyler TS EN 196-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Belirlenen oranlar doğrultusunda hesaplanan malzeme miktarları hassas terazi kullanılarak ayrı ayrı tartılmıştır. Miksere önce çimento ve su eklenerek bir süre karıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve daha sonra karışıma ince agrega eklenerek toplam karıştırma süresi 3 dakikaya varıncaya kadar karıştırma işlemi devam etmiştir. Karıştırma işlemi bittikten sonra hazırlanan harç daha önceden kalıp yağı ile yağlanan ve sarsma tablası üzerine yerleştirilen 40x40x160 mm boyutundaki 9 adet kalıba her aşama 10 saniye sürecek şekilde 3 aşamada yerleştirilmiştir. Döküm işlemi biten numuneler oda sıcaklığında başka bir odaya kaldırılmış ve 24 saat kalıp içerisinde bekletilmiştir. 24 saatin sonunda hazırlanan numuneler lastik takozlar kullanılarak kalıplardan çıkarılmıştır. Numuneler kalıplardan çıkarılmasının ardından kür süresinin tamamlanması için deneyin yapılacağı güne kadar oda sıcaklığında 7 gün ve 28 gün süreyle kür havuzunda beklemeye bırakılmıştır.

Karışımında çimentoya ağırlıkça farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutunda numunelerin kalıplara yerleştirilmesi Şekil 4.1.' de verilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutunda numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

Çalışmada farklı oranlarda zeolit ve hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin üretim aşaması da kontrol numunesine benzer şekilde devam etmiştir. Su, çimento ve ince agregaya ek olarak karışımdaki çimento miktarı %5, %10, %15 oranlarında azaltılarak azaltılan miktar kadar karışıma zeolit ilave edilmiştir. Hava sürükleyici katkı numuneler için de karışıma çimento ağırlığının %0.1'i kadar hava sürükleyici katkı ilave edilmiştir. Hava sürükleyici katkının karışım içerisinde homojen bir dağılım göstermesi açısından katkı önce karışım suyu içerisine eklenmiş bir süre karıştırıldıktan sonra karışıma ilave edilmiştir. Döküm işlemi tamamlanan numuneler kür süresinin tamamlanması için deneyin yapılacağı güne kadar oda sıcaklığında 7 gün ve 28 gün süreyle kür havuzunda beklemeye bırakılmıştır.

24 saatin sonunda kalıplardan çıkarılan 40x40x160 mm boyutunda numuneler Şekil 4.2.' de verilmiştir.



Şekil 4.2. 24 saatin sonunda kalıplardan çıkarılan 40x40x160 mm boyutunda numuneler

Karışımında ince agregaya yerine dere kumu ve çimentoya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı/katkısız numuneler içinde yukarıdaki işlemler birebir gerçekleştirilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve çimentoya ağırlıkça farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli/katkısız numunelerin bir kısmı Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin bir kısmı

Karışımında ince agrega, ince agrega yerine dere kumu ve çimentoya ağırlıkça %0, %5, %10, %15 oranlarında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli/katkısız numunelerin bir kısmı Şekil 4.4.'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin bir kısmı

24 saat kalıp süresini tamamlayan harç numuneleri TS EN 12390-2 standardına uygun olarak kür havuzuna konulmuştur. 40x40x160 mm boyutunda numunelerin kür havuzundaki genel görüntüsü Şekil 4.5.'te verilmiştir.

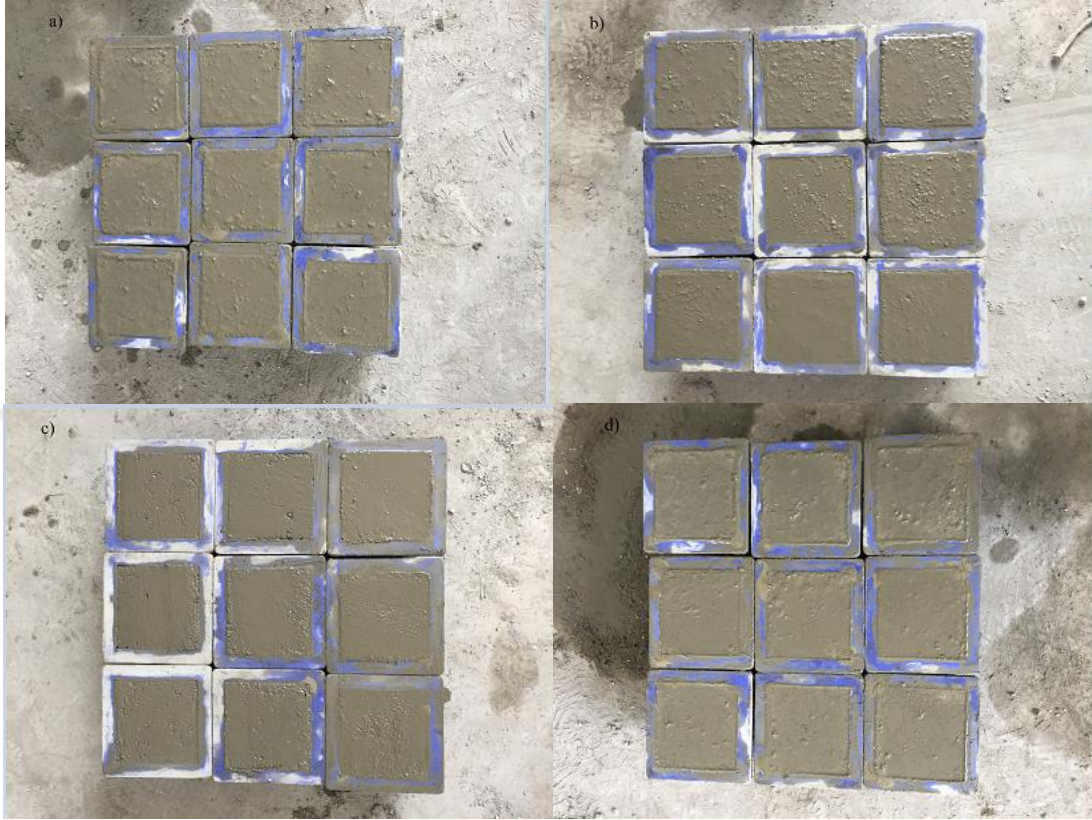


Şekil 4.5. 40x40x160 mm boyutunda numunelerin kür havuzundaki görüntüsü

$D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak 150x150x150 mm boyutunda numuneler üretmek için de karışım hesabı doğrultusunda hesaplanan malzeme miktarları hassas terazi kullanılarak ayrı ayrı tartılmıştır. Miksere önce agrega ve çimento eklenerek bir süre karıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve daha sonra su eklenerek toplam karıştırma süresi 3 dakikaya varıncaya kadar karıştırma işlemi devam etmiştir. Karıştırma işlemi bittikten sonra hazırlanan beton karışımları daha önceden kalıp yağı ile yağlanan TS EN 12390-1 standardına uygun 150x150x150 mm boyutunda 9 adet kalıba yerleştirilmiştir.

Döküm işlemi biten numuneler oda sıcaklığında başka bir odaya kaldırılmış ve 24 saat kalıp içerisinde bekletilmiştir. 24 saatin sonunda hazırlanan numuneler lastik takozlar kullanılarak kalıplardan çıkarılmıştır. Numuneler kalıplardan çıkarılmasının ardından kür süresinin tamamlanması için deneyin yapılacağı güne kadar oda sıcaklığında 7 gün ve 28 gün süreyle kür havuzunda beklemeye bırakılmıştır. Numunelerin kalıba alımı ve kür işlemleri TS EN 12390-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Karışımında agregaya ağırlıkça farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen 150x150x150 mm boyutunda numunelerin kalıplara yerleştirilmesi Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı serilerdeki 150x150x150 mm boyutundaki a)NB kodlu numuneler b)NZ5 kodlu numuneler c)NZ10 kodlu numuneler d)NZ15 kodlu numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

24 Saatin sonunda kalıplardan çıkarılan hava sürükleyici katkısız/katkılı 150x150x150 mm boyutunda numunelerin bir kısmı Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 24 saatin sonunda kalıplardan çıkarılan 150x150x150 mm boyutunda a)NB kodlu numuneler b)NZ5 kodlu numuneler c)NZ10 kodlu numuneler d)NZ15 kodlu numuneler

Çalışmada farklı oranlarda zeolit ve hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin üretim aşaması da kontrol numunesine benzer şekilde devam etmiştir. Su, çimento ve agregaya ek olarak karışımdaki agrega miktarı %5, %10, %15 oranlarında azaltılarak azaltılan miktar kadar karışıma zeolit ilave edilmiştir. Hava sürükleyici katkılı numuneler için de karışıma çimento ağırlığının %0.1'i kadar hava sürükleyici katkı ilave edilmiştir. Hava sürükleyici katkının karışım içerisinde homojen bir dağılım göstermesi açısından katkı önce karışım suyu içine eklenmiş bir süre karıştırıldıktan sonra karışıma ilave edilmiştir. Döküm işlemi tamamlanan numuneler kür süresinin tamamlanması için deneyin yapılacağı güne kadar oda sıcaklığında 7 gün ve 28 gün

süreyle kür havuzunda beklemeye bırakılmıştır. 24 saat kalıp süresini tamamlayan harç numuneleri TS EN 12390-2 standardına uygun olarak kür havuzuna konulmuştur.

150x150x150 mm boyutunda numunelerin kür havuzundaki genel görüntüsü Şekil 4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4.8. 150x150x150 mm boyutunda beton numunelerinin kür havuzundaki görüntüsü

4.5. Sertleşmiş Harç ve Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler

Çalışmada harç ve beton karışımlarında kullanılan zeolit mineralinin hava sürükleyici katkıya göre numunelerin donma çözülme dayanımına etkisini belirlemek amacıyla kür süresini tamamlayan numuneler donma çözülme deneyine, eğilme dayanımı deneyine ve basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

4.5.1. Donma Çözülme Deneyi

Çalışma kapsamında üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 16 farklı seri harç numunesi ve 150x150x150 mm boyutundaki 8 farklı seri beton numunesi 28 günlük kür süresini tamamladıktan sonra tekrarlı donma çözülme deneyine tabi tutulmuştur. Harç ve beton numunelerin üretim aşamasında meydana gelebilecek hataları en aza indirmek

amacıyla her seri numunenin 3 adedi üzerinde donma çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir. Her seri için deney sonuçları bu 3 adet numunenin deney sonuçlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Donma çözülme deneyi ASTM C 666 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Donma çözülme çevrim süreleri standart detayında bulunan A prosedürüne göre çözülme süresi toplam çevrim süresinin %25'i ve toplam çevrim süresi 2-5 saat aralığında olacak şekilde belirlenmiştir. Donma çözülme deneyi toplam çevrim süresi 4 saat olacak şekilde, -18 °C' de 3 saat donma ve +4 °C' de 1 saat çözülme bir çevrim kabul edilerek 50 çevrim uygulanmıştır. Deneyler Konya Teknik Üniversitesi Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin donma esnasındaki görüntüsü Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin donma esnasındaki görüntüsü

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin donma esnasındaki görüntüsü Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin donma esnasındaki görüntüsü

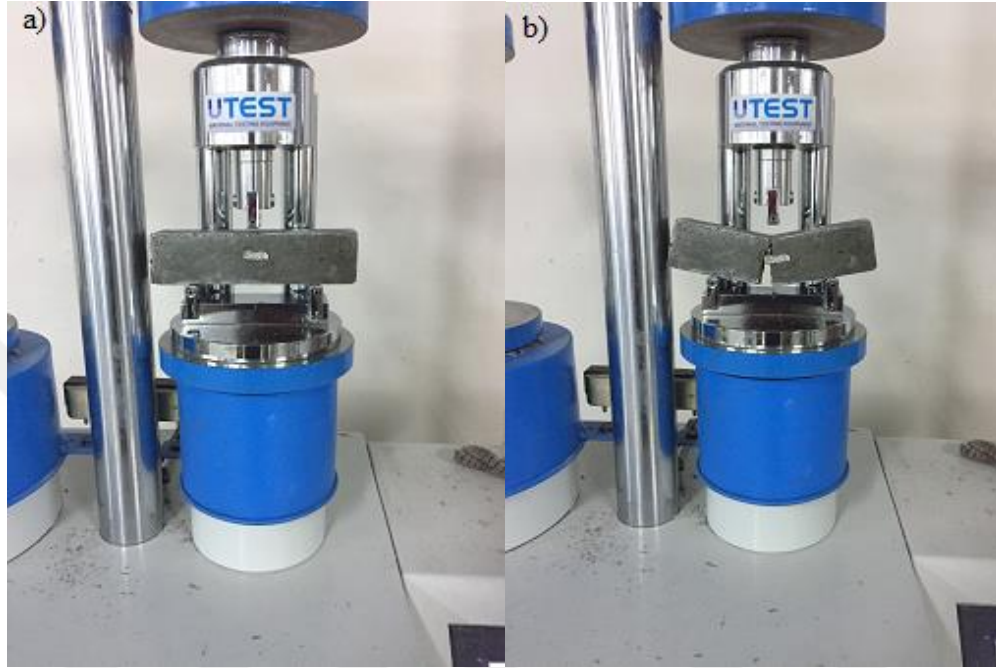
4.5.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

Çalışma kapsamında harç karışımlarında kullanılan farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolitin eğilme dayanımına etkisini incelemek amacıyla üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 16 farklı seri harç numunesi eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Üretim aşamasında yapılabilecek terazi hatalarını veya su kayıplarından kaynaklı hataları en aza indirmek amacıyla her farklı seriden 3 adet harç numunesi eğilme dayanımı deneyinde kullanılmış ve deney sonuçları bu 3 değerın ortalaması alınarak belirlenmiştir. 3 farklı deneyde kullanılmak üzere her seri numuneden 9 adet üretilmiştir.

Numuneler TS EN 196-1 standardına uygun olarak üretilmiş ve deneyin yapılacağı güne kadar uygun ortamda kür edilmiştir. Harç numuneleri üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi TS EN 196-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İnce agrega veya dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki her seri numunenin 3 adedi 7 günlük kür süresinin sonunda, 3 adedi 28 günlük kür süresinin sonunda ve 3 adedi de donma çözülme deneyinden sonra eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Eğilme dayanımı deneyi deney cihazına ortalanarak yerleştirilen

numunelerin ortasına tek noktadan yükleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme hızı 40 N/sn olarak tanımlanmıştır.

40x40x160 mm boyutunda numunelerin eğilme dayanımı deneyinde kullanılan test cihazı Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. 40x40x160 mm boyutunda numunelerin a) eğilme dayanımı deney aparatına yerleştirilmesi b) eğilme dayanımı deneyine tabi tutulması

Numunelerin eğilme dayanımları, test cihazından okunan numune kırılma yükleri (4.1) numaralı denklem de kullanılarak da hesaplanabilir.

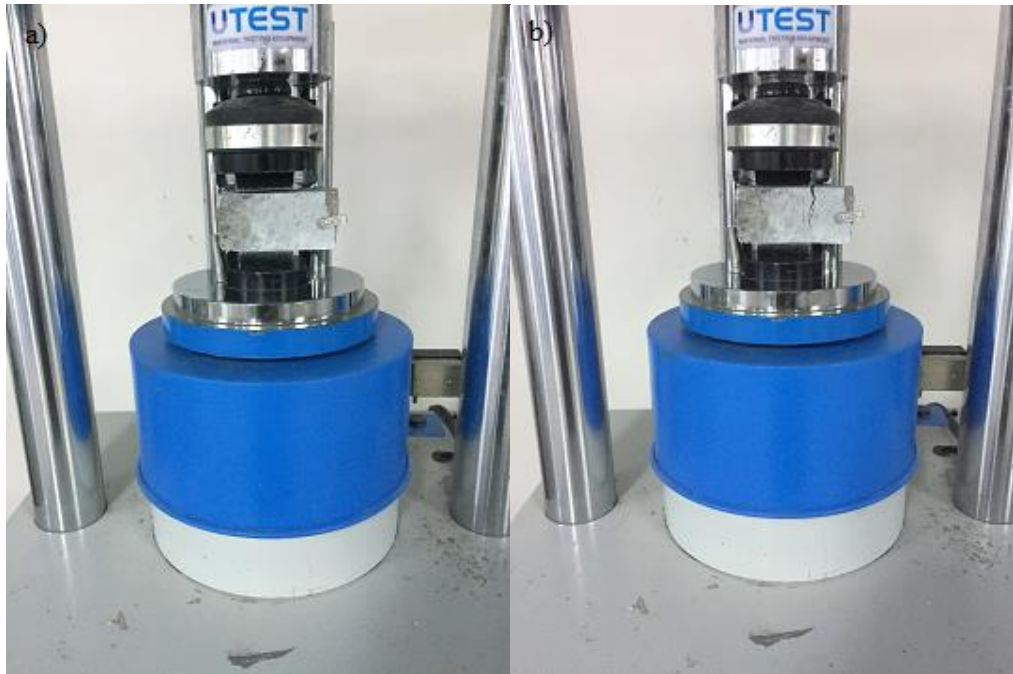
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\frac{P \cdot L}{4}}{\frac{b \times h^2}{6}} \quad (4.1)$$

4.5.3. Basınç Dayanımı Deneyi

Çalışma kapsamında harç ve beton karışımlarında farklı oranlarda ve farklı tane boyutlarında zeolit kullanımının basınç dayanımına etkisi araştırılmış, bu amaçla karışım içerisinde 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak harç ve beton numuneler üretilmiştir.

Deneyisel çalışmada farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerde agreganın donma çözülme dayanımına etkisinin araştırılması amacıyla karışımda ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak toplamda 16 farklı seri harç numunesi üretilmiştir. Üretim aşamasında yapılabilecek terazi hatalarını veya su kayıplarından kaynaklı hataları en aza indirmek amacıyla her farklı seriden 3 adet harç numunesi basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve deney sonuçları bu 3 değerın ortalaması alınarak belirlenmiştir. 3 farklı deneyde kullanılmak üzere her seriden 9 adet numune üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin 3 adeti 7 günlük kür süresinin sonunda, 3 adeti 28 günlük kür süresinin sonunda ve 3 adeti de donma çözülme deneyinden sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı deneyinde eğilme dayanımı deneyi sonrasında harç numunelerinden kopan parçalar kullanılmıştır ve deney TS EN 196-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Kopan parçalar 40x40 mm' lik basınç dayanımı deney aparatının arasına yerleştirilerek sabit yükleme hızı ile deney gerçekleştirilmiştir. Yükleme hızı 2500 N/sn olarak tanımlanmıştır.

40x40x160 mm boyutunda numunelerin basınç dayanımı deneyinde kullanılan test cihazı Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. 40x40x160 mm boyutunda numunelerin a) basınç dayanımı deney aparatına yerleştirilmesi b) basınç dayanımı deneyine tabi tutulması

Deneyel çalışmada farklı oranlarda $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen 150x150x150 mm boyutundaki 8 farklı seri beton numunesi üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Üretim aşamasında yapılabilecek terazi hatalarını veya su kayıplarından kaynaklı hataları en aza indirmek amacıyla her farklı seriden 3 adet harç numunesi basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve deney sonuçları bu 3 değerın ortalaması alınarak belirlenmiştir. 3 farklı deneyde kullanılmak üzere her seriden 9 adet numune üretilmiştir.

Hazırlanan numunelerin 3 adeti 7 günlük kür süresinin sonunda, 3 adeti 28 günlük kür süresinin sonunda ve 3 adeti de donma çözülme deneyinden sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yükleme hızı 0,4 MPa/sn olarak tanımlanmıştır.

150x150x150 mm boyutunda numunelerin basınç dayanımı deneyinde kullanılan test cihazı Şekil 4.13.'te verilmiştir.



Şekil 4.13. 150x150x150 mm boyutunda numunelerin basınç dayanımı deneyinde kullanılan test cihazı

Numunelerin basınç dayanımları, test cihazından okunan numune kırılma yükleri (4.2) numaralı denklem de kullanılarak da hesaplanabilir.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

(4.2)

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışma kapsamında yapılan çalışmalara ait sonuçlar ve yorumlar bu bölümde incelenecektir.

5.1. Harç ve Beton Karışım Dizayn Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmada $D_{max}=10$ mm zeolit ve 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit karışım içerisinde %5, %10, %15 oranlarında kullanılarak $150 \times 150 \times 150$ mm ve $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarında hava sürükleyici katkılı/katkısız beton ve harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler bazı mekanik deneylere tabi tutulmuştur.

Zeolit boşluklu yapıya sahip doğal bir mineraldir. Yapılan çalışmada bu boşluklu yapının donma çözülme dayanımına katkı sağlayıp sağlamayacağı araştırılmıştır. Çalışmanın en başında yapılan literatür araştırması sonuçlarında zeolit boşluklu yapısının üretilen numunelerde birim hacim ağırlığı azalttığı, poroziteyi ve su emmeyi arttırdığı görülmüştür. Harç ve beton numunelerin üretiminde harçların hazırlanıp kalıplara yerleştirilmesi aşamasında da yapılan literatür araştırmasında elde edilen verilere benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen numunelerle 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numuneler kendi içerisinde, 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ince agregalı numunelerle yine 40μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen dere kumlu numuneler kendi içerisinde ve hava sürükleyici katkılı/katkısız olarak üretilen aynı serilerdeki numuneler kendi içerisinde kıyaslanmıştır.

Karışım içerisinde zeolit kullanımına bağlı olarak bütün serilerdeki numunelerin su emmesinde gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Harç ve beton numunelerinde zeolit kullanılmadan üretilen kontrol numunesi harcı standart bir harç kıvamındayken karışımlarda kullanılan $D_{max}=10$ mm zeolit miktarının artışına bağlı olarak daha yoğun kıvamda harçlar elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde kıvam konusunda herhangi bir deney yapılmamış olup bu yorumlar kalıplama aşamasındaki gözlemler sonucunda yapılmıştır. Bütün beton karışımlarında su/çimento oranı sabit tutulmasına rağmen zeolit kullanımına bağlı olarak daha yoğun kıvamda harçlar elde edilmiştir. Karışımda $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde de katkısız numunelere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Zeolit kullanımına

bağlı olarak üretilen harçların daha yoğun kıvamlarda olduğu tespit edilmiştir. Hava sürükleyici katkı ve katkısız numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında ise karışım içerisinde hava sürükleyici katkı kullanımının numunelerin işlenebilirliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Hava sürükleyici katkı ve katkısız olarak üretilen numuneler arasında gözle görülür kıvam farklılıkları gözlemlenmiştir.

Karışım içerisinde $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen numunelerle 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numuneler kıyaslandığında ise içerisinde $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen numuneler 150x150x150 mm boyutunda, 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numuneler 40x40x160 mm boyutunda üretildiği için 150x150x150 mm boyutunda üretilen numunelerde ağırlık bakımından daha fazla miktarda zeolit bulunmaktadır. Harç ve beton karışımlarındaki malzeme oranları farklılık gösterse de su/çimento oranı bütün karışımlarda 0.5 olarak sabit tutulmuştur. Hazırlanan harçlar kıvam açısından değerlendirildiğinde yine zeolit kullanımına benzer şekilde numune boyutlarının artışı oranında karışım içerisindeki zeolit miktarının artışı daha yoğun kıvamlı harç karışımları elde edilmesini sağlamış buna bağlı olarak da harçların kalıplara yerleştirilmesi zorlaşmıştır.

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak ince agrega ile üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerde de zeolit kullanımına bağlı olarak en yoğun kıvamda harç %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen NZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir. Zeolit ikamesiz olarak üretilen kontrol numuneleri standart bir harç kıvamındayken zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin su emme değerlerinde gözle görülür bir artış meydana gelmiş ve daha yoğun kıvamda harçlar elde edilmiştir. Hava sürükleyici katkı olarak üretilen aynı seri numunelerde de kıvam açısından benzer sonuçlar gözlenmiştir. Karışımda aynı oranlarda malzeme kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli/katkısız numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında katkısız olarak üretilen numunelerde hava sürükleyici katkıli numunelere göre daha yoğun kıvamda harçlar elde edilmiştir. Bunun sebebi karışım içerisinde kullanılan hava sürükleyici katkının betonun işlenebilirliği arttırmasıdır.

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerde de en yoğun kıvamda harçlar %10 oranında zeolit kullanılarak üretilen NDKZ10i kodlu numunelerde ve %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen NDKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir. Zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin su emmelerinde artış meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak da daha yoğun kıvamda harçlar elde edilmiştir.

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen aynı seri numunelerinde harç kıvamlarında benzer sonuçlar gözlenmiştir.

Karışımında aynı oranlarda malzeme kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli/katkısız numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında katkısız olarak üretilen numunelerde hava sürükleyici katkıli numunelere göre daha yoğun kıvamda harçlar elde edilmiştir. Bunun da sebebi yine karışım içerisinde kimyasal katkı kullanımının işlenebilirliği arttırmasıdır.

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 µ'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agregaya kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerle 40 µ'a kadar öğütülmüş öğütülmüş zeolit ve ince agregaya yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin üretim aşamasında gözle görülür kıvam farklılıkları tespit edilmiştir. İnce agregaya tane çapı 0 – 4 mm aralığında olan kum ve kırma kumlardır. İnce agregaya yapısında dere kumuna göre daha fazla ince malzeme barındırır. Başlangıçta ince agregaya benzer yapıda olan dere kumunun yıkanma işleminde bu ince taneler büyük ölçüde kaybolur. Bu da ince agreganın su emmesinin dere kumuna göre daha fazla oranda olmasına sebep olur. Yapılan çalışmada karışım içerisinde öğütülmüş zeolit ve ince agregaya kullanılarak üretilen numunelerde öğütülmüş zeolit ve ince agregaya yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelere göre daha yoğun kıvamda harçlar üretildiği gözlenmiştir.

5.2. Sertleşmiş Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Çalışmada 40 µ'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkıli ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki 16 seri numunenin her 3 adeti eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve deney sonuçları bu 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	7 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	3,418	3,048	3,365
NZ5i	3,454	3,327	3,332
NZ10i	2,710	2,897	2,970
NZ15i	2,561	2,880	2,728
NKBi	2,801	3,134	2,661
NKZ5i	3,174	3,116	3,147
NKZ10i	2,981	2,489	2,766
NKZ15i	2,243	2,221	2,314
NDKBi	2,596	2,479	2,518
NDKZ5i	2,365	2,573	2,203
NDKZ10i	2,331	2,075	2,496
NDKZ15i	2,261	2,048	2,250
NDKKBi	2,294	2,542	2,562
NDKKZ5i	2,124	2,331	2,388
NDKKZ10i	2,003	2,073	2,016
NDKKZ15i	1,508	1,944	1,835

7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. 7gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

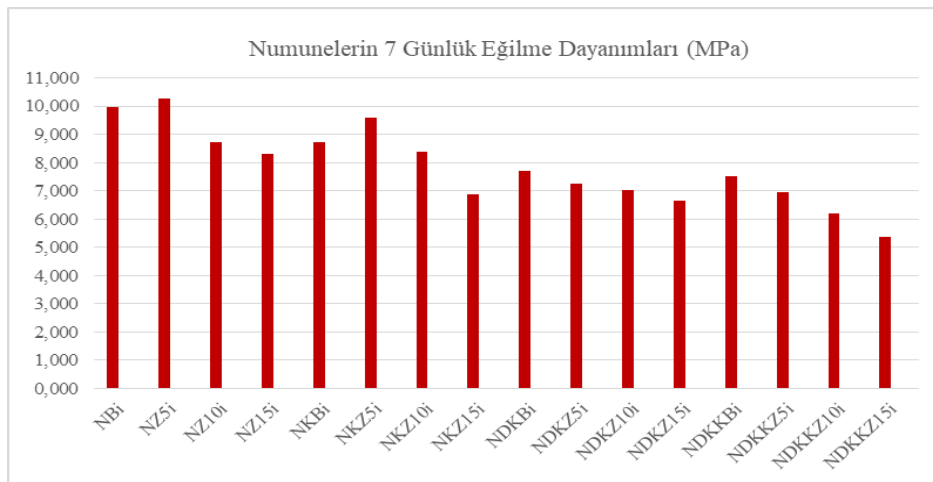
Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)		
	7 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	10,414	9,287	10,253
NZ5i	10,524	10,137	10,152
NZ10i	8,257	8,827	9,049
NZ15i	7,803	8,775	8,312
NKBi	8,534	9,549	8,108
NKZ5i	9,671	9,494	9,589
NKZ10i	9,083	7,584	8,428
NKZ15i	6,834	6,767	7,050
NDKBi	7,910	7,554	7,672
NDKZ5i	7,206	7,840	6,712
NDKZ10i	7,102	6,322	7,605
NDKZ15i	6,889	6,240	6,855
NDKKBi	6,991	7,745	7,805
NDKKZ5i	6,472	7,103	7,276
NDKKZ10i	6,103	6,316	6,143
NDKKZ15i	4,595	5,923	5,591

7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.3.'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)
	7 günlük Ortalama
NBi	9,985
NZ5i	10,271
NZ10i	8,711
NZ15i	8,297
NKBi	8,730
NKZ5i	9,584
NKZ10i	8,365
NKZ15i	6,884
NDKBi	7,712
NDKZ5i	7,253
NDKZ10i	7,010
NDKZ15i	6,661
NDKKBi	7,514
NDKKZ5i	6,950
NDKKZ10i	6,187
NDKKZ15i	5,370

Karışımında ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkıli/katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki hava sürükleyici katkıli ve katkısız numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

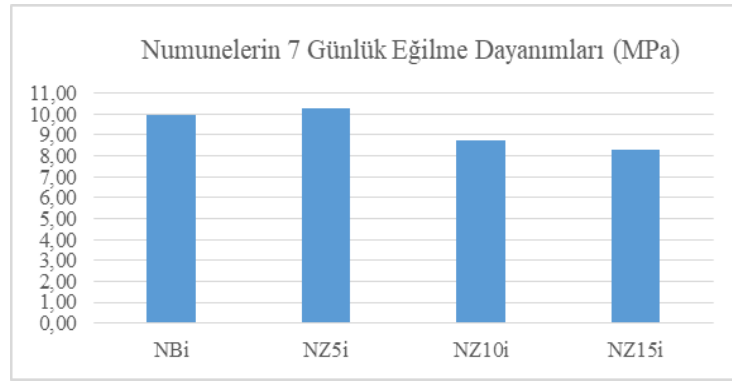
Üretilen farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.4.'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Farklı serilerdeki numunelerin eğilme dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları Ortalaması (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NBi	9,985	100,00	0,00
NZ5i	10,271	102,87	2,87
NZ10i	8,711	87,24	-12,76
NZ15i	8,297	83,09	-16,91
NKBi	8,730	87,44	-12,56
NKZ5i	9,584	95,99	-4,01
NKZ10i	8,365	83,78	-16,22
NKZ15i	6,884	68,95	-31,05
NDKBi	7,712	77,24	-22,76
NDKZ5i	7,253	72,64	-27,36
NDKZ10i	7,010	70,21	-29,79
NDKZ15i	6,661	66,72	-33,28
NDKKBi	7,514	75,25	-24,75
NDKKZ5i	6,950	69,61	-30,39
NDKKZ10i	6,187	61,97	-38,03
NDKKZ15i	5,370	53,78	-46,22

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen harç numuneleri üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde karışım içerisinde ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerde %5 oranında zeolit kullanımının eğilme dayanımını iyileştirdiği görülmüştür.

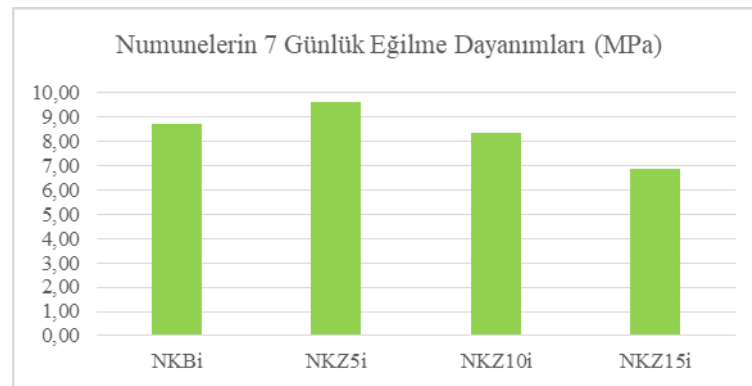
Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Karışım içerisinde ince agrega kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışımda %5 oranında öğütülmüş zeolit kullanılması numunelerin eğilme dayanımlarını iyileştirmiştir. NZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %2,87 oranında daha yüksek çıkmıştır. Daha yüksek oranlarda karışımdaki zeolit miktarının artışına bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. NBi kodlu kontrol numunelerine göre, NZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı %12,76 oranında ve NZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı %16,91 oranında azalmıştır. En yüksek dayanım değeri 10,271 MPa ile NZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 8,297 MPa ile NZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.3.'te verilmiştir.

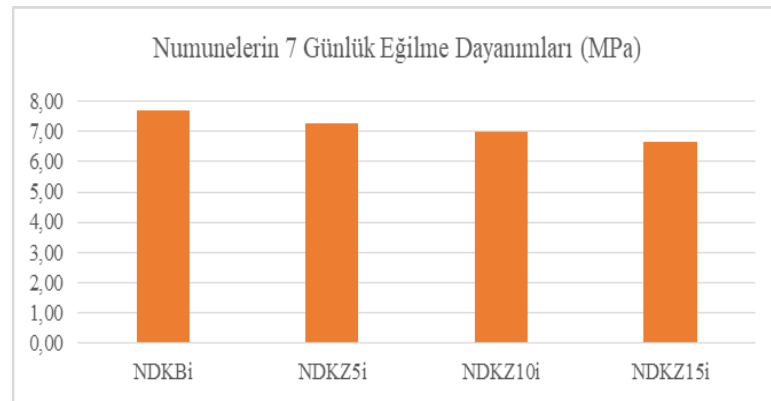


Şekil 5.3. 7 gün kür uygulanan hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışımda kullanılan %0,1 oranındaki hava sürükleyici katkının numunelerin içerisinde oluşturduğu hava boşlukları neticesinde eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Zeolit ikamesiz olarak üretilen hava sürükleyici katkıli NKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %12,56 oranında azalmıştır. NKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelere göre %4,01 oranında, NKZ10i kodlu numunelerde %16,22 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerde %31,05 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %9,78 oranında artmıştır. Karışımda %15 oranında zeolit kullanılması numunelerin eğilme dayanımını ciddi oranda etkilemiştir. NKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %4,19 oranında azalırken NKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %21,15 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin içerisinde en yüksek dayanım değeri 9,584 MPa ile NKZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 6,884 MPa ile NKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.4.'te verilmiştir.



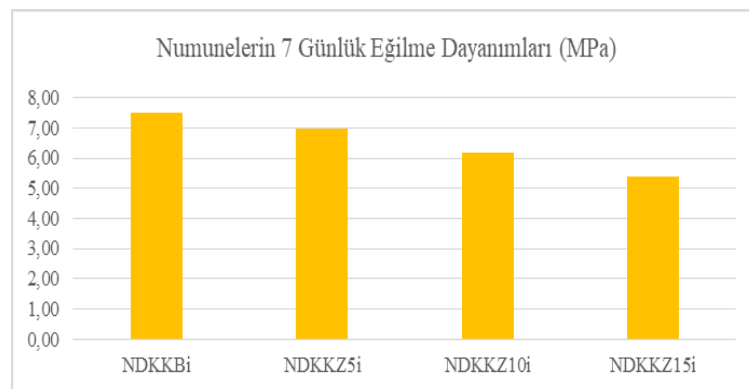
Şekil 5.4. 7 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumunun yapısında çok ince taneli malzemeler bulundurmaması ince agrega kullanılarak üretilen numunelere göre daha düşük eğilme dayanımları elde edilmesine sebep olmuştur. Dere kumu kullanılarak üretilen NDKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelere göre %22,76 oranında azalmıştır. NDKZ5i kodlu numunelerde bu azalış %27,36 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerde %29,79 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerde %33,28 oranında olmuştur.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %5,96 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %9,10 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %13,62 oranında azalmıştır.

Genel itibariyle dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde harç karışımında %0, %5 ve %10 oranında zeolit kullanımı sonucunda birbirine yakın eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değeri 7,712 MPa ile NDKBi kodlu numunelerde, en düşük eğilme dayanımı değeri 6,661 MPa ile NDKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.5.'te verilmiştir.



Şekil 5.5. 7 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumunun yapısında ince taneli malzemeler barındırmaması ve hava sürükleyici katkının harç numunelerinin içerisinde hava boşlukları oluşturması numunelerin eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Dere kumu ve hava sürükleyici katkılı olarak üretilen NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %24,75 oranında azalmıştır. Bu azalmayı sırasıyla %30,39'luk oran ile NDKKZ5i kodlu numuneler, %38,03'lük oran ile NDKKZ10i kodlu numuneler ve %46,22'lik oran ile NDKKZ15i kodlu numuneler takip etmiştir. Katkısız olarak üretilen dere kumlu NDKBi kodlu numuneler ile katkılı olarak üretilen dere kumlu NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımları birbirine yakın değerler çıkmıştır.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %7,50 oranında, NDKKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %17,65 oranında ve NDKKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %28,54 oranında azalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değeri 7,514 MPa ile NDKKBi kodlu numunelerde, en düşük eğilme dayanımı değeri 5,370 MPa ile NDKKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibariyle üretilen bütün serilerdeki numunelerin agrega türü ve hava sürükleyici katkı parametrelerine göre eğilme dayanımları değerlendirildiğinde en yüksek eğilme dayanımı 9,985 MPa ile NBi kodlu numunelerde elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 8,730 MPa ile NKBi kodlu numuneler, 7,712 MPa ile NDKBi kodlu numuneler ve 7,514 MPa ile NDKKBi kodlu numuneler izlemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde katkı kullanımına bağlı olarak NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %2,57 oranında azalmıştır.

Karışımında farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde %5 oranında zeolit kullanımının ince agrega ile üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin eğilme dayanımını iyileştirdiği görülmüştür. Dere kumu ile üretilen numunelerde hava sürükleyici katkının olumsuz etkisi ortadan kalkmış, zeolit ikamesiz olarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve

katkısız numunelerin eğilme dayanımları birbirine yakın sonuçlar sergilemiştir. Diğer serilerde hava sürükleyici katkı ve zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir.

28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	28 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	4,228	3,877	3,801
NZ5i	4,563	4,317	4,292
NZ10i	3,444	3,725	2,966
NZ15i	3,484	3,854	3,906
NKBi	3,609	3,508	3,141
NKZ5i	3,729	3,542	3,720
NKZ10i	2,912	3,044	3,252
NKZ15i	2,958	2,520	2,792
NDKBi	3,608	3,393	3,646
NDKZ5i	3,038	3,102	3,238
NDKZ10i	3,263	2,910	3,025
NDKZ15i	3,004	3,265	3,100
NDKKBi	3,010	2,924	2,728
NDKKZ5i	2,952	2,553	2,773
NDKKZ10i	2,605	2,677	2,601
NDKKZ15i	2,566	2,408	2,268

28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

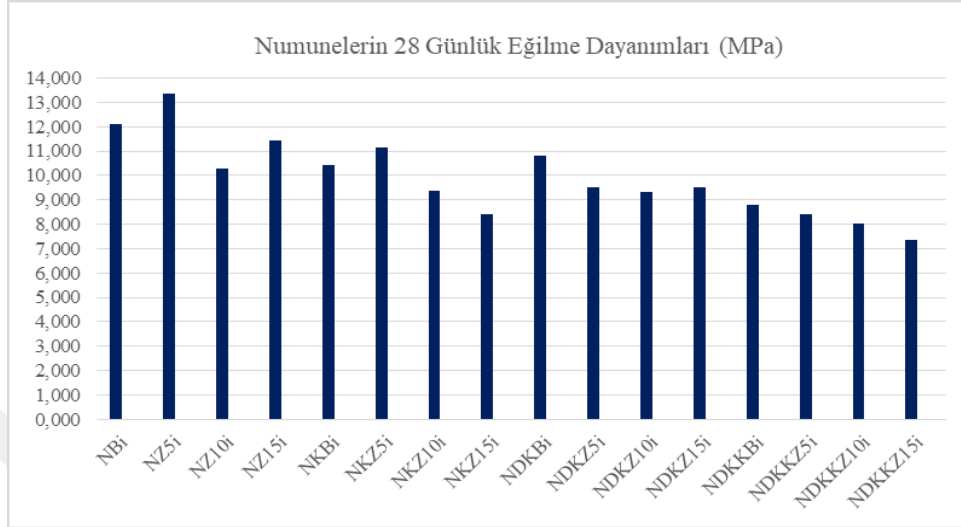
Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)		
	28 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	12,882	11,813	11,581
NZ5i	13,903	13,153	13,077
NZ10i	10,493	11,350	9,037
NZ15i	10,615	11,743	11,901
NKBi	10,996	10,688	9,570
NKZ5i	11,363	10,792	11,334
NKZ10i	8,872	9,274	9,909
NKZ15i	9,012	7,677	8,506
NDKBi	10,994	10,338	11,109
NDKZ5i	9,256	9,451	9,866
NDKZ10i	9,942	8,866	9,217
NDKZ15i	9,153	9,948	9,445
NDKKBi	9,170	8,909	8,312
NDKKZ5i	8,993	7,778	8,448
NDKKZ10i	7,937	8,156	7,925
NDKKZ15i	7,818	7,337	6,910

28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)
	28 günlük
	Ortalama
NBi	12,092
NZ5i	13,378
NZ10i	10,293
NZ15i	11,420
NKBi	10,418
NKZ5i	11,163
NKZ10i	9,352
NKZ15i	8,398
NDKBi	10,814
NDKZ5i	9,525
NDKZ10i	9,342
NDKZ15i	9,515
NDKKBi	8,797
NDKKZ5i	8,406
NDKKZ10i	8,006
NDKKZ15i	7,355

Karışımda ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkılı/katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.6. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.8.'de verilmiştir.

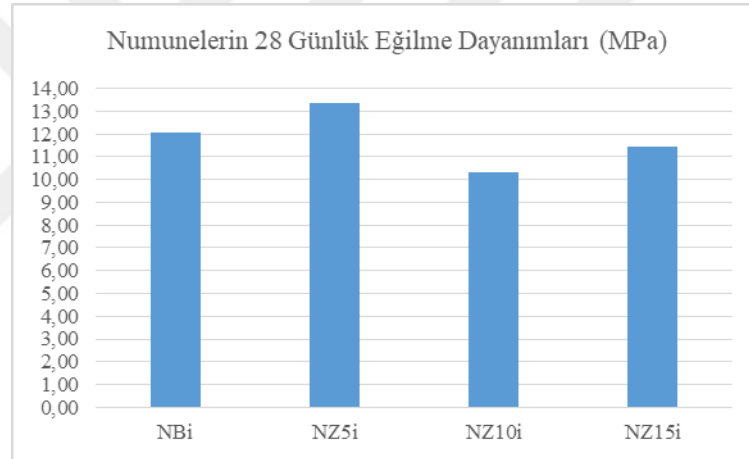
Çizelge 5.8. Farklı serilerdeki numunelerin eğilme dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları Ortalaması (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NBi	12,092	100,00	0,00
NZ5i	13,378	110,63	10,63
NZ10i	10,293	85,13	-14,87
NZ15i	11,420	94,44	-5,56
NKBi	10,418	86,16	-13,84
NKZ5i	11,163	92,32	-7,68
NKZ10i	9,352	77,34	-22,66
NKZ15i	8,398	69,45	-30,55
NDKBi	10,814	89,43	-10,57
NDKZ5i	9,525	78,77	-21,23
NDKZ10i	9,342	77,26	-22,74
NDKZ15i	9,515	78,69	-21,31
NDKKBi	8,797	72,75	-27,25
NDKKZ5i	8,406	69,52	-30,48
NDKKZ10i	8,006	66,21	-33,79
NDKKZ15i	7,355	60,83	-39,17

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen harç numuneleri üzerinde yapılan 28 günlük eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde %5 oranında öğütülmüş zeolit kullanılan hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin eğilme dayanımının kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer serilerde hava sürükleyici katkı ve zeolit kullanımına bağlı olarak harç numunelerinin eğilme dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir.

Genel itibariyle bütün numunelerde 7 günlük eğilme dayanımlarına paralel sonuçlar elde edilmiştir.

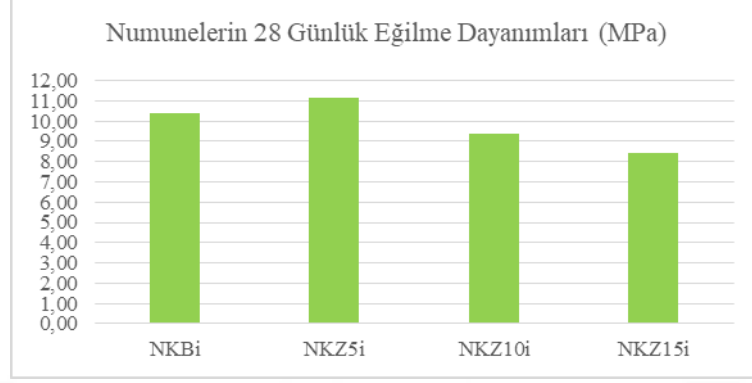
Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Karışım içerisinde ince agrega ve %5 oranında öğütülmüş zeolit kullanılması NZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımını NBi kodlu kontrol numunelerine göre %10,63 oranında iyileştirmiştir. Daha yüksek oranlarda kontrol numunesine göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Karışımında kullanılan öğütülmüş zeolitin NZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımını %14,87 oranında ve NZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımını %5,56 oranında azalttığı görülmüştür. Karışımında %15 oranında zeolit kullanılması numunelerin eğilme dayanımını olumlu yönde etkilemiş ve NZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NZ10i kodlu numunelere göre %10,94 oranında artmıştır. En yüksek dayanım değeri 13,378 MPa ile NZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 10,293 MPa ile NZ10i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.8.'de verilmiştir.

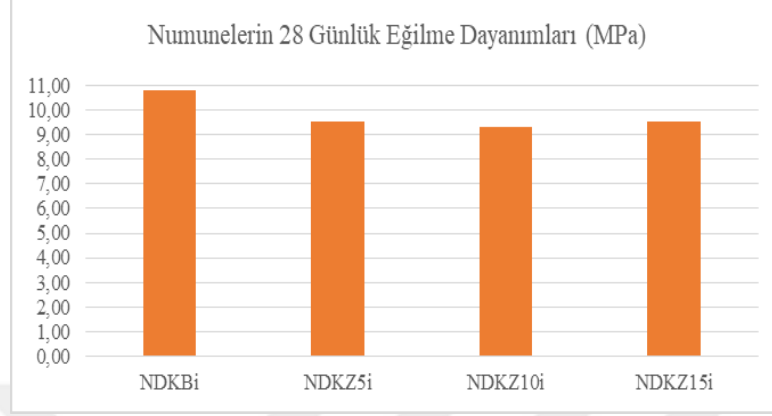


Şekil 5.8. 28 gün kür uygulanan hava sürükleyici katkıli 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde kullanılan hava sürükleyici katkı numunelerin eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Karışımında %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %13,84 oranında azalmıştır. NKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelere göre %7,68 oranında, NKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelere göre %22,66 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelere göre %30,55 oranında azalmıştır.

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %7,15 oranında artmıştır. NKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %10,24 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %19,39 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin içerisinde en yüksek dayanım değeri 11,163 MPa ile NKZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 8,398 MPa ile NKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.9.'da verilmiştir.

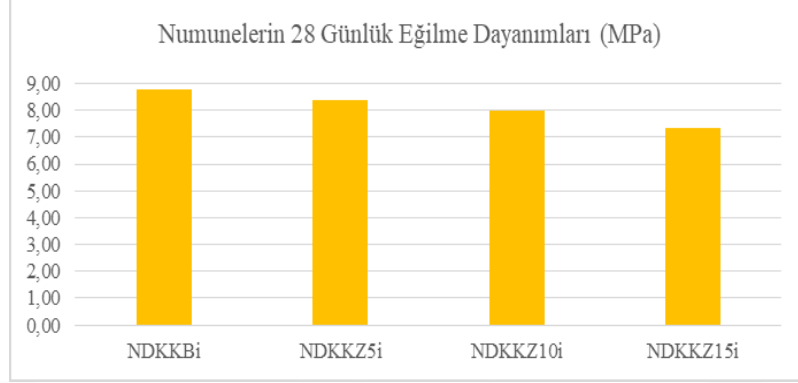


Şekil 5.9. 28 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumunun yapısında ince taneli malzemeler bulundurmaması numunelerin eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. İnce agrega ile üretilen serilere göre daha düşük dayanımlar elde edilmiştir. Zeolit ikamesiz olarak üretilen NDKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %10,57 oranında azalmıştır. NDKZ5i kodlu numunelerde bu azalış %21,23 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerde %22,74 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerde %21,31 oranında olmuştur.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %11,92 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %13,61 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %12,01 oranında azalmıştır. Karışımında %15 oranında zeolit kullanımı numunelerin eğilme dayanımını iyileştirmiş, NDKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKZ10i kodlu numunelere göre %1,86 oranında artmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değeri 10,814 MPa ile NDKBi kodlu numunelerde, en düşük eğilme dayanımı değeri 9,342 MPa ile NDKZ10i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. 28 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumu ve hava sürükleyici katkının birlikte kullanılması numunelerin eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Dere kumu ve hava sürükleyici katkı olarak üretilen NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %27,25 oranında azalmıştır. Bu azalmayı sırasıyla %30,48'lik oran ile NDKKZ5i kodlu numuneler, %33,79'lük oran ile NDKKZ10i kodlu numuneler ve %39,17'lik oran ile NDKKZ15i kodlu numuneler izlemiştir.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %4,44 oranında, NDKKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %8,99 oranında ve NDKKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %16,39 oranında azalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değeri 8,797 MPa ile NDKKBi kodlu numunelerde, en düşük eğilme dayanımı değeri 7,355 MPa ile NDKKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibarıyla üretilen bütün serilerdeki numunelerin eğilme dayanımları agrega türü ve hava sürükleyici katkı parametrelerine göre değerlendirildiğinde en yüksek eğilme dayanımı 12,092 MPa ile NBi kodlu numunelerde elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 10,814 MPa ile NDKBi kodlu numuneler, 10,418 MPa ile NKBi kodlu

numuneler ve 8,797 MPa ile NDKKBi kodlu numuneler izlemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde katkı kullanımına bağlı olarak NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %18,65 oranında azalmıştır.

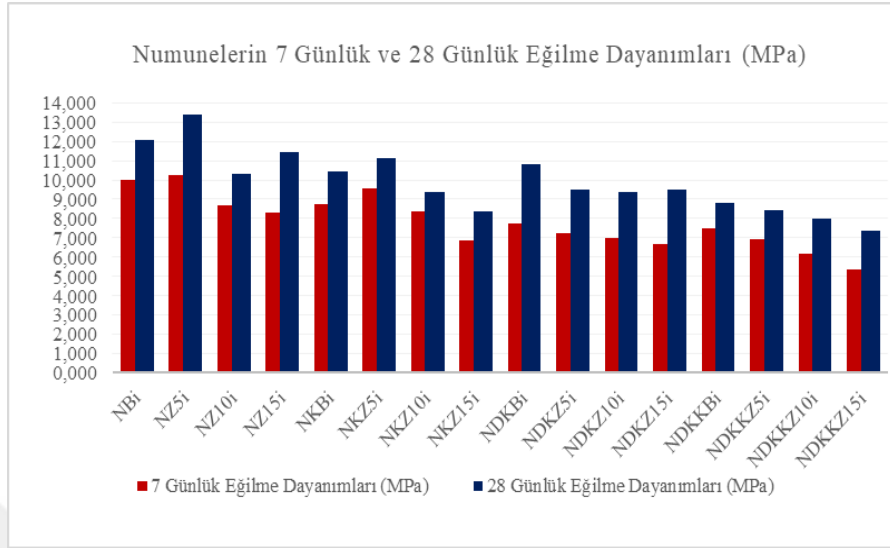
Karışımında farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde %5 oranında öğütülmüş zeolit kullanılan hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin eğilme dayanımının kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yine katkısız olarak üretilen ince agrega ve dere kumlu numunelerde %15 oranında zeolit kullanımı %10 oranında zeolit kullanılan numunelere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer serilerde hava sürükleyici katkı ve zeolit kullanımına bağlı olarak harç numunelerinin eğilme dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. Genel itibariyle bütün numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları, 7 günlük eğilme dayanımlarına paralel sonuçlar sergilemiştir.

7 gün ve 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları ve arasındaki ilişkiler Çizelge 5.9.'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımları arasındaki ilişkiler

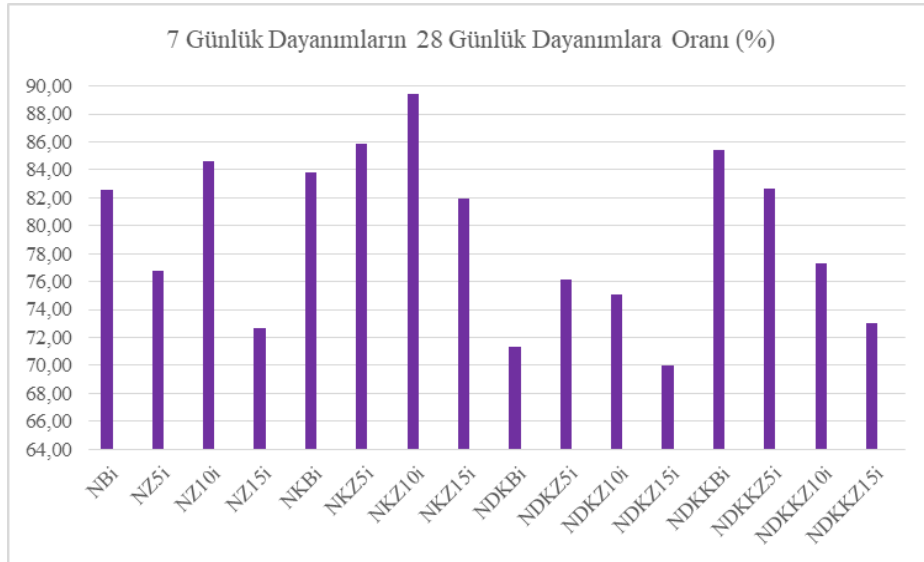
Numune Kodu	7 Günlük Eğilme Dayanımları Ortalaması (MPa)	28 Günlük Eğilme Dayanımları Ortalaması (MPa)	7 Günlük Dayanımların 28 Günlük Dayanımlara Oranı (%)
NBi	9,985	12,092	82,57
NZ5i	10,271	13,378	76,78
NZ10i	8,711	10,293	84,63
NZ15i	8,297	11,420	72,65
NKBi	8,730	10,418	83,80
NKZ5i	9,584	11,163	85,86
NKZ10i	8,365	9,352	89,45
NKZ15i	6,884	8,398	81,97
NDKBi	7,712	10,814	71,32
NDKZ5i	7,253	9,525	76,15
NDKZ10i	7,010	9,342	75,04
NDKZ15i	6,661	9,515	70,01
NDKKBi	7,514	8,797	85,41
NDKKZ5i	6,950	8,406	82,68
NDKKZ10i	6,187	8,006	77,28
NDKKZ15i	5,370	7,355	73,00

7 gün ve 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımları

7 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımlarının 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımlarına oranı Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımları oranı

Farklı oranlarda ögütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 7 günlük ve 28 günlük eğilme dayanımları arasındaki ilişkiler incelendiğinde; dere kumu ile üretilen hava sürükleyici katkı numunelerin eğilme dayanımındaki artış oranı zeolit kullanımına bağlı olarak artış göstermiştir.

Karışımında %10 oranında zeolit kullanılan NKZ10i kodlu numunelere kadar ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı numunelerin eğilme dayanımlarındaki artış oranı zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır. Diğer numunelerin eğilme dayanımları arasında agrega türü, katkı durumu veya zeolit oranı gibi parametrelere bağlı olarak herhangi bir bağıntı kurulamamıştır. En yüksek dayanım artışı %42,84 oranında NDKZ15i kodlu numunelerde, en düşük dayanım artışı %11,80 oranında NKZ10i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibariyle karışım içerisinde ögütülmüş zeolit kullanılarak üretilen betonların kabul edilebilir dayanım değerlerinde olduğu görülmüştür.

Harç karışımlarında kullanılan ögütülmüş zeolit boşluklu yapısını kaybederek karışımında bağlayıcı görevi üstlenmiş, buna bağlı olarak da numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları yüksek değerler elde edilmiştir.

5.3. Sertleşmiş Harç ve Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Basınç Dayanımı

Deneyi Sonuçları

Çalışmada $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı ve katkısız olarak üretilen 150x150x150 mm boyutlarındaki 8 seri numunenin 3 adeti üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi sonuçları bu 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.10.'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. 7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	7 günlük		
	1.	2.	3.
NB	733,00	775,00	737,00
NZ5	608,00	665,00	605,00
NZ10	517,00	531,00	518,00
NZ15	468,00	489,00	488,00
NKB	563,00	605,00	632,00
NKZ5	524,00	502,00	500,00
NKZ10	437,00	484,00	476,00
NKZ15	370,00	383,00	396,00

7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.11.'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. 7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

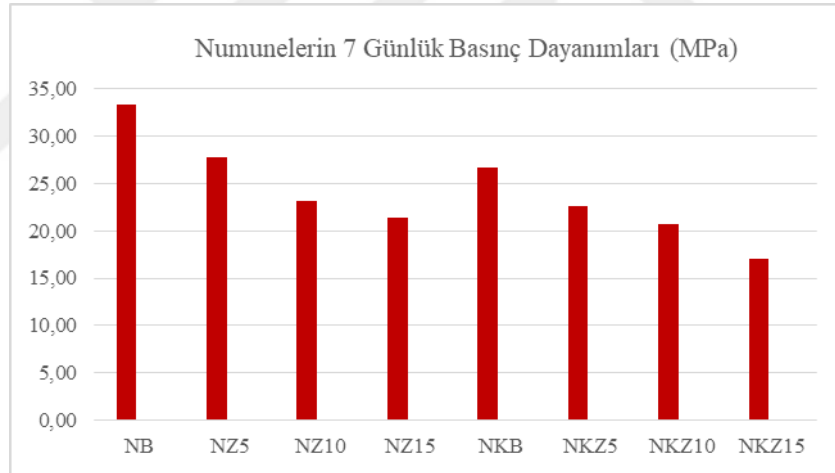
Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	7 günlük		
	1.	2.	3.
NB	32,58	34,44	32,76
NZ5	27,02	29,56	26,89
NZ10	22,98	23,60	23,02
NZ15	20,80	21,73	21,69
NKB	25,02	26,89	28,09
NKZ5	23,29	22,31	22,22
NKZ10	19,42	21,51	21,16
NKZ15	16,44	17,02	17,60

7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.12.'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. 7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
	7 günlük
	Ortalama
NB	33,26
NZ5	27,82
NZ10	23,20
NZ15	21,41
NKB	26,67
NKZ5	22,61
NKZ10	20,70
NKZ15	17,02

7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.13.'te verilmiştir.



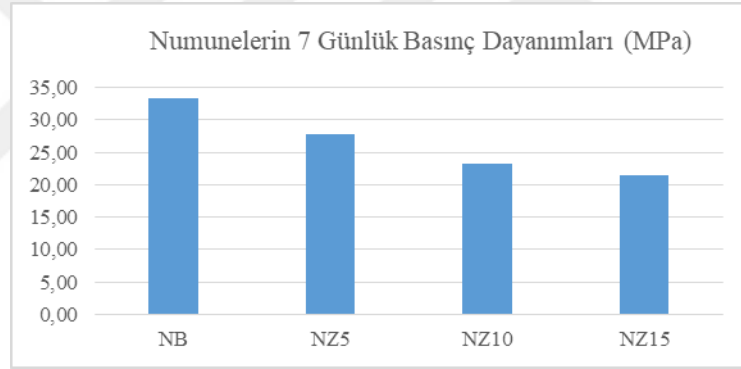
Şekil 5.13. 7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen farklı serilerdeki 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımlarının NB kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.13.'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Farklı serilerdeki numunelerin basınç dayanımlarının NB kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NB	33,26	100,00	0,00
NZ5	27,82	83,65	-16,35
NZ10	23,20	69,76	-30,24
NZ15	21,41	64,37	-35,63
NKB	26,67	80,18	-19,82
NKZ5	22,61	67,97	-32,03
NKZ10	20,70	62,23	-37,77
NKZ15	17,02	51,18	-48,82

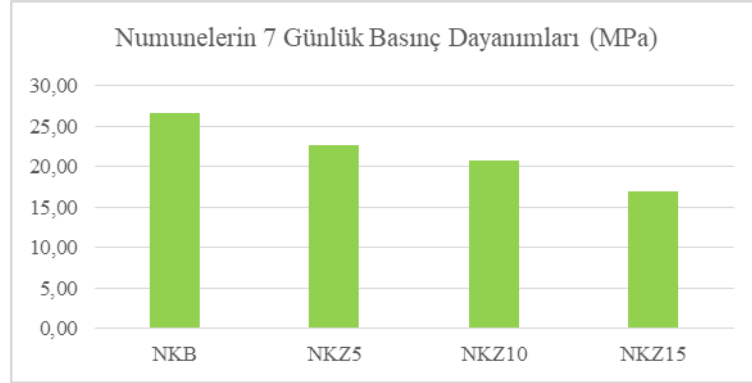
Karışımında $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak üretilen 150x150x150 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.14.'te verilmiştir.



Şekil 5.14. 7 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

$D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen NZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %16,35 oranında azalmıştır. NZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu numunelere göre %30,24 oranında, NZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu numunelere göre %35,63 oranında azalmıştır.

Karışımında $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 150x150x150 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.15.'te verilmiştir.



Şekil 5.15. 7 gün kür uygulanan hava sürükleyici katkılı 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; hem $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolitin sahip olduğu boşluklu yapı hem de hava sürükleyici katkının dayanıma olumsuz etkisinden dolayı numunelerin basınç dayanımlarında ciddi oranda azalmalar meydana gelmiştir. Karışımında %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKB kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %19,82 oranında azalmıştır. NKZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu numunelere göre %32,03 oranında, NKZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu numunelere göre %37,77 oranında ve NKZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu numunelere göre %48,82 oranında azalmıştır.

Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin basınç dayanımları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımı NKB kodlu numunelere göre %15,22 oranında, NKZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımı %22,39 oranında ve NKZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımı %36,17 oranında azalmıştır.

Tüm numunelerin 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım değerinin 33,26 MPa ile NB kodlu kontrol numunelerinde ve en düşük dayanım değerinin 17,02 MPa ile NKZ15 kodlu numunelerde olduğu görülmüştür.

Karışımında $D_{max}=10$ mm olan zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin 7 günlük erken basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin

basınç dayanımında ciddi azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Numunelerin basınç dayanımlarındaki kayıpların zeolitin boşluklu yapısından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.14.'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	28 günlük		
	1.	2.	3.
NB	916,00	947,00	907,00
NZ5	785,00	819,00	785,00
NZ10	686,00	620,00	668,00
NZ15	574,00	611,00	565,00
NKB	742,00	735,00	715,00
NKZ5	628,00	627,00	636,00
NKZ10	557,00	570,00	543,00
NKZ15	501,00	503,00	494,00

28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.15.'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

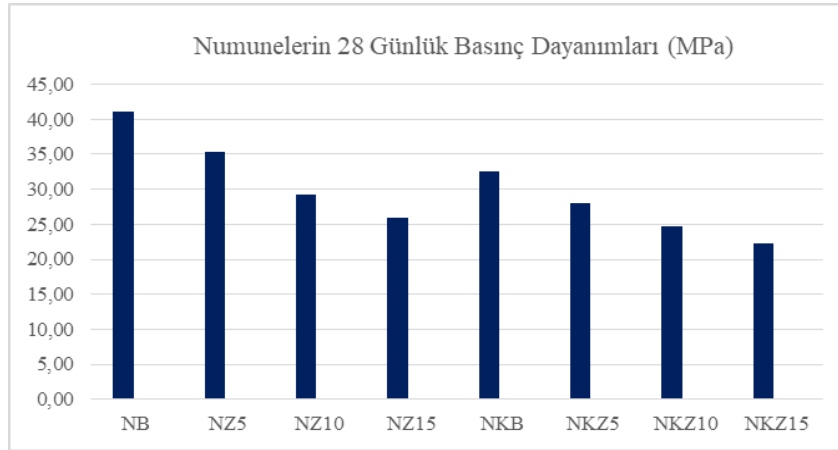
Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	28 günlük		
	1.	2.	3.
NB	40,71	42,09	40,31
NZ5	34,89	36,40	34,89
NZ10	30,49	27,56	29,69
NZ15	25,51	27,16	25,11
NKB	32,98	32,67	31,78
NKZ5	27,91	27,87	28,27
NKZ10	24,76	25,33	24,13
NKZ15	22,27	22,36	21,96

28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.16.'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
	28 günlük Ortalama
NB	41,04
NZ5	35,39
NZ10	29,24
NZ15	25,93
NKB	32,47
NKZ5	28,01
NKZ10	24,74
NKZ15	22,19

28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.16.'da verilmiştir.



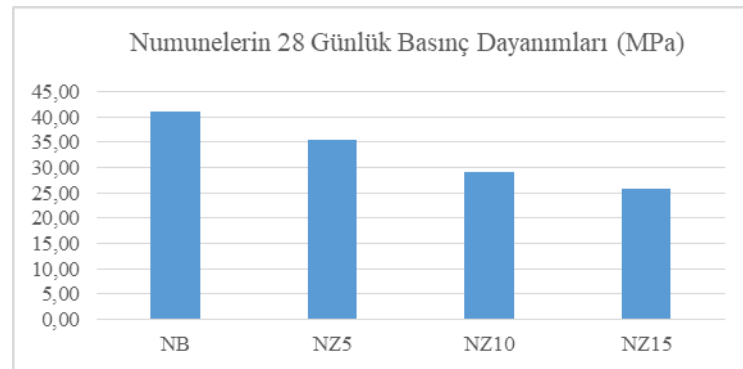
Şekil 5.16. 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen farklı serilerdeki 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımlarının NB kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.17.'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Farklı serilerdeki numunelerin basınç dayanımlarının NB kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NB	41,04	100,00	0,00
NZ5	35,39	86,23	-13,77
NZ10	29,24	71,25	-28,75
NZ15	25,93	63,18	-36,82
NKB	32,47	79,12	-20,88
NKZ5	28,01	68,25	-31,75
NKZ10	24,74	60,28	-39,72
NKZ15	22,19	54,07	-45,93

Karışımında $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak üretilen 150x150x150 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.17.'de verilmiştir.

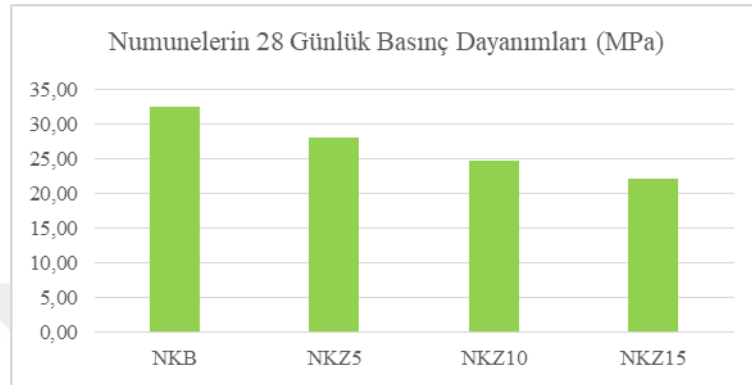


Şekil 5.17. 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde $D_{max}=10$ mm boyutundaki zeolitin agregaya kıyasla boşluklu bir yapıya sahip olmasından dolayı karışım içerisinde kullanımının basınç dayanımında ciddi derecede azalmalara sebep olduğu belirlenmiştir. Karışım içerisinde %5 oranında zeolit kullanılan NZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımını NB kodlu kontrol numunelerine göre %13,77 oranında, azalttığı, %10 oranında zeolit kullanılan NZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımını %28,75 oranında

azalttığı ve %15 oranında zeolit kullanılan NZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımını %36,82 oranında azalttığı görülmüştür.

Karışımında $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 150x150x150 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.18.'de verilmiştir.



Şekil 5.18. 28 gün kür uygulanan hava sürükleyici katkılı 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Beton karışımı içerisinde % 1'lik hava boşluğu artışının betonun dayanımını %2 ile %6 oranında azalttığı bilinmektedir.(Kosmatka et al, 2002). Bu kabulde genellikle hava boşluğundaki %1'lik artış için betonun dayanımında %5 oranında düşüş dikkate alınır. Çalışmada hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımında hem zeolit boşluklu yapısı hem de hava sürükleyici katkının dayanıma olumsuz etkisinden dolayı numunelerin basınç dayanımlarında katkısız numunelere göre daha fazla oranda azalmalar meydana gelmiştir. Karışımında %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKB kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %20,88 oranında azalmıştır. NKZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımında %31,75 oranında, NKZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımında %39,72 oranında ve NKZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımında %45,93 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin basınç dayanımları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımı NKB kodlu numunelere göre %13,74 oranında, NKZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımı %23,81 oranında ve NKZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımı %31,66 oranında azalmıştır.

Tüm numunelerin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım değerinin 41,04 MPa ile NB kodlu kontrol numunelerinde ve en düşük

dayanım değerinin 22,19 MPa ile %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı NKZ15 kodlu numunelerde olduğu görülmüştür.

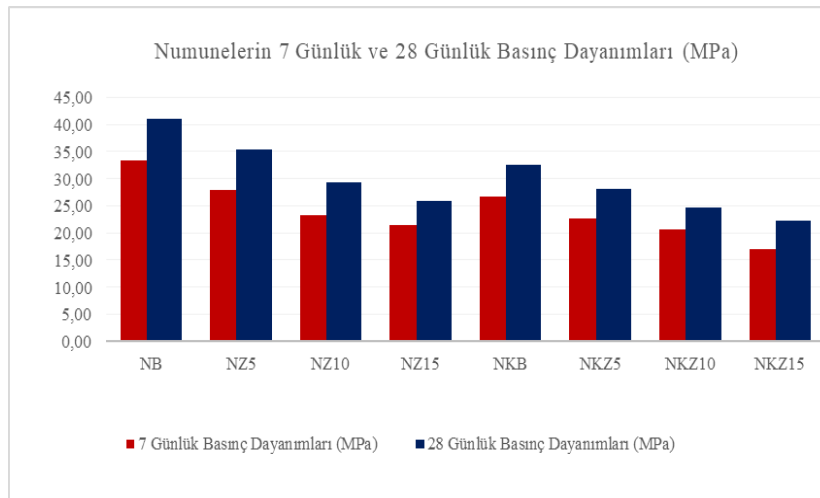
Karışımında $D_{max}=10$ mm olan zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı ve katkısız 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarında ciddi oranda azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Basınç dayanımındaki bu azalmaların sebebinin zeolit boşluklu ve hafif yapısından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

7 gün ve 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları ve arasındaki ilişkiler Çizelge 5.18.'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişkiler

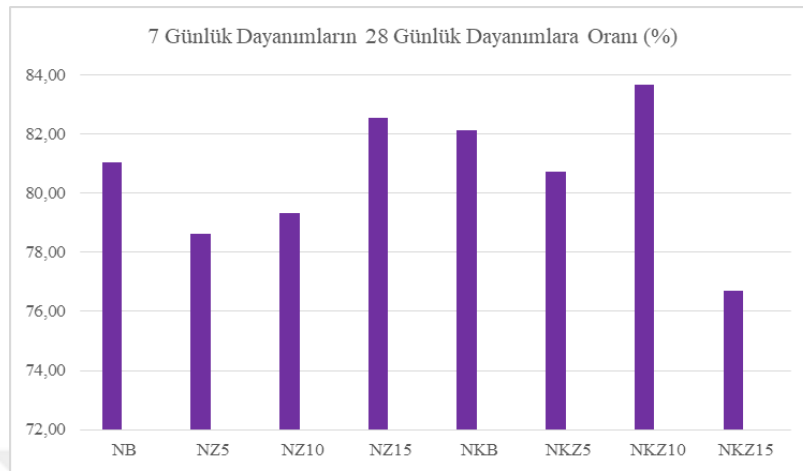
Numune Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	7 Günlük Dayanımların 28 Günlük Dayanımlara Oranı (%)
NB	33,26	41,04	81,04
NZ5	27,82	35,39	78,62
NZ10	23,20	29,24	79,34
NZ15	21,41	25,93	82,56
NKB	26,67	32,47	82,13
NKZ5	22,61	28,01	80,71
NKZ10	20,70	24,74	83,66
NKZ15	17,02	22,19	76,71

7 gün ve 28 gün kür uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları Şekil 5.19.'da verilmiştir.



Şekil 5.19. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları

7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımlarına oranı Şekil 5.20.'de verilmiştir.



Şekil 5.20. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları oranı

Farklı kür sürelerinde numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları ve bu sonuçlar arasındaki ilişkiler incelendiğinde; karışım içerisinde kullanılan zeolit boşluklu yapısından dolayı numunelerin 7 günlük erken basınç dayanımları hem zeolit ikamesiz olarak üretilen kontrol numunelerine göre, hem de literatürde yapılan diğer çalışmalara göre çok düşük sonuçlar sergilemiştir. Bu duruma ek olarak bir de hava sürükleyici katkının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi deney sonuçlarında açıkça görülmektedir. Karışımında bağlayıcı olarak kullanılan CEM I 42,5-R çimentosunun erken yaşlarda hidrasyon hızı yüksek olmasına rağmen numunelerdeki boşluklu yapı ciddi dayanım kayıplarına sebep olmuştur. Fakat 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde kullanılan bağlayıcının betonun içerisindeki boşluklu yapıyı zamanla iyileştirdiği dolayısıyla 28 günlük basınç dayanımlarını olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Karışım içerisinde zeolit kullanımı veya hava sürükleyici katkı kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları arasında herhangi bir bağıntı kurulamamıştır.

Çalışmada 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkılı ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki 16 seri numunenin her 3 adeti eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuş, eğilme dayanımı deneyinde kopan parçalar üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi sonuçları bu 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi kırılma yükleri Çizelge 5.19.'da verilmiştir.

Çizelge 5.19. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	7 Günlük		
	1.	2.	3.
NBi	74,70	75,95	73,44
NZ5i	75,81	78,94	80,08
NZ10i	65,38	65,44	68,43
NZ15i	64,35	65,15	66,85
NKBi	61,02	57,25	54,27
NKZ5i	62,54	66,03	55,53
NKZ10i	47,98	51,07	52,06
NKZ15i	40,30	38,74	43,45
NDKBi	58,96	61,47	60,05
NDKZ5i	60,24	55,78	57,15
NDKZ10i	55,47	57,12	58,03
NDKZ15i	53,60	50,53	50,92
NDKKBi	53,78	46,20	55,07
NDKKZ5i	48,38	49,98	49,46
NDKKZ10i	47,02	45,55	44,11
NDKKZ15i	41,87	39,22	40,03

7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.20.'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

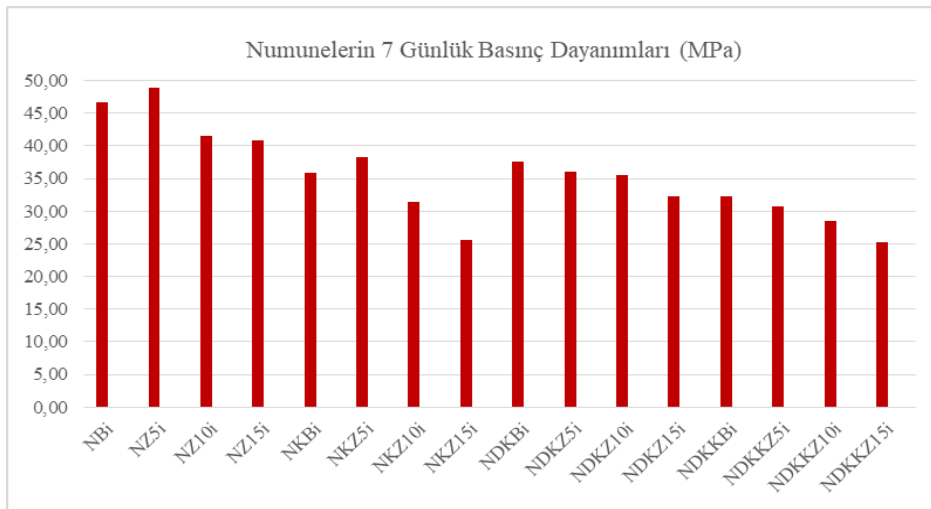
Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	7 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	46,69	47,47	45,90
NZ5i	47,38	49,34	50,05
NZ10i	40,86	40,90	42,77
NZ15i	40,22	40,72	41,78
NKBi	38,14	35,78	33,92
NKZ5i	39,09	41,27	34,71
NKZ10i	29,99	31,92	32,54
NKZ15i	25,19	24,21	27,16
NDKBi	36,85	38,42	37,53
NDKZ5i	37,65	34,86	35,72
NDKZ10i	34,67	35,70	36,27
NDKZ15i	33,50	31,58	31,83
NDKKBi	33,61	28,88	34,42
NDKKZ5i	30,24	31,24	30,91
NDKKZ10i	29,39	28,47	27,57
NDKKZ15i	26,17	24,51	25,02

7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.21.'de verilmiştir.

Çizelge 5.21. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
	7 günlük Ortalama
NBi	46,69
NZ5i	48,92
NZ10i	41,51
NZ15i	40,91
NKBi	35,95
NKZ5i	38,36
NKZ10i	31,48
NKZ15i	25,52
NDKBi	37,60
NDKZ5i	36,08
NDKZ10i	35,55
NDKZ15i	32,30
NDKKBi	32,30
NDKKZ5i	30,80
NDKKZ10i	28,48
NDKKZ15i	25,23

Karışımında ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkılı/katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.21.'de verilmiştir.



Şekil 5.21. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

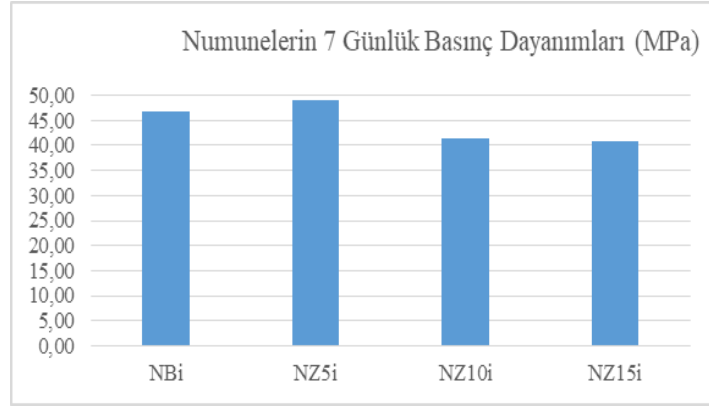
Üretilen farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.22.'de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Farklı serilerdeki numunelerin basınç dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NBi	46,69	100,00	0,00
NZ5i	48,92	104,79	4,79
NZ10i	41,51	88,92	-11,08
NZ15i	40,91	87,62	-12,38
NKBi	35,95	77,00	-23,00
NKZ5i	38,36	82,16	-17,84
NKZ10i	31,48	67,43	-32,57
NKZ15i	25,52	54,66	-45,34
NDKBi	37,60	80,54	-19,46
NDKZ5i	36,08	77,28	-22,72
NDKZ10i	35,55	76,14	-23,86
NDKZ15i	32,30	69,19	-30,81
NDKKBi	32,30	69,19	-30,81
NDKKZ5i	30,80	65,96	-34,04
NDKKZ10i	28,48	60,99	-39,01
NDKKZ15i	25,23	54,05	-45,95

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen harç numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerde %5 oranında zeolit kullanımının basınç dayanımını iyileştirdiği, dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür.

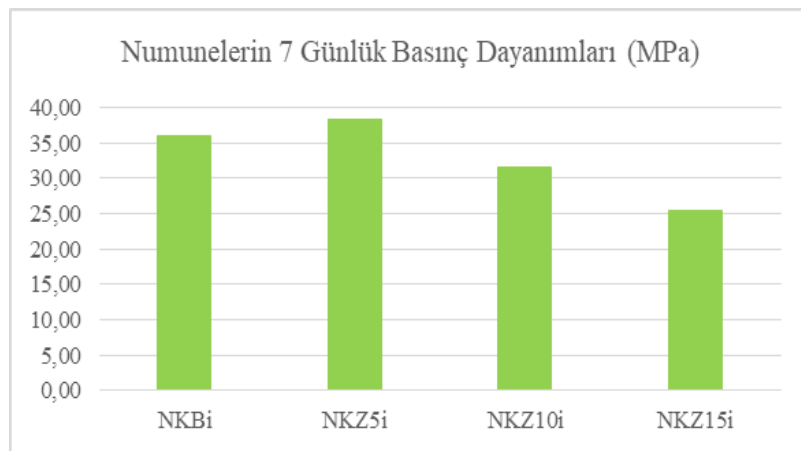
Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.22.'de verilmiştir.



Şekil 5.22. 7 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında kullanılan %5 oranında öğütülmüş zeolit NZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımını NBi kodlu kontrol numunelerine göre %4,79 oranında iyileştirmiştir. Diğer oranlarda kontrol numunesine göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. NZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %11,08 oranında ve NZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %12,38 oranında azalmıştır. En yüksek dayanım değeri 48,92 MPa ile NZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 40,91 MPa ile NZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.23.'te verilmiştir.

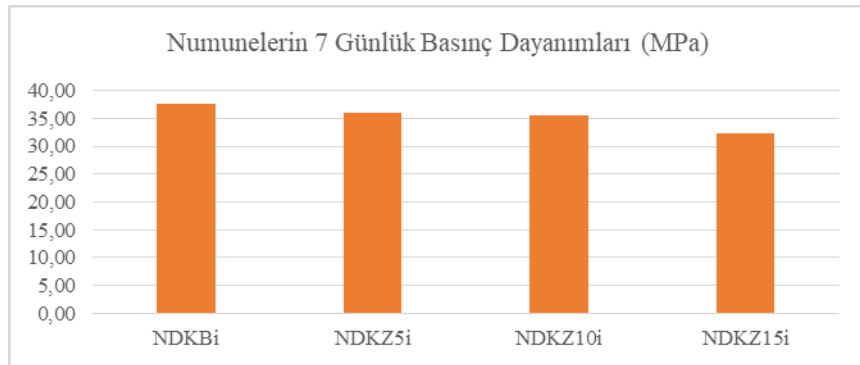


Şekil 5.23. 7 gün kür uygulanan hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; yine hava sürükleyici katkının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi deney sonuçlarında açıkça görülmektedir. Karışımda %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %23 oranında azalmıştır. NKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %17,84 oranında, NKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %32,57 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %45,34 oranında azalmıştır.

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %6,70 oranında artmıştır. NKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numuneye göre %12,42 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %29,01 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin içerisinde en yüksek dayanım değeri 38,36 MPa ile NKZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 25,52 MPa ile NKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agregaya yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.24.'te verilmiştir.



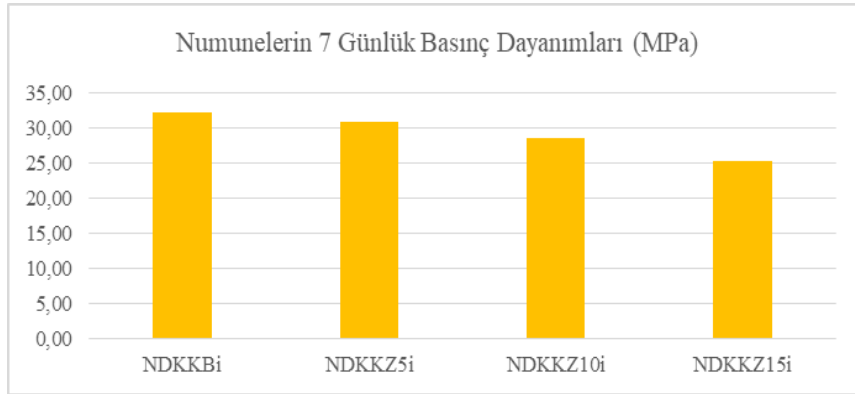
Şekil 5.24. 7 gün kür uygulanan ince agregaya yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agregaya yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumunun yapısında çok ince taneli malzemeler içermemesinden dolayı ince agregaya ile üretilen numunelere göre daha düşük

dayanım değerleri elde edilmiştir. Dere kumu kullanılarak zeolit ikamesiz olarak üretilen NDKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %19,46 oranında azalmıştır. Bu azalış sırasıyla NDKZ5i kodlu numunelerde %22,72 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerde %23,86 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerde %30,81 oranında olmuştur.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %4,05 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %5,46 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %14,09 oranında azalmıştır. Dere kumlu numunelerde %10 oranında zeolit kullanılan numuneler %5 oranında zeolit kullanılan numunelere göre %1,47 gibi çok az bir oranda azalma eğilimi göstermişlerdir. En yüksek basınç dayanımı değeri 37,60 MPa ile NDKBi kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 32,30 MPa ile NDKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.25.'te verilmiştir.



Şekil 5.25. 7 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumunun yapısında çok ince taneli malzemeler bulundurmaması ve hava sürükleyici katkının harç numunelerinin içerisinde hava boşlukları oluşturması numunelerin basınç dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Dere kumu ve hava sürükleyici katkılı olarak üretilen

NDKKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %30,81 oranında azalmıştır. Bu azalmayı sırasıyla %34,04'lik oran ile NDKKZ5i kodlu numuneler, %39,01'lik oran ile NDKKZ10i kodlu numuneler ve %45,95'lik oran ile NDKKZ15i kodlu numuneler takip etmiştir. Katkısız ve %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen dere kumlu NDKZ15i kodlu numuneler ile NDKKBi kodlu numunelerin basınç dayanımları 32,30 MPa'lık dayanımla eşit sonuçlar sergilemiştir.

İnce agregaya yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %4,66 oranında, NDKKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %11,85 oranında ve NDKKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %21,88 oranında azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri 32,30 MPa ile NDKKBi kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 25,23 MPa ile NDKKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibarıyla üretilen bütün serilerdeki numunelerin arasında agregaya türü ve hava sürükleyici katkı parametrelerine göre basınç dayanımları değerlendirildiğinde en yüksek basınç dayanımı 46,69 MPa ile NBi kodlu numunelerde elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 37,60 MPa ile NDKBi kodlu numuneler, 35,95 MPa ile NKBi kodlu numuneler ve 32,30 MPa ile NDKKBi kodlu numuneler izlemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde katkı kullanımına bağlı olarak NDKKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %14,09 oranında azalmıştır.

Karşımda farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit ve ince agregaya yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 7 günlük erken basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde öğütülmüş zeolitin $D_{max}=10$ mm olan zeolite göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Sadece ince agregaya kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerde %5 oranında zeolit kullanımı basınç dayanımlarını iyileştirmiş, diğer serilerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. İnce agregaya ve dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin basınç dayanımında katkısız olarak üretilen numunelere göre daha yüksek oranda azalmalar meydana gelmiştir. Zeolitin boşluklu yapısının ve hava sürükleyici katkının numunelerin basınç dayanımlarına olumsuz etkisi bütün serilerde deney sonuçlarına yansımaktadır.

28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.23.'te ve basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.24.'te verilmiştir.

Çizelge 5.23. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	28 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	84,02	84,53	77,82
NZ5i	80,29	87,88	83,44
NZ10i	74,63	75,40	76,20
NZ15i	73,32	70,88	72,91
NKBi	63,63	63,16	64,13
NKZ5i	67,70	63,77	66,82
NKZ10i	59,46	55,74	52,44
NKZ15i	50,90	48,56	49,66
NDKBi	71,42	68,32	68,70
NDKZ5i	62,95	68,27	64,58
NDKZ10i	63,34	65,70	63,84
NDKZ15i	63,23	63,30	62,30
NDKKBi	54,45	64,19	58,13
NDKKZ5i	51,74	53,06	54,98
NDKKZ10i	53,14	52,70	52,97
NDKKZ15i	48,04	49,45	51,55

28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.24.'te ve basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.25.'te verilmiştir.

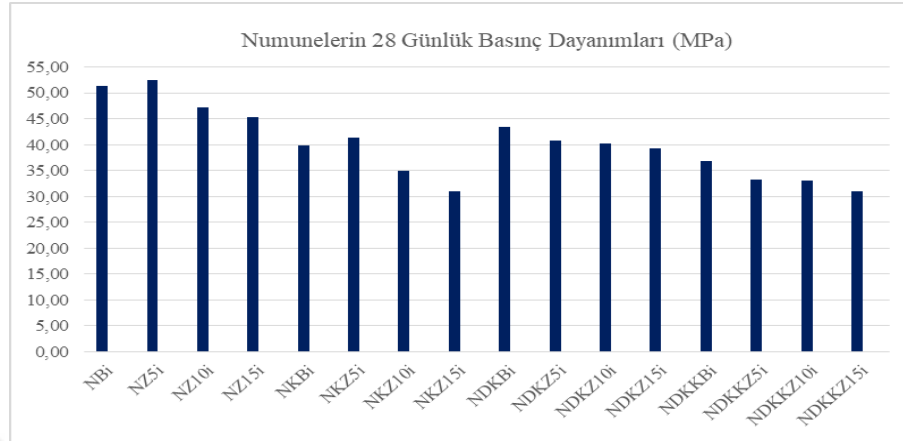
Çizelge 5.24. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	28 günlük		
	1.	2.	3.
NBi	52,51	52,83	48,64
NZ5i	50,18	54,93	52,15
NZ10i	46,64	47,13	47,63
NZ15i	45,83	44,30	45,57
NKBi	39,77	39,48	40,08
NKZ5i	42,31	39,86	41,76
NKZ10i	37,16	34,84	32,77
NKZ15i	31,81	30,35	31,04
NDKBi	44,64	42,70	42,94
NDKZ5i	39,34	42,67	40,36
NDKZ10i	39,59	41,06	39,90
NDKZ15i	39,52	39,56	38,94
NDKKBi	34,03	40,12	36,33
NDKKZ5i	32,34	33,16	34,36
NDKKZ10i	33,21	32,94	33,11
NDKKZ15i	30,03	30,91	32,22

Çizelge 5.25. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
	28 günlük
	Ortalama
NBi	51,33
NZ5i	52,42
NZ10i	47,13
NZ15i	45,23
NKBi	39,78
NKZ5i	41,31
NKZ10i	34,92
NKZ15i	31,07
NDKBi	43,43
NDKZ5i	40,79
NDKZ10i	40,18
NDKZ15i	39,34
NDKKBi	36,83
NDKKZ5i	33,29
NDKKZ10i	33,09
NDKKZ15i	31,05

Karışımında ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkılı/katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.26.'da verilmiştir.



Şekil 5.26. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

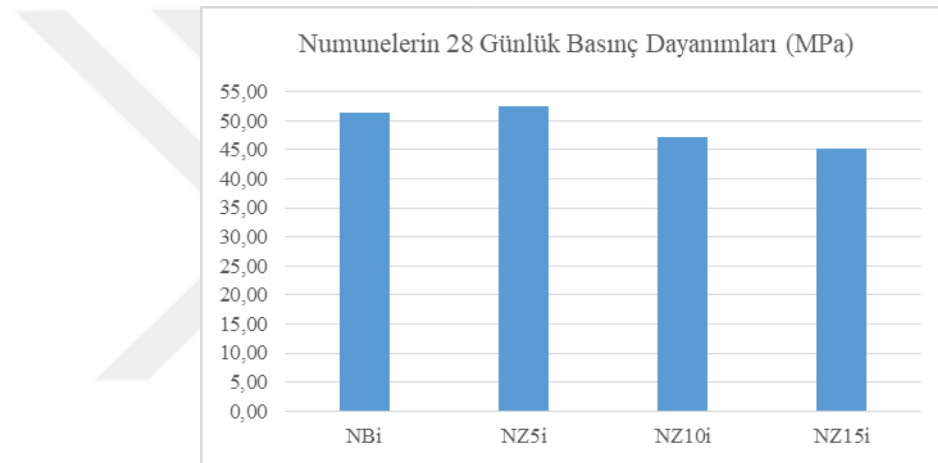
Üretilen farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelerdeki değişimleri Çizelge 5.26.'da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Farklı serilerdeki numunelerin basınç dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelerdeki değişimleri

Numune Kodu	Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdeler Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdeler Değişim (%)
NBi	51,33	100,00	0,00
NZ5i	52,42	102,13	2,13
NZ10i	47,13	91,83	-8,17
NZ15i	45,23	88,12	-11,88
NKBi	39,78	77,50	-22,50
NKZ5i	41,31	80,48	-19,52
NKZ10i	34,92	68,04	-31,96
NKZ15i	31,07	60,53	-39,47
NDKBi	43,43	84,60	-15,40
NDKZ5i	40,79	79,47	-20,53
NDKZ10i	40,18	78,29	-21,71
NDKZ15i	39,34	76,64	-23,36
NDKKBi	36,83	71,75	-28,25
NDKKZ5i	33,29	64,85	-35,15
NDKKZ10i	33,09	64,46	-35,54
NDKKZ15i	31,05	60,49	-39,51

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen harç numuneleri üzerinde yapılan 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının 7 günlük basınç dayanımlarına paralel sonuçlar sergilediği görülmüştür. Karışım içerisinde ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerde %5 oranında zeolit kullanımının basınç dayanımlarını iyileştirdiği ve genel itibariyle kullanılan öğütülmüş zeolitin $D_{max}=10$ mm zeolite göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

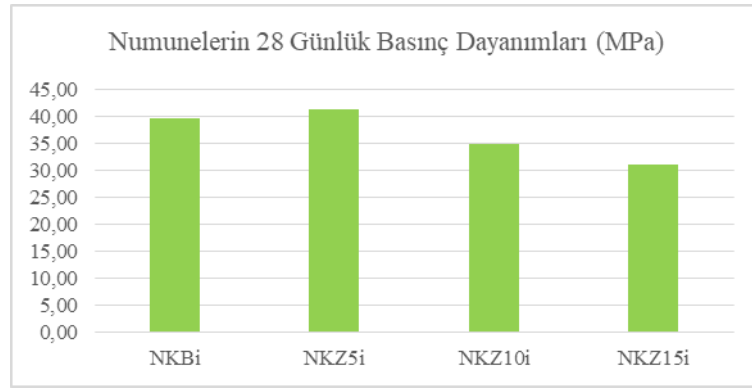
Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.27.'de verilmiştir.



Şekil 5.27. 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Karışım içerisinde %5 oranında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen NZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %2,13 oranında daha yüksek çıkmıştır. Daha yüksek oranlarda zeolit kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerine oranla daha düşük dayanım değerleri sergilemişlerdir. NZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numuneye göre %8,17 oranında ve NZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %11,88 oranında azalmıştır. En yüksek dayanım değeri 52,42 MPa ile NZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 45,23 MPa ile NZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.28.'de verilmiştir.

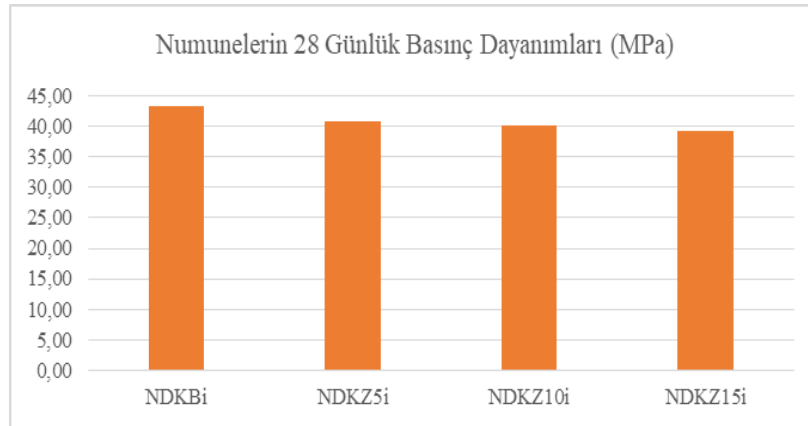


Şekil 5.28. 28 gün kür uygulanan hava sürükleyici katkıli 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; yine hava sürükleyici katkıının basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkisi deney sonuçlarına yansımaktadır. Karışımda %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %22,50 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı ve %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen NKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı %19,52 oranında, hava sürükleyici katkı ve %10 oranında zeolit kullanılarak üretilen NKZ10i kodlu numunelerde %31,96 oranında ve %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkıli NKZ15i kodlu numunelerde %39,47 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %3,85 oranında artmıştır. NKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %12,20 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %21,90 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin içerisinde en yüksek dayanım değeri 41,31 MPa ile NKZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 31,07 MPa ile NKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.29.'da verilmiştir.

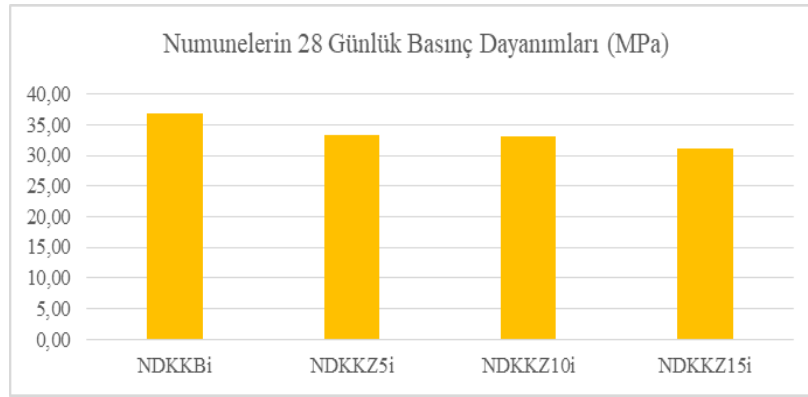


Şekil 5.29. 28 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; sadece dere kumu kullanılarak üretilen NDKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %15,40 oranında azalmıştır. Dere kumu ve %5 oranında zeolit kullanılan NDKZ5i kodlu numunelerde bu azalış %20,53 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerde %21,71 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerde %23,36 oranında olmuştur.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %6,06 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %7,47 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %9,41 oranında azalmıştır. Dere kumlu numunelerde %10 oranında zeolit kullanılan numunelerin basınç dayanımları %5 oranında zeolit kullanılan numunelere göre %1,49 gibi çok az bir oranda azalma eğilimi göstermişlerdir. En yüksek basınç dayanımı değeri 43,43 MPa ile NDKBi kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 39,34 MPa ile NDKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.30.'da verilmiştir.



Şekil 5.30. 28 gün kür uygulanan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumu ve hava sürükleyici katkılı olarak üretilen NDKKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %28,25 oranında azalmıştır. Bu azalmayı sırasıyla %35,15'lik oran ile NDKKZ5i kodlu numuneler, %35,54'lik oran ile NDKKZ10i kodlu numuneler ve %39,51'lik oran ile NDKKZ15i kodlu numuneler takip etmiştir. Dere kumlu ve hava sürükleyici katkılı numunelerde %10 oranında zeolit kullanılan numunelerin basınç dayanımları %5 oranında zeolit kullanılan numunelere göre %0,60 gibi çok az bir oranda azalma eğilimi göstermişlerdir.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %9,62 oranında, NDKKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %10,16 oranında ve NDKKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %15,69 oranında azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri 36,83 MPa ile NDKKBi kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 31,05 MPa ile NDKKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibariyle üretilen bütün serilerdeki numunelerin arasında agrega türü ve hava sürükleyici katkı parametrelerine göre basınç dayanımları değerlendirildiğinde; en yüksek basınç dayanımı değeri 51,33 MPa ile NBi kodlu numunelerde elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 43,43 MPa ile NDKBi kodlu numuneler, 39,78 MPa ile NKBi kodlu numuneler ve 36,83 MPa ile NDKKBi kodlu numuneler izlemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde katkı kullanımına bağlı olarak NDKKBi kodlu

numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %15,19 oranında azalmıştır.

Karışımda farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı/katkısız 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; öğütülmüş zeolitin $D_{max}=10$ mm olan zeolite göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

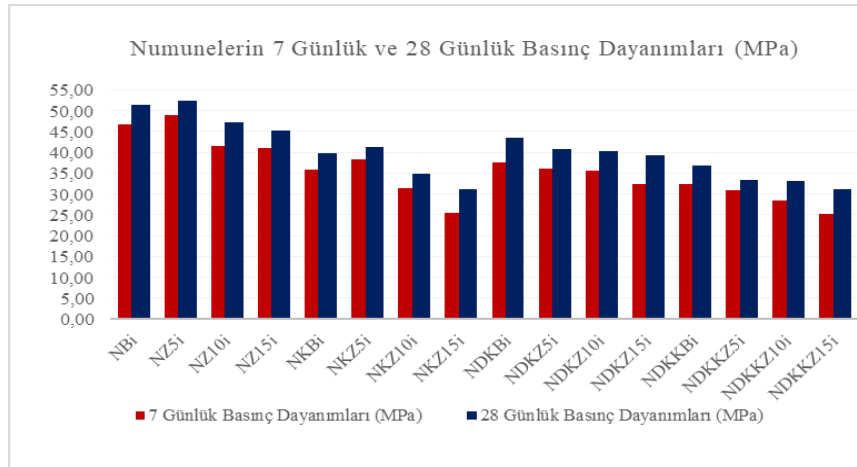
7 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçlarına benzer şekilde sadece ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerde %5 oranında zeolit kullanımı numunelerin basınç dayanımlarını iyileştirmiş, diğer serilerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. İnce agrega ve dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı numunelerin basınç dayanımlarında katkısız olarak üretilen numunelere göre daha yüksek oranda dayanım kayıpları meydana gelmiştir. Hava sürükleyici katkı olarak üretilen bütün serilerde hava sürükleyici katkının basınç dayanımına olumsuz etkisi deney sonuçlarında açıkça görülmektedir.

7 gün ve 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları ve arasındaki ilişkiler Çizelge 5.27.'de verilmiştir.

Çizelge 5.27. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişkiler

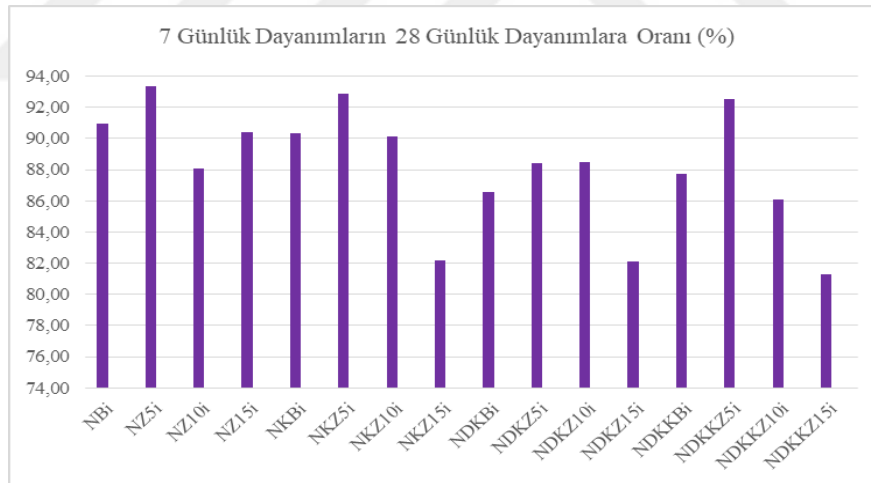
Numune Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	7 Günlük Dayanımların 28 Günlük Dayanımlara Oranı (%)
NB	33,26	41,04	81,04
NZ5	27,82	35,39	78,62
NZ10	23,20	29,24	79,34
NZ15	21,41	25,93	82,56
NKB	26,67	32,47	82,13
NKZ5	22,61	28,01	80,71
NKZ10	20,70	24,74	83,66
NKZ15	17,02	22,19	76,71

7 gün ve 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları Şekil 5.31.'de verilmiştir.



Şekil 5.31. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları

7 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımınının 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımına oranı Şekil 5.32.'de verilmiştir.



Şekil 5.32. 7 gün ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları oranı

Farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkılı ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişkiler incelendiğinde; zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları arasında herhangi bir bağıntı kurulamamıştır. Fakat karışımda %5 oranında zeolit kullanılan numunelerin erken basınç dayanımı yüksek sonuçlar vermiş ve numunelerin 28 günlük basınç dayanımları daha düşük oranlarda artış göstermiştir. Genel itibariyle öğütülmüş zeolit

boşluklu yapısını kaybederek karışımında bağlayıcı görevi üstlenmiş, buna bağlı olarak numunelerin erken basınç dayanımlarında yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bütün numunelerde $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen 150x150x150 mm boyutundaki numunelere göre 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları arasında daha düşük artış oranı gözlenmiştir.

5.4. Sertleşmiş Harç ve Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Donma Çözülme Deneyi Sonuçları

Çalışmada $D_{max}=10$ mm çapında zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı ve katkısız olarak üretilen 150x150x150 mm boyutlarındaki 8 seri numunenin 3 adeti üzerinde donma çözülme deneyi sonrasında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Donma çözülme deneyi sonuçları bu 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.28.'de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	Donma Çözülme Deneyi Sonuçları		
	1.	2.	3.
NB	726,75	718,20	715,05
NZ5	631,13	643,28	604,00
NZ10	522,90	524,00	511,43
NZ15	475,00	465,30	473,40
NKB	650,00	622,00	584,00
NKZ5	531,45	500,63	524,48
NKZ10	451,00	438,00	469,00
NKZ15	427,00	428,00	435,00

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.29.'da verilmiştir.

Çizelge 5.29. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı değerleri

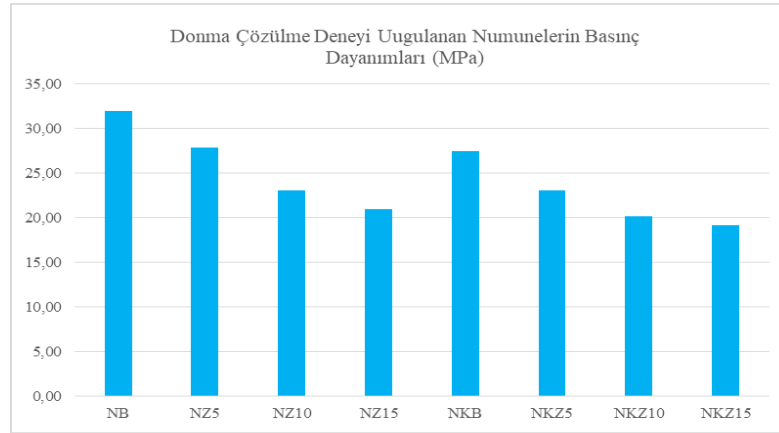
Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	Donma Çözülme Deneyi Sonuçları		
	1.	2.	3.
NB	32,30	31,92	31,78
NZ5	28,05	28,59	26,84
NZ10	23,24	23,29	22,73
NZ15	21,11	20,68	21,04
NKB	28,89	27,64	25,96
NKZ5	23,62	22,25	23,31
NKZ10	20,04	19,47	20,84
NKZ15	18,98	19,02	19,33

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımları ortalaması Çizelge 5.30.'da verilmiştir.

Çizelge 5.30. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımları ortalaması

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
	Donma Çözülme Deneyi Sonuçları
	Ortalama
NB	32,00
NZ5	27,83
NZ10	23,09
NZ15	20,94
NKB	27,50
NKZ5	23,06
NKZ10	20,12
NKZ15	19,11

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımları Şekil 5.33.'te verilmiştir.



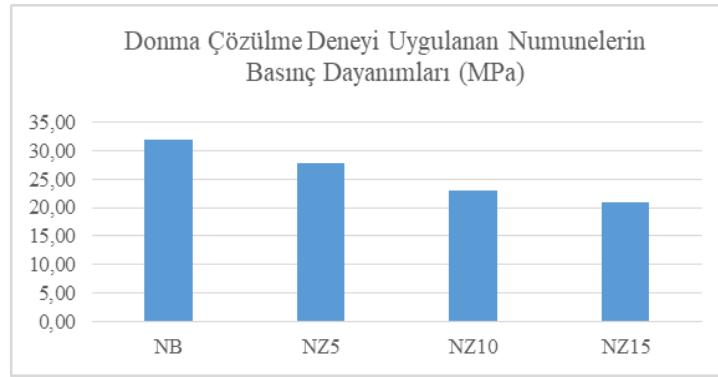
Şekil 5.33. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımları

Üretilen farklı serilerdeki 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin donma çözülme dayanımlarının NB kodlu kontrol numunelerine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.31.'de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Farklı serilerdeki numunelerin donma çözülme dayanımlarının NB kodlu kontrol numunelerine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Donma Çözülme Deneyi Uygulanan Numunelerin Basınç Dayanımları (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdeler (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdeler Değişim (%)
NB	32,00	100,00	0,00
NZ5	27,83	86,96	-13,04
NZ10	23,09	72,14	-27,86
NZ15	20,94	65,45	-34,55
NKB	27,50	85,93	-14,07
NKZ5	23,06	72,06	-27,94
NKZ10	20,12	62,87	-37,13
NKZ15	19,11	59,72	-40,28

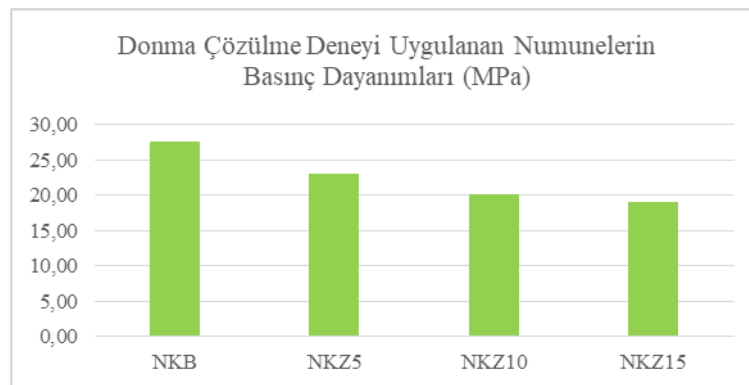
Karışımda $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyi uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.34.'te verilmiştir.



Şekil 5.34. Donma çözülme deneyi uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

$D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak 150x150x150 mm boyutunda üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan donma çözülme deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde %5 oranında zeolit kullanılan NZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %13,04 oranında, NZ10 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %27,86 oranında ve NZ15 kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %34,55 oranında azalmıştır.

Karışımında $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyi uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkıli numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.35.'te verilmiştir.



Şekil 5.35. Donma çözülme deneyi uygulanan 150x150x150 mm boyutundaki hava sürükleyici katkıli numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

$D_{max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak 150x150x150 mm boyutunda hava sürükleyici katkıli olarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan donma çözülme deneyi sonuçları incelendiğinde; karışımında kullanılan hava sürükleyici katkıli

numunelerin basınç dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği ve zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarında azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca donma çözülme deneyinden sonra numunelerin basınç dayanımlarında 28 günlük dayanımlara göre ciddi oranda dayanım kayıpları meydana gelmiştir. Karışımda %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKB kodlu numunelerin basınç dayanımı NB kodlu kontrol numunelerine göre %14,07 oranında azalmıştır. NKZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımında %27,94 oranında, NKZ10 kodlu numunelerde %37,13 oranında ve NKZ15 kodlu numunelerde %40,28 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

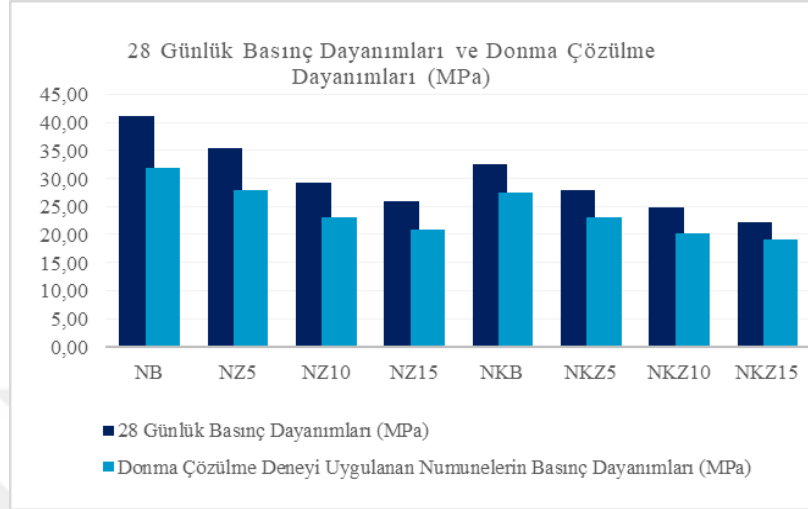
Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin donma çözülme deneyinden sonraki basınç dayanımları kendi içerisinde incelendiğinde; NKZ5 kodlu numunelerin basınç dayanımı NKB kodlu numunelere göre %16,13 oranında, NKZ10 kodlu numunelerin dayanımı %26,83 oranında ve NKZ15 kodlu numunelerin dayanımı %30,50 oranında azalmıştır. Tüm numunelerin donma çözülme deneyinden sonraki dayanımları incelendiğinde; en yüksek dayanım değerinin 32,00 MPa ile NB kodlu kontrol numunelerinde ve en düşük dayanım değerinin 19,11 MPa ile %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı NKZ15 kodlu numunelerde olduğu görülmüştür.

28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları ve arasındaki ilişkiler Çizelge 5.32.'de verilmiştir.

Çizelge 5.32. 28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişkiler

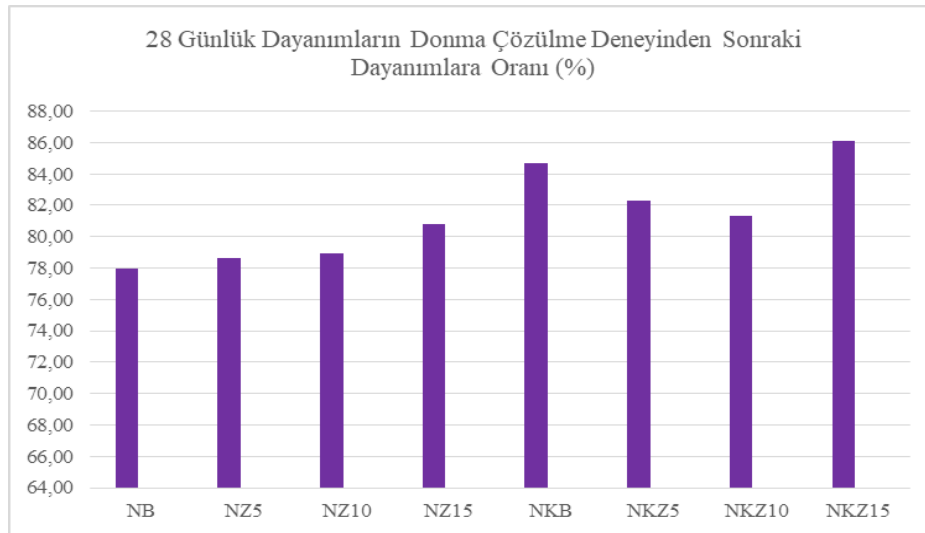
Numune Kodu	28 Günlük Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	Donma Çözülme Deneyi Uygulanan Numunelerin Basınç Dayanımları (MPa)	28 Günlük Dayanımların Donma Çözülme Dayanımlarına Oranı (%)
NB	41,04	32,00	77,98
NZ5	35,39	27,83	78,63
NZ10	29,24	23,09	78,94
NZ15	25,93	20,94	80,78
NKB	32,47	27,50	84,67
NKZ5	28,01	23,06	82,31
NKZ10	24,74	20,12	81,32
NKZ15	22,19	19,11	86,11

28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları Şekil 5.36.'da verilmiştir.



Şekil 5.36. 28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları

28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımlarına oranı Şekil 5.37.'de verilmiştir.



Şekil 5.37. 28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları oranı

Farklı oranlarda $D_{\max}=10$ mm boyutunda zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkılı ve katkısız olarak üretilen 150x150x150 mm boyutundaki numuneler üzerinde

yapılan donma çözülme deneyi sonuçları incelendiğinde; katkısız olarak üretilen numunelerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin donma çözülme etkisinden kaynaklanan dayanım kayıpları daha az oranlara inmiştir. Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerde farklı oranlarda dayanım kayıpları yaşanmış ve zeolit kullanımıyla dayanım kayıpları arasında herhangi bir ilişki kurulamamıştır. 28 günlük basınç dayanımlarına oranla en fazla dayanım kaybı %22,02'lik oran ile NB kodlu numunelerde, en düşük dayanım kaybı ise %13,89'luk oran ile NKZ15 kodlu numunelerde meydana gelmiştir.

Çalışmada 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkıli ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki 16 seri numunenin her 3 adeti donma çözülme deneyine tabi tutulmuş, daha sonra numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Numunelerin basınç dayanımı bu 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.33.'te verilmiştir.

Çizelge 5.33. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	Donma Çözülme Deneyi Sonuçları		
	1.	2.	3.
NBi	60,70	59,63	62,11
NZ5i	64,37	69,04	64,64
NZ10i	62,70	66,22	61,06
NZ15i	61,26	60,45	59,06
NKBi	54,11	51,73	51,12
NKZ5i	56,78	57,01	58,24
NKZ10i	48,46	50,22	48,34
NKZ15i	40,26	40,26	44,38
NDKBi	57,55	57,54	56,56
NDKZ5i	58,75	57,90	57,92
NDKZ10i	59,25	58,69	58,32
NDKZ15i	58,82	54,82	54,75
NDKKBi	54,48	51,89	51,60
NDKKZ5i	49,52	49,01	48,63
NDKKZ10i	46,74	48,86	47,82
NDKKZ15i	46,51	45,95	45,73

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.34.'te ve basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.35.'te verilmiştir.

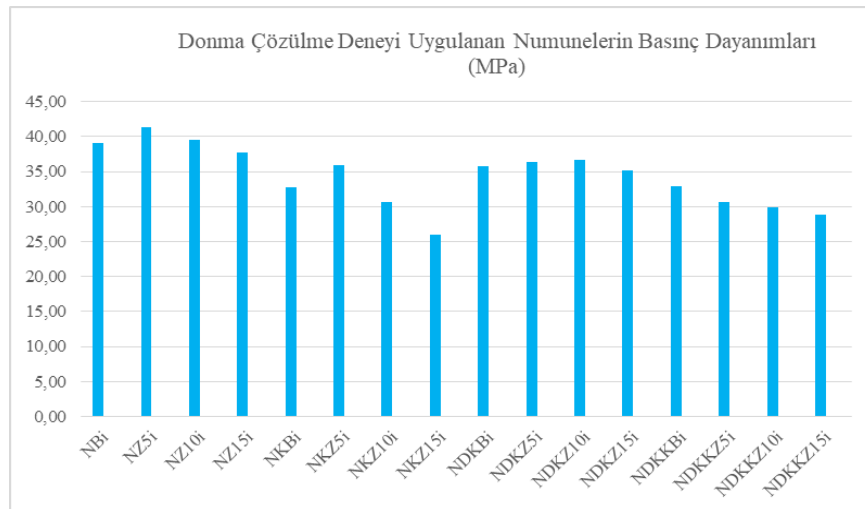
Çizelge 5.34. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	Donma Çözülme Deneyi Sonuçları		
	1.	2.	3.
NBi	38,94	38,27	39,88
NZ5i	40,23	43,15	40,4
NZ10i	39,19	41,39	38,16
NZ15i	38,29	37,78	36,91
NKBi	33,82	32,33	31,95
NKZ5i	35,49	35,63	36,4
NKZ10i	30,29	31,39	30,21
NKZ15i	25,16	25,16	27,74
NDKBi	35,97	35,96	35,35
NDKZ5i	36,72	36,19	36,2
NDKZ10i	37,03	36,68	36,45
NDKZ15i	36,76	34,26	34,22
NDKKBi	34,05	32,43	32,25
NDKKZ5i	30,95	30,63	30,391
NDKKZ10i	29,21	30,54	29,89
NDKKZ15i	29,07	28,72	28,58

Çizelge 5.35. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
	Donma Çözülme Deneyi
	Ortalama
NBi	39,03
NZ5i	41,26
NZ10i	39,58
NZ15i	37,66
NKBi	32,70
NKZ5i	35,84
NKZ10i	30,63
NKZ15i	26,02
NDKBi	35,76
NDKZ5i	36,37
NDKZ10i	36,72
NDKZ15i	35,08
NDKKBi	32,91
NDKKZ5i	30,66
NDKKZ10i	29,88
NDKKZ15i	28,79

Karışımda ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkı/katkısız olarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.38.'de verilmiştir.



Şekil 5.38. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

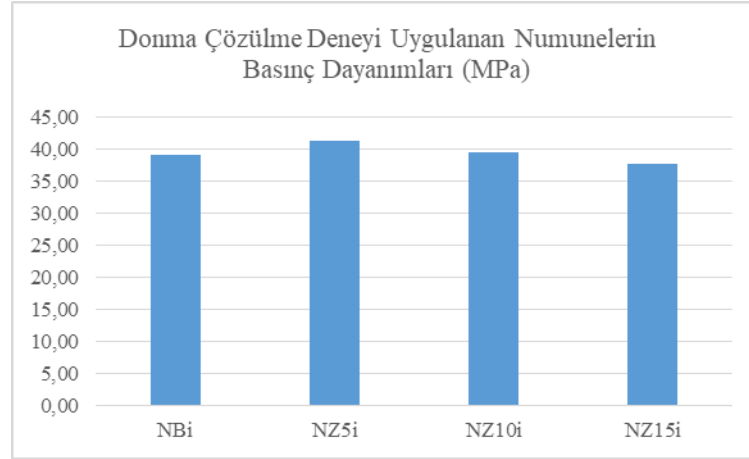
Donma çözülme deneyine tabi tutulan farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.36.'da verilmiştir.

Çizelge 5.36. Donma çözülme deneyine tabi tutulan farklı serilerdeki numunelerin basınç dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Donma Çözülme Deneyi Uygulanan Numunelerin Basınç Dayanımları (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NBi	39,03	100,00	0,00
NZ5i	41,26	105,71	5,71
NZ10i	39,58	101,41	1,41
NZ15i	37,66	96,49	-3,51
NKBi	32,70	83,78	-16,22
NKZ5i	35,84	91,83	-8,17
NKZ10i	30,63	78,48	-21,52
NKZ15i	26,02	66,67	-33,33
NDKBi	35,76	91,62	-8,38
NDKZ5i	36,37	93,18	-6,82
NDKZ10i	36,72	94,08	-5,92
NDKZ15i	35,08	89,88	-10,12
NDKKBi	32,91	84,32	-15,68
NDKKZ5i	30,66	78,55	-21,45
NDKKZ10i	29,88	76,56	-23,44
NDKKZ15i	28,79	73,76	-26,24

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numunelerin 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları birbirine paralel sonuçlar elde edilmişti. Donma çözülme deneyine tabi tutulan harç numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; donma çözülme etkisinin basınç dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarından bağımsız sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Karışım içerisinde ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerde %5 ve %10 oranında zeolit kullanımının basınç dayanımını iyileştirdiği ve genel itibariyle kullanılan öğütülmüş zeolitin $D_{max}=10$ mm zeolite göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

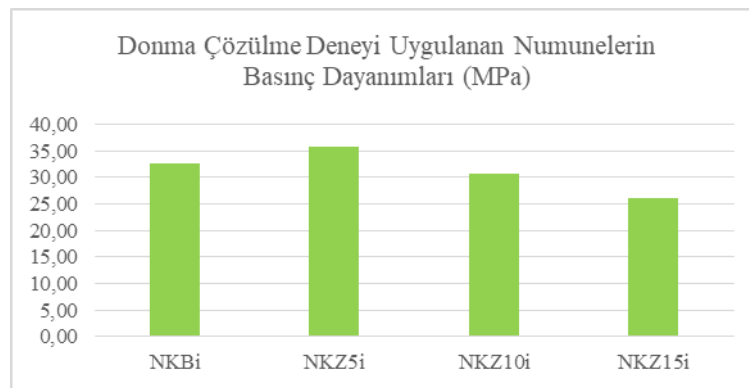
Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.39.'da verilmiştir.



Şekil 5.39. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numuneler üzerinde donma çözülme deneyi sonrası gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışım içerisinde %5 ve %10 oranında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. NZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %5,71 oranında ve NZ10i kodlu kontrol numunelerinin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %1,41 oranında daha yüksek çıkmıştır. Karışımında kullanılan %15 oranında zeolitin ise numunelerin basınç dayanımını %3,51 oranında azalttığı görülmüştür. En yüksek dayanım değeri 41,26 MPa ile NZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 37,66 MPa ile NZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.40.'ta verilmiştir.

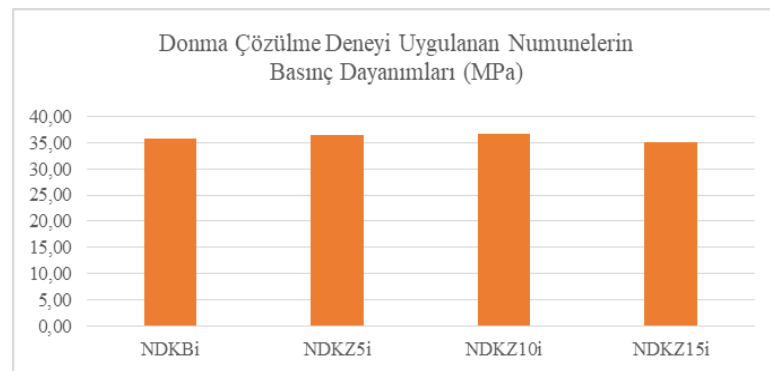


Şekil 5.40. Donma çözülme deneyine tabi tutulan hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin donma çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışımda %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %16,50 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı ve %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen NKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelere göre %8,17 oranında, NKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı %21,52 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı %33,33 oranında azalmıştır.

Hava sürükleyici katkıli olarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; %5 oranında zeolit kullanımının numunelerin basınç dayanımlarını iyileştirdiği, diğer oranlarda numunelerin basınç dayanımlarında kayıplar yaşandığı görülmektedir. NKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %9,60 oranında artmıştır. NKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %6,33 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %20,43 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin içerisinde en yüksek dayanım değeri 35,84 MPa ile NKZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 26,02 MPa ile NKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.41.'de verilmiştir.

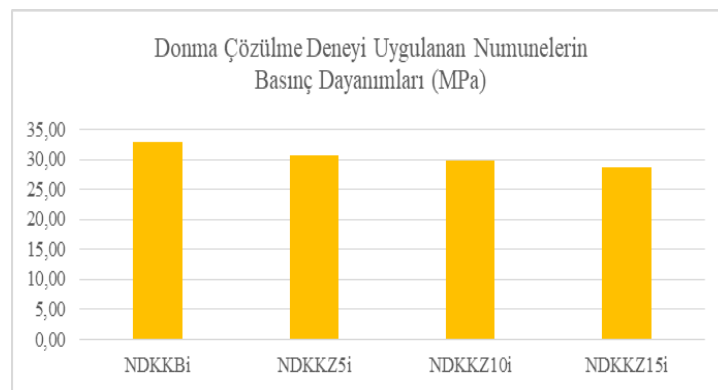


Şekil 5.41. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin donma çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışımlarda kullanılan dere kumunun yapısından kaynaklı dayanım kayıpları meydana gelmiştir fakat dere kumu kullanılarak üretilen bütün serilerde hava sürükleyici katkı numunelere göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Karışımda %5 ve %10 oranında zeolit kullanımı numunelerin basınç dayanımlarını iyileştirmiş, %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerine göre daha düşük sonuçlar sergilemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen NDKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu numunelerine göre %8,38 oranında azalmıştır. NDKZ5i kodlu numunelerde bu azalış %6,82 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerde %5,92 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerde %10,12 oranında olmuştur.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; en iyi sonuç %10 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. NDKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %1,71 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %2,68 oranında artış göstermiş, NDKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %1,90 oranında azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri 36,72 MPa ile NDKZ10i kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 35,08 MPa ile NDKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı olarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.42.'de verilmiştir.



Şekil 5.42. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin donma çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; dere kumunun granülometri özellikleri ve hava sürükleyici katkının harç numuneleri üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı numunelerin basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. NDKKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelere göre %15,68 oranında azalmıştır. Bu azalmayı sırasıyla %21,45'lik oran ile NDKKZ5i kodlu numuneler, %23,44'lük oran ile NDKKZ10i kodlu numuneler ve %26,24'lük oran ile NDKKZ15i kodlu numuneler takip etmiştir.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKKZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %6,85 oranında, NDKKZ10i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %9,21 oranında ve NDKKZ15i kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %12,52 oranında azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri 32,91 MPa ile NDKKBi kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 28,79 MPa ile NDKKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibariyle üretilen bütün serilerdeki numunelerin arasında agrega türü ve hava sürükleyici katkı parametrelerine göre basınç dayanımları değerlendirildiğinde; en yüksek basınç dayanımı 39,03 MPa ile NBi kodlu numunelerde elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 35,76 MPa ile NDKBi kodlu numuneler, 32,91 MPa ile NDKKBi kodlu numuneler ve 32,70 MPa ile NKBi kodlu numuneler izlemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde katkı kullanımına bağlı olarak NDKKBi kodlu numunelerin basınç dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %7,97 oranında azalmıştır.

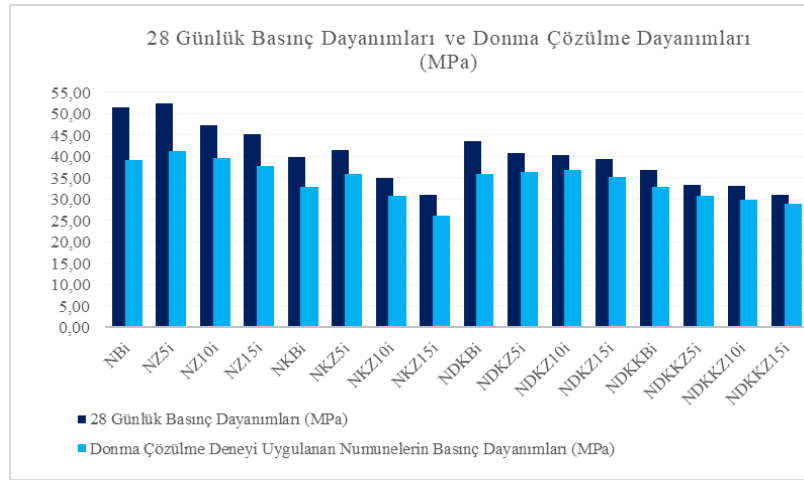
Karışımında farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan hava sürükleyici katkılı/katkısız 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; ince agrega kullanılarak katkısız olarak üretilen serilerde %5 ve %10 oranında zeolit kullanımı numunelerin basınç dayanımlarını iyileştirmiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen katkısız numunelerde ince agregalı numunelere benzer sonuçlar sergilemiş, karışımında %5 ve %10 oranında zeolit kullanımı numunelerin basınç dayanımlarını olumlu yönde etkilemiştir. En yüksek dayanım değeri %10 zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. İnce agrega ve hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerde de %5 oranında

zeolit kullanımı basınç dayanımlarını olumlu yönde etkilemiştir. İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin basınç dayanımları zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır. Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde karışımda kullanılan dere kumu bazı serilerdeki numunelerin donma çözülme dayanımını olumlu yönde etkilemiş ve ince agrega kullanılarak üretilen numunelere göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. 28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları ve arasındaki ilişkiler Çizelge 5.37.'de verilmiştir.

Çizelge 5.37. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişkiler

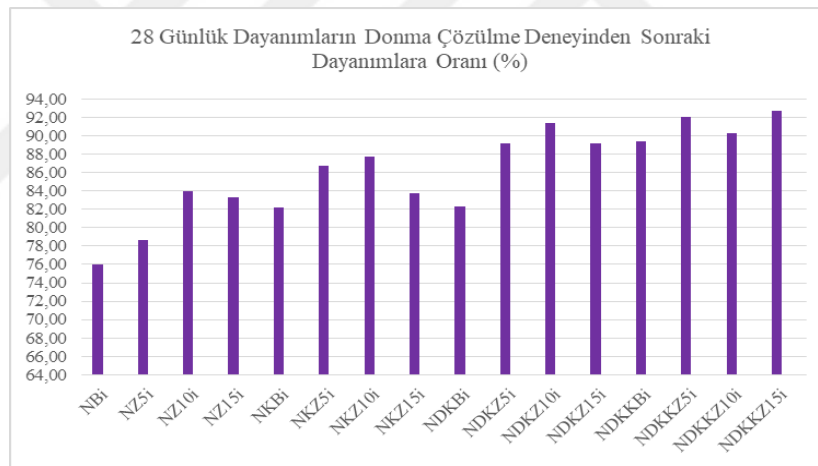
Numune Kodu	28 Günlük Basınç Dayanımları Ortalaması (MPa)	Donma Çözülme Deneyi Uygulanan Numunelerin Basınç Dayanımları (MPa)	28 Günlük Dayanımların Donma Çözülme Dayanımlarına Oranı (%)
NBi	51,33	39,03	76,04
NZ5i	52,42	41,26	78,71
NZ10i	47,13	39,58	83,98
NZ15i	45,23	37,66	83,26
NKBi	39,78	32,70	82,21
NKZ5i	41,31	35,84	86,76
NKZ10i	34,92	30,63	87,70
NKZ15i	31,07	26,02	83,76
NDKBi	43,43	35,76	82,35
NDKZ5i	40,79	36,37	89,16
NDKZ10i	40,18	36,72	91,38
NDKZ15i	39,34	35,08	89,17
NDKKBi	36,83	32,91	89,36
NDKKZ5i	33,29	30,66	92,10
NDKKZ10i	33,09	29,88	90,31
NDKKZ15i	31,05	28,79	92,72

Donma çözülme deneyine tabi tutulan ve 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçları Şekil 5.43.'te verilmiştir.



Şekil 5.43. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları

28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımlarına oranı Şekil 5.44.'te verilmiştir.



Şekil 5.44. 28 gün kür uygulanan numunelerin ve donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları oranı

Farklı oranlarda öğütülmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkı ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ve donma çözülme dayanımları arasındaki ilişkiler incelendiğinde; donma çözülme deneyi sonrasında numunelerin dayanım kayıplarında kullanılan zeolit oranına bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır fakat kullanılan zeolit miktarına, agrega türüne ve katkı kullanımına bağlı olarak numunelerin dayanımlarında kontrol numunelerine göre daha az oranda azalmalar meydana gelmiştir. En fazla dayanım kaybı ince agrega kullanılarak üretilen

katkısız kontrol numunelerinde meydana gelmiştir. Dere kumu ve hava sürükleyici katkılı olarak üretilen seriler hariç bütün numunelerde %10 oranına kadar karışıma giren zeolit miktarı arttıkça numunelerin dayanım kayıplarında azalmalar gözlenmiştir. En düşük dayanım kaybı %15 oranında zeolit ve dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde meydana gelmiştir. Diğer serilerdeki numunelerde %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde %10 oranında zeolit kullanılan numunelere göre daha yüksek dayanım kayıpları gözlenmiştir.

Çalışmada 40 μ ' a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkılı ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki 16 seri numunenin her 3 adeti donma çözülme deneyine tabi tutulmuş, daha sonra numuneler üzerinde eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Numunelerin eğilme dayanımı bu 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyinde elde edilen numune kırılma yükleri Çizelge 5.38.'de verilmiştir.

Çizelge 5.38. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyinde elde edilen kırılma yükleri

Numune Kodu	Numune Kırılma Yükleri (kN)		
	Donma Çözülme Dayanımı Deneyi Sonuçları		
	1.	2.	3.
NBi	3,321	3,395	3,153
NZ5i	3,756	3,731	3,903
NZ10i	2,964	2,664	2,861
NZ15i	3,021	3,200	3,163
NKBi	3,358	3,066	3,115
NKZ5i	3,449	3,500	3,595
NKZ10i	2,770	2,950	2,782
NKZ15i	2,555	2,569	2,588
NDKBi	2,808	2,883	2,674
NDKZ5i	2,724	2,438	2,607
NDKZ10i	2,778	2,638	2,574
NDKZ15i	2,758	2,852	2,719
NDKKBi	2,635	2,558	2,732
NDKKZ5i	2,464	2,550	2,728
NDKKZ10i	2,740	2,442	2,497
NDKKZ15i	2,439	2,219	2,308

Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 5.39.'da ve eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 5.40.'ta verilmiştir.

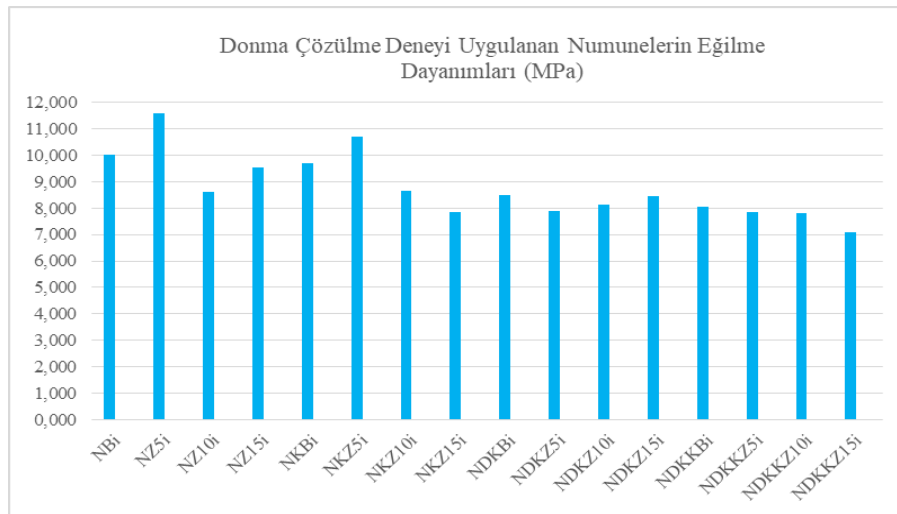
Çizelge 5.39. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)		
	Donma Çözülme Dayanımı Deneyi Sonuçları		
	1.	2.	3.
NBi	10,119	10,344	9,607
NZ5i	11,444	11,368	11,892
NZ10i	9,031	8,117	8,717
NZ15i	9,205	9,750	9,637
NKBi	10,231	9,342	9,491
NKZ5i	10,509	10,664	10,954
NKZ10i	8,440	8,988	8,476
NKZ15i	7,785	7,827	7,885
NDKBi	8,556	8,784	8,147
NDKZ5i	8,300	7,428	7,943
NDKZ10i	8,464	8,038	7,843
NDKZ15i	8,403	8,691	8,284
NDKKBi	8,029	7,794	8,324
NDKKZ5i	7,508	7,770	8,312
NDKKZ10i	8,348	7,440	7,608
NDKKZ15i	7,431	6,761	7,032

Çizelge 5.40. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının ortalaması

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)
	Donma Çözülme Deneyi
	Ortalama
NBi	10,023
NZ5i	11,568
NZ10i	8,622
NZ15i	9,531
NKBi	9,688
NKZ5i	10,709
NKZ10i	8,635
NKZ15i	7,833
NDKBi	8,496
NDKZ5i	7,890
NDKZ10i	8,115
NDKZ15i	8,460
NDKKBi	8,049
NDKKZ5i	7,863
NDKKZ10i	7,799
NDKKZ15i	7,075

Karışımda ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak hava sürükleyici katkı/katkısız olarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.45.'te verilmiştir.



Şekil 5.45. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki hava sürükleyici katkı ve katkısız numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

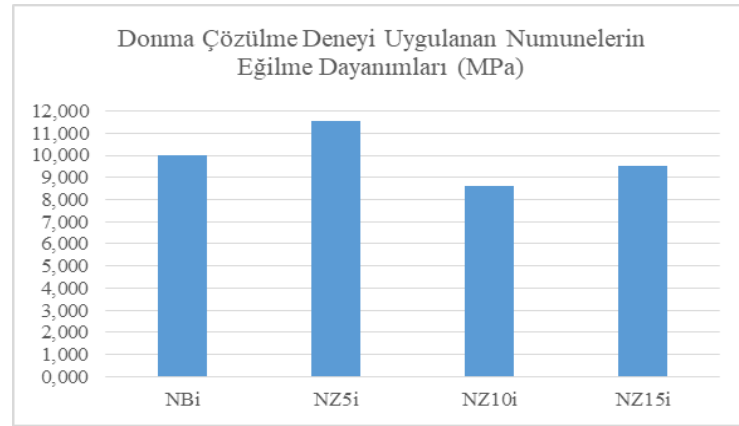
Donma çözülme deneyine tabi tutulan farklı serilerdeki 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunesine göre yüzdelik değişimleri Çizelge 5.41.'de verilmiştir.

Çizelge 5.41. Donma çözülme deneyine tabi tutulan farklı serilerdeki numunelerin eğilme dayanımlarının NBi kodlu kontrol numunelerine göre yüzdelik değişimleri

Numune Kodu	Donma Çözülme Deneyi Uygulanan Numunelerin Eğilme Dayanımları (MPa)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Durum (%)	Kontrol Numunesine Göre Yüzdelik Değişim (%)
NBi	10,023	100,00	0,00
NZ5i	11,568	115,41	15,41
NZ10i	8,622	86,02	-13,98
NZ15i	9,531	95,09	-4,91
NKBi	9,688	96,66	-3,34
NKZ5i	10,709	106,84	6,84
NKZ10i	8,635	86,15	-13,85
NKZ15i	7,833	78,14	-21,86
NDKBi	8,496	84,76	-15,24
NDKZ5i	7,890	78,72	-21,28
NDKZ10i	8,115	80,96	-19,04
NDKZ15i	8,460	84,40	-15,60
NDKKBi	8,049	80,30	-19,70
NDKKZ5i	7,863	78,45	-21,55
NDKKZ10i	7,799	77,81	-22,19
NDKKZ15i	7,075	70,58	-29,42

Karışım içerisinde farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; numunelerin donma çözülme deneyi sonrasında elde edilen eğilme dayanımlarının 7 günlük ve 28 günlük eğilme dayanımlarına paralel sonuçlar sergilediği görülmüştür. İnce agrega ile üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerde %5 oranında zeolit kullanımı numunelerin eğilme dayanımlarını olumlu yönde etkilemiş ve kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dere kumu ile üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. Genel itibariyle donma çözülme deneyi numunelerin eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir.

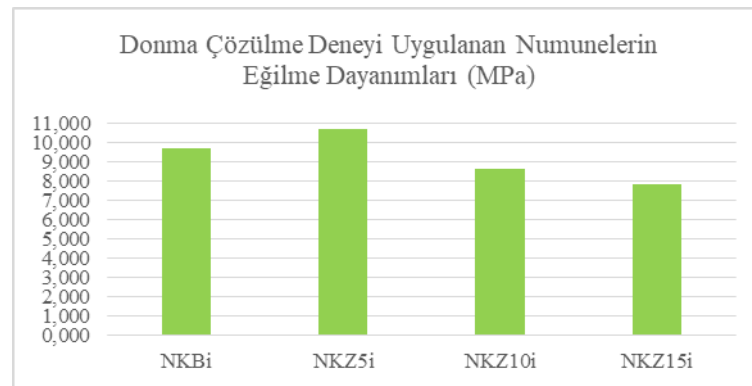
Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.46.'da verilmiştir.



Şekil 5.46. Donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Karışım içerisinde %5 oranında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar sergilemiştir. NZ5i kodlu numunelerin basınç dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %15,41 oranında artmıştır. %10 oranında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %13,98 oranında ve NZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelerine göre %4,91 oranında azalmıştır. NZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NZ10i kodlu numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek dayanım değeri 11,568 MPa ile NZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 8,622 MPa ile NZ10i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.47.'de verilmiştir.

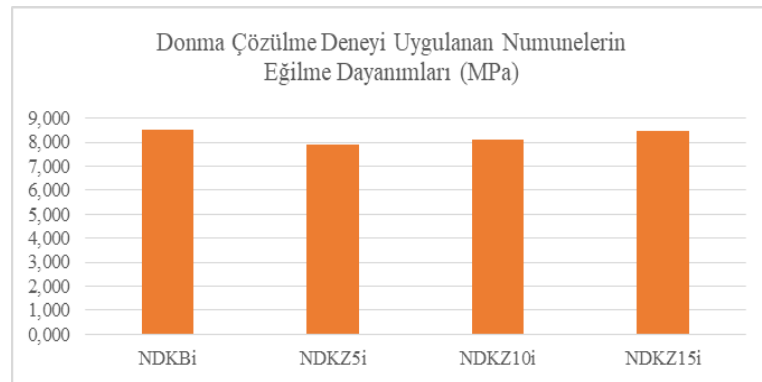


Şekil 5.47. Donma çözülme deneyine tabi tutulan hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; hava sürükleyici katkılı numunelerin eğilme dayanımları katkısız olarak üretilen numunelere paralel sonuçlar sergilemiştir. Hava sürükleyici katkının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi deney sonuçlarında açıkça görülmektedir. %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde NBi kodlu numunelerden daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Karışımda %0,1 oranında hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen NKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %3,34 oranında azalmıştır. NKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %6,84 oranında artmıştır. NKZ10i kodlu numunelerde %13,85 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerde %21,86 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde daha yüksek eğilme dayanımları elde edilmiş, diğer oranlarda zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımlarında kayıplar meydana gelmiştir. NKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %10,54 oranında artmıştır. NKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %10,87 oranında ve NKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NKBi kodlu numunelere göre %19,15 oranında azalmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanılarak üretilen numunelerin içerisinde en yüksek dayanım değeri 10,709 MPa ile NKZ5i kodlu numunelerde, en düşük dayanım değeri 7,833 MPa ile NKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımda ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.48.'de verilmiştir.

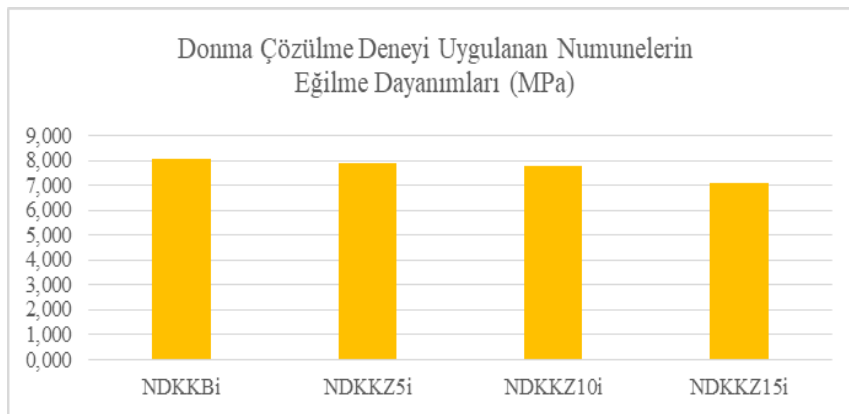


Şekil 5.48. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; karışımlarda kullanılan dere kumunun yapısında çok ince taneler içermemesinden dolayı ince agrega ile üretilen numunelere göre daha düşük eğilme dayanımları elde edilmiştir. Üretilen diğer serilerden farklı olarak en düşük dayanım değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen NDKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu numunelere göre %15,24 oranında, NDKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı %21,28 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı %19,04 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı %15,60 oranında azalmıştır.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı ile NDKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımları birbirlerine çok yakın değerler sergilemiştir. NDKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %7,12 oranında, NDKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %4,48 oranında ve NDKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %0,43 oranında azalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değeri 8,496 MPa ile NDKBi kodlu numunelerde, en düşük eğilme dayanımı değeri 7,890 MPa ile NDKZ5i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Karışımında ince agrega yerine dere kumu ve farklı oranlarda öğütülmüş zeolit kullanılarak hava sürükleyici katkı olarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.49.'da verilmiştir.



Şekil 5.49. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Harç karışımlarında ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin deney sonuçları incelendiğinde; dere kumunun yapısında ince taneler içermemesi ve hava sürükleyici katkının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi deney sonuçlarında açıkça görülmektedir. Dere kumu ve hava sürükleyici katkılı olarak üretilen NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NBi kodlu kontrol numunelerine göre %19,70 oranında azalmıştır. Bu azalmayı sırasıyla %21,55'lik oran ile NDKKZ5i kodlu numuneler, %22,19'lük oran ile NDKKZ10i kodlu numuneler ve %29,42'lik oran ile NDKKZ15i kodlu numuneler takip etmiştir.

İnce agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları kendi içerisinde incelendiğinde; NDKKZ5i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %2,31 oranında, NDKKZ10i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %3,10 oranında ve NDKKZ15i kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKKBi kodlu numunelere göre %12,10 oranında azalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değeri 8,049 MPa ile NDKKBi kodlu numunelerde, en düşük basınç dayanımı değeri 7,075 MPa ile NDKKZ15i kodlu numunelerde elde edilmiştir.

Genel itibariyle üretilen bütün serilerdeki numunelerin arasında agrega türü ve hava sürükleyici katkı parametrelerine göre eğilme dayanımları değerlendirildiğinde; en yüksek eğilme dayanımı 10,023 MPa ile NBi kodlu numunelerde elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 9,688 MPa ile NKBi kodlu numuneler, 8,496 MPa ile NDKBi kodlu numuneler ve 8,049 MPa ile NDKKBi kodlu numuneler izlemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen numunelerde katkı kullanımına bağlı olarak NDKKBi kodlu numunelerin eğilme dayanımı NDKBi kodlu numunelere göre %5,06 oranında azalmıştır.

Karışımında farklı oranlarda 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanılarak üretilen ve donma çözülme deneyine tabi tutulan hava sürükleyici katkılı/katkısız 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; ince agrega kullanılarak katkısız olarak üretilen serilerde en yüksek dayanım değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde %10 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelere göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. İnce agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçlarına benzer şekilde en yüksek eğilme dayanımı değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir.

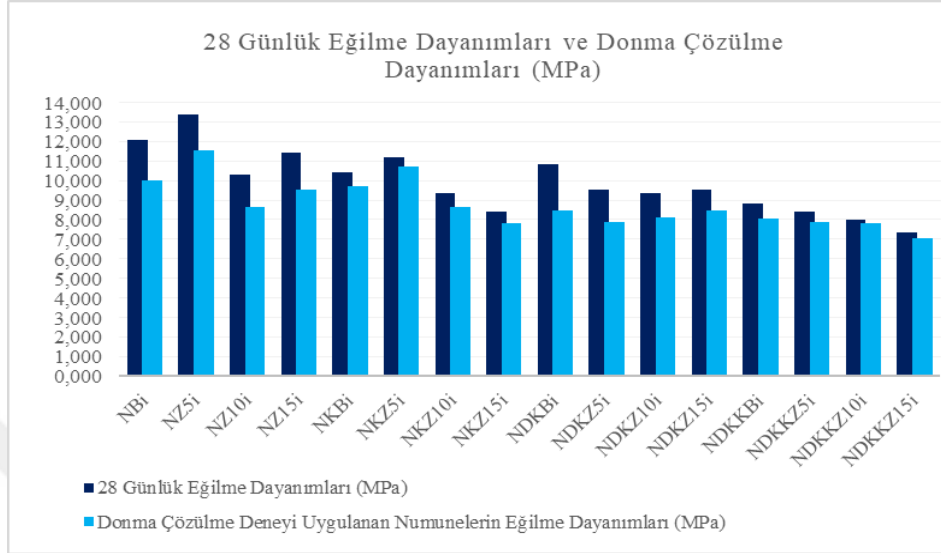
Daha yüksek oranlarda zeolit kullanımına bağı olarak numunelerin eğilme dayanımları azalmıştır. Dere kumu kullanılarak üretilen katkısız numunelerde ise en düşük dayanım değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde tespit edilmiştir. %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı dere kumlu kontrol numunelerine çok yakın değerler sergilemiştir. Dere kumu ve hava sürükleyici katkı olarak üretilen serilerde zeolit kullanımına bağı olarak numunelerin eğilme dayanımları azalış göstermiştir. Genel itibariyle ince agrega kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı numunelerin ve dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkı numunelerin donma çözülme deneyi sonrası eğilme dayanımları aynı serideki numunelerin donma çözülme sonrası basınç dayanımlarına paralel sonuçlar sergilemiştir.

28 gün kür uygulanan ve donma çözülme deneyine tabi tutulan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları ve arasındaki ilişkiler Çizelge 5.42.'de verilmiştir.

Çizelge 5.42. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ve 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişkiler

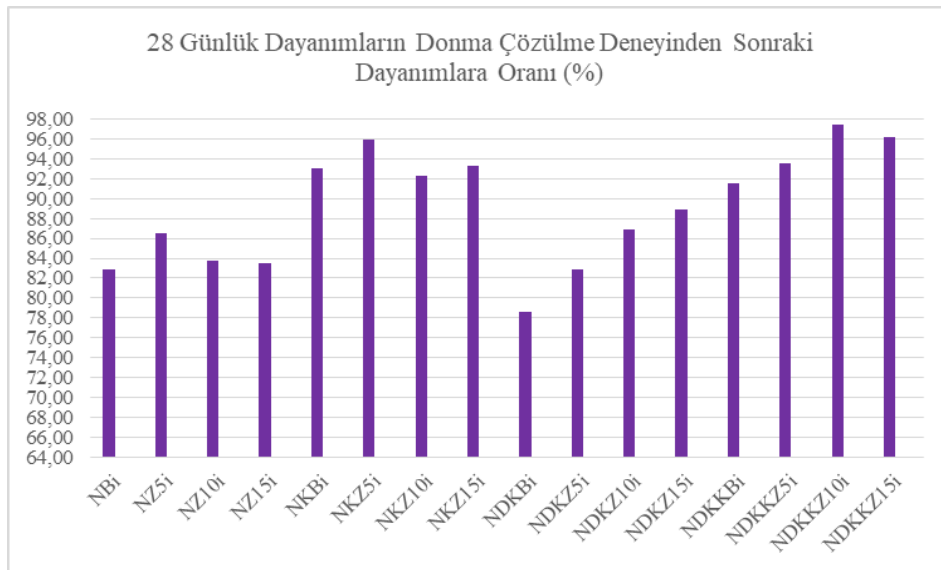
Numune Kodu	28 Günlük Eğilme Dayanımları Ortalaması (MPa)	Donma Çözülme Deneyi Uygulanan Numunelerin Eğilme Dayanımları (MPa)	28 Günlük Dayanımların Donma Çözülme Dayanımlarına Oranı (%)
NBi	12,092	10,023	82,89
NZ5i	13,378	11,568	86,47
NZ10i	10,293	8,622	83,76
NZ15i	11,420	9,531	83,46
NKBi	10,418	9,688	92,99
NKZ5i	11,163	10,709	95,93
NKZ10i	9,352	8,635	92,34
NKZ15i	8,398	7,833	93,26
NDKBi	10,814	8,496	78,56
NDKZ5i	9,525	7,890	82,84
NDKZ10i	9,342	8,115	86,87
NDKZ15i	9,515	8,460	88,90
NDKKBi	8,797	8,049	91,49
NDKKZ5i	8,406	7,863	93,54
NDKKZ10i	8,006	7,799	97,41
NDKKZ15i	7,355	7,075	96,19

Donma çözülme deneyine tabi tutulan ve 28 gün kür uygulanan 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 5.50.'de verilmiştir.



Şekil 5.50. Donma çözülme deneyine tabi tutulan ve 28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımları

28 gün kür uygulanan numunelerin eğilme dayanımlarının donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımlarına oranı Şekil 5.51.'de verilmiştir.



Şekil 5.51. 28 gün kür uygulanan numunelerin ve donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımları oranı

Farklı oranlarda öğütölmüş zeolit, ince agrega ve ince agrega yerine dere kumu kullanarak hava sürükleyici katkılı ve katkısız olarak üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları ve donma çözölme dayanımları arasındaki ilişkiler incelendiğinde; donma çözölme deneyi sonrasında bütün serilerdeki numunelerde dayanım kayıpları gözlenmiştir. Bu dayanım kayıpları karışımında kullanılan zeolit miktarı, agrega cinsi veya katkı durumuna göre farklı oranlarda meydana gelmiştir. En yüksek dayanım kaybı dere kumu kullanarak üretilen katkısız numunelerde gözlenmiştir. En düşük dayanım kaybı ise dere kumu ve %10 oranında zeolit kullanarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde elde edilmiştir. İnce agrega ile üretilen katkılı ve katkısız numunelerde donma çözölme deneyi sonrası dayanım kayıplarıyla alakalı herhangi bir bağıntı kurulamamakla birlikte dere kumu kullanarak üretilen katkısız numunelerin donma çözölme deneyi sonrası eğilme dayanımlarındaki kayıplar zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır. Dere kumu ve hava sürükleyici katkılı numunelerde %10 oranında zeolit kullanımına kadar numunelerin eğilme dayanımlarındaki kayıplar azalmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın bu bölümünde elde edilen tüm deneysel sonuçlar genelleme yapılarak özetlenmiştir ve sonuçlar hakkında değerlendirme yapılarak önerilerde bulunulmuştur.

6.1. Sonuçlar

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan harçlar üzerinde kıvam tayini deneyi yapılmamıştır. Üretim ve kalıplama aşamasında yapılan gözlemler doğrultusunda harç numuneleri kıvam yönünden değerlendirildiğinde;

Yapılan literatür araştırmasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda zeolitin boşluklu bir yapıya sahip olması dolayısıyla su emmeyi arttırdığı daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Üretim aşamasında hazırlanan harçlarda zeolit oranına, kullanılan agrega cinsine ya da katkı kullanımına göre ciddi kıvam farklılıkları dikkat çekmektedir. En yoğun kıvamda harç numunesi %15 oranında zeolit kullanılarak ince agrega ile üretilen hava sürükleyici katkısız numunelerde elde edilmiştir. Karışımda yüksek oranda zeolit kullanılması numunelerin su emmesini arttırmış dolayısıyla daha yoğun bir çimento hamuru elde edilmiştir. En az yoğun harç numunesi ise zeolit ikamesiz olarak dere kumu ile üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde gözlenmiştir. Bunun sebebi dere kumunun yapısında çok ince taneler içermemesi dolayısıyla az su emmesi ve hava sürükleyici katkının numunelerin işlenebilirliğini arttırmasıdır. Bütün serilerde karışımda kullanılan zeolit oranı arttıkça numunelerin su emme oranı artmış daha yoğun kıvamda harç numuneleri elde edilmiştir.

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; ince agrega ile üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları ile zeolit kullanımına bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır. Her iki seride de en yüksek eğilme dayanımı değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. Daha yüksek oranlarda zeolit kullanımı numunelerin eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin eğilme dayanımları zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır.

İnce agrega ile üretilen hava sürükleyici katkılı/katkısız numuneler ve dere kumu ile üretilen katkısız numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları ile zeolit kullanımına

bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır. İnce agrega ile üretilen katkısız numunelerde en yüksek eğilme dayanımı değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde, en düşük eğilme dayanımı değeri ise %10 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. İnce agrega ile üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları aynı serideki numunelerin 7 günlük eğilme dayanımlarına paralel sonuçlar sergilemiştir. Dere kumu ile üretilen katkısız numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde; en yüksek dayanım değeri zeolit ikamesiz olarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. Bu serilerde %5 ve %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen numuneler birbirlerine yakın sonuçlar sergilemiştir. En düşük eğilme dayanımı değeri %10 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. Dere kumu ile üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerin eğilme dayanımı zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır.

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; ince agrega ile üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin 7 günlük basınç dayanımları ile zeolit kullanımına bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır. Her iki seride de en yüksek basınç dayanımı değeri %5 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde elde edilmiştir. Daha yüksek oranlarda zeolit kullanımı numunelerin basınç dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımları zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır. Aynı serilerdeki numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 7 günlük basınç dayanımlarına paralel sonuçlar göstermiştir.

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde; hem hava sürükleyici katkılı hem de katkısız serilerde zeolit kullanımına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları azalmıştır. Aynı serilerdeki numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 7 günlük basınç dayanımlarına paralel sonuçlar göstermiştir.

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde yapılan donma çözülme deneyi sonuçları incelendiğinde; donma çözülme deneyi sonrasında numunelerin eğilme dayanımlarında meydana gelen dayanım kayıpları ve zeolit oranına bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır. En düşük dayanım kaybı %10 oranında zeolit ve dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde, en yüksek dayanım kaybı ise dere kumu kullanılarak üretilen katkısız numunelerde elde edilmiştir.

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde yapılan donma çözülme deneyi sonuçları incelendiğinde; donma çözülme deneyi sonrasında numunelerin basınç dayanımlarında

meydana gelen dayanım kayıpları ve zeolit oranına bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır. En düşük dayanım kaybı %15 oranında zeolit ve dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde, en yüksek dayanım kaybı ise ince agrega kullanılarak üretilen katkısız numunelerde elde edilmiştir.

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan donma çözülme deneyi sonuçları incelendiğinde; donma çözülme deneyi sonrasında katkısız olarak üretilen numunelerin basınç dayanımlarında meydana gelen dayanım kayıpları zeolit kullanımına bağlı olarak azalmıştır. Hava sürükleyici katkılı olarak üretilen numunelerin dayanım kayıpları ile zeolit oranına bağlı olarak doğrusal bir bağıntı kurulamamıştır. En düşük dayanım kaybı %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde, en yüksek dayanım kaybı ise kontrol numunesinde elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda karışıma giren zeolit miktarı ve donma çözülme deneyi sonrası numunelerde yaşanan dayanım kayıpları arasında bir bağlantı kurulamamıştır. Fakat genel itibariyle agrega cinsinin değiştirilmesi, karışımda hava sürükleyici katkı kullanımı ve karışımda farklı oranlarda zeolit kullanımı donma çözülme deneyinde yaşanan dayanım kayıplarını daha az oranlara indirmiştir. Bütün serilerde kontrol numunesine göre daha az dayanım kayıpları meydana gelmiştir.

6.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışma sonucunda $D_{max}=10$ mm zeolit kullanılarak üretilen numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında zeolitin boşluklu yapısından dolayı ciddi azalmalar meydana gelmiştir. Katkılı olarak üretilen serilerde hava sürükleyici katkının beton numuneleri içerisine hava boşlukları sürüklemesi sebebiyle numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarındaki azalmalar daha yüksek oranlara çıkmıştır. Genel itibariyle farklı oranlarda zeolit kullanılarak üretilen bütün serilerde donma çözülme deneyi sonrasında kontrol numunesine kıyasla daha düşük dayanım kayıpları meydana gelmiştir. Fakat katkısız olarak üretilen serilerde karışımda kullanılan $D_{max}=10$ mm zeolit numunelerin donma çözülme dayanıklılığına, basınç dayanımındaki kayıpları tolere edecek derecede katkı sağlamamıştır. Çalışmada üretilen numunelerin kıvam analiziyle alakalı herhangi bir çalışma yapılmamıştır fakat üretim aşamasında karışımda kullanılan zeolit oranına bağlı olarak daha yoğun kıvamda harç numuneleri elde

edilmiştir. Bunun sebebi zeolitin sahip olduğu boşluklu yapı sebebiyle yüksek su emme özelliği gösterdiği düşünülmektedir.

Çalışmada 40 μ 'a kadar öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları incelendiğinde; ince agrega kullanılarak üretilen numunelerde %5 oranında zeolit kullanılması numunelerin dayanım değerlerini iyileştirmiştir. Daha yüksek oranlarda karışıma giren zeolit miktarına bağlı olarak numunelerin dayanım değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Numunelerin dayanımlarındaki bu azalmalara rağmen %15 oranında zeolit kullanılarak üretilen numunelerde bile zeolit ikamesiz olarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerden daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir.

Karışımında dere kumu kullanılarak üretilen serilerde ince agrega kullanılarak üretilen serilere göre daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak dere kumunun yapısında ince taneli malzemeler içermemesi dolayısıyla numunelerin dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Dere kumunun yapısından dolayı sebep olduğu dayanım kayıplarına rağmen donma çözülme deneyi sonrasında en düşük dayanım kayıpları dere kumu kullanılarak üretilen hava sürükleyici katkılı numunelerde meydana gelmiştir.

Öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen serilerde de zeolit kullanımına bağlı olarak daha yoğun kıvamda harçlar gözlemlenmiştir. Genel itibariyle karışımında öğütülmüş zeolit kullanılarak üretilen bütün serilerde kontrol numunesine göre donma çözülme dayanımı daha yüksek numuneler elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda; $D_{max}=10$ mm boyutunda zeolitin sebep olduğu ciddi dayanım kayıplarından dolayı yapı malzemesi olarak kullanılamayacağı düşünülmektedir. Fakat zeolit kullanımına bağlı olarak artan su emme oranlarını belirlemek ve su emmeye bağlı olarak elde edilen yoğun kıvamdaki harçların önüne geçmek adına sertleşmemiş harç numuneleri üzerinde kıvam analizi deneyleri yapılabilir. Üretilen beton karışımlarında ön deneylerle uygun kullanım dozajı belirlenerek akışkanlaştırıcı katkıları kullanılırsa, yüksek oranda zeolit içeren uygun kıvamlı, daha düşük su/çimento oranına sahip dolayısıyla daha yüksek dayanımlı numuneler elde edilebilir.

Agrega cinsine bağlı olarak karışımında 40 μ ' a kadar öğütülmüş zeolitin yapının kullanım amacına göre uygun oranlar belirlenerek yapı malzemesi olarak kullanılmasının hem eğilme ve basınç dayanımlarına hem de donma çözülme dayanıklılığına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Karışımında ince agrega yerine kullanılan dere kumunun donma çözülme deneyi sonrasında numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarını iyileştirdiği dolayısıyla donma çözülme etkisine karşı karışım içerisinde dere kumu kullanılmasının avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- ACI 201.2R, 2001, Guide to Durable Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ASTM C310, 1961, Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Slow Freezing in Air and Thawing in Water.
- ASTM C597-83, 2002, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Philadelphia.
- ASTM C666 / C666M-15, 2015, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C672-84, 1984, Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals.
- ASTM C944-99, 1999, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method, ASTM International, West Conshohocken, PA,
- Bilim, C., 2011, Çimento Harçlarında İkame Malzemesi Olarak Zeolit Ve Silis Dumanı Kullanımı, Bilim, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 339-345. Mersin.
- Bozkurt, N. ve Karaca, E. O., 2019, Atık Taş Tozları ile Üretilen Harçların Dayanım ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 11-20
- Bryant, M., 1990, How to Make Concrete That Will Be Immune to the Effects of Freezing and Thawing. Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, ACI SP-122, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- Dayı, M., Artuntaş, H. Y. ve Çavuş, M., 2013, Zeolit, Uçucu Kül ve Atık Cam Malzemelerin Portland Kompoze Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 28, No 3, 491-499
- Erdem, T. R. ve Öztürk, U. A., 2012, Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 85-91.
- Geven, E., 2019, Hava Sürükleyici ve Mineral Katkı Kullanımının Çimentolu Sistemlerin Geçirgenlik Özelliklerine Ve Donma Çözülme Direncine Etkisi, T.C. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Gökçer, B., Yıldız, S. ve Keleştemur, O., 2013, Atık Mermer Tozu Ve Cam Lif İçeren Harç Numunelerinin Donma Çözülme Etkisi Altındaki Davranışları. SDU International Technologic Science, 18-30.

- Gönen, T., Yazıcıoğlu, S. ve Demirel, B., 2007, Mineral Katkıların Donma- Çözülme Sonrası Betonun Bazı Özelliklerine Etkisi, TCMB 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete, 757-767.
- Gönen, T. ve Yazıcıoğlu, S., 2015, Pomza Agregalı ve Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma Çözülme Direnci, 9. Ulusal Beton Kongresi
- Güçlüer, K., 2016, Zeolit Ve Metakaolinin Gazbeton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Adıyaman, 338-343.
- Janssen, D.J. and Snyder, M. B., 1994, Resistance of Concrete to Freezing and Thawing. SHRP-C-391. Strategic Highway Research Program, National Science Foundation, Washington, D.C.
- Kılınçarslan, Ş., 2007, Zeolit İçeren Betonların Termomekanik Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Isparta, 262-267.
- Koçak, Y. ve Savaş, M., 2015, Zeolit İkameli Betonların Mgso4 Etkisine Karşı Performansı, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, 418-425.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B. and Panarese, W. C., 2002, Design and Control of Concrete Mixtures, 14th ed. Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- Kurbetçi, Ş., Erdoğan, Ş. ve Yıldız, A. R., 2007, Donma-Çözülmenin Farklı Kür Görmüş Kendiliğinden Yerleşen Betonlar Üzerindeki Etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 251-258.
- NCHRP, 1987, D-Cracking of Concrete Pavements, NCHRP Synthesis Report 134, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Ozyıldırım, C., 1993, Durability of Concrete Bridges in Virginia, ASCE Structures XI Proceedings: Structural Engineering in Natural Hazards Mitigation, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y., 996-1001.
- Özden, Ç., 2010, Polimer Betonların Donma Çözülme Etkisine Dayanıklılığı, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özyıldırım, C., 2007 Hava Sürükleyici Katkıların Beton Dayanıklılığındaki Yeri Principal Research Scientist Virginia Department of Transportation Virginia, ABD, 37-52.
- Sarıkaya, H., 2006, Zeolit Katkılı Betonların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sarıkaya, H., Şengün, N., Başyigit, C. ve Altındağ, R., 2009, Zeolit Katkılı Betonların Elastisite Modülünün Tahmin Edilmesi, e-Journal of New World Sciences Academy, Aydın, 483-494.

- Sevim, U. K. ve Okumuş, N., 2011, Zeolit ve Silika Dumanı Katkılı Betonların Mekanik Ve Geçirimsizlik Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Antakya, 57-63.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C. ve Koruç, Ş., 2003, Agrega Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 43-50.
- Şişman, B. C., Kocaman, İ. ve Gezer, E., 2008, Doğal Zeolitten Üretilen Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, Tekirdağ, 187-195.
- Topçu, B. İ. ve Canbaz, M. 2004, Silis Dumanlı Betonlarda Donma-Çözülme Etkisini İncelenmesi. Beton Kong.THBB, İstanbul.
- Topçu, B. İ. Ve Canbaz, M. 2008, Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Harçlarda Donma Çözülme. Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XXI, 2-16.
- TS EN 196-1, 2016, Çimento Deney Metotları, Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706, 1980, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 707, 1980, Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, 2016, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008, 2003, Beton Karma Suyu, Numune Alma, Deneyler Ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3449, 1981, Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altındaki Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3526, 1980, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3529, 1980, Beton Agregalarında Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624, 1981, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme Ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 4045, 1985, Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-4, 2000, Kagir Birimler- Deney Metotları -Bölüm 4: Tabii Tas Kargir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-7, 2003, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-1, 2013, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2, 2019, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabii Tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2019, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., 2004, Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 83-88.
- Whiting, D.A. and Nagi, M. A., 1998, Manual of Control of Air Content in Concrete. Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- Yıldız, S., Demirli, H. İ. ve Keleştemur, O., 2006, Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 375-383.
- Yıldız, K., 2012, Pomza ve Zeolit Katkılı Betonun Yol Kaplamalarında Kullanılabilirliği ve Nacl Etkisinin Araştırılması, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Ankara, 69-79.
- Yörükoğulları, E., 2005, Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı, Madencilik Bülteni, 75, 40-42.