





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Zeolit İkameli Betonlara Sodyum Klorürün Etkisi

 Yılmaz KOÇAK<sup>a,\*</sup>,  Muhsin SAVAŞ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Özsoy Mimarlık, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [yilmazkocak@duzce.edu.tr](mailto:yilmazkocak@duzce.edu.tr)

DOI : 10.29130/dubited.514706

### ÖZET

Çimento ve puzolanlar bu günün hızlı gelişen yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme yapı tasarımında dayanımın yanında dayanıklılık da çağımızda giderek önem kazanmaktadır. Zeolit gibi puzolanik malzemeler, ekonomik ve ekolojik faktörler nedeniyle çimento ve beton sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada, Türkiye'de oldukça zengin kaynaklara sahip olan zeolitin ikamesi ile üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma, sodyum klorür (NaCl) etkisi altındaki zeolit ikameli betonların davranışını araştırmak için yapılmıştır. Bu amaçla zeolit sırasıyla, %0, %10 ve %20 oranlarında Portland çimentosu yerine ikame edilerek 3 farklı çimento elde edilmiştir. Her beton grubu için bu çimentolarla üretilmiş toplam 54 adet 15x15x15 cm ebadında küp örnekler üretilmiştir. Örnekler hazırlanırken çökme miktarı 7 ile 10 cm arasında olacak şekilde beton karışım dizaynı yapılmıştır. Üretilen sertleşmiş beton örnekleri üzerinde birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri, üç farklı beton türü üzerinde, 28 gün 23±2 °C suda, daha sonra NaCl ve beton yaşı faktörünün iki düzeyinde (56 ve 90 gün) kür edilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sertleşmiş beton örneklerinin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kapilerite katsayısı, ultrases geçiş hızı, görünür boşluk oranı, su emme oranı ve birim hacim ağırlık deneylerinin tümünün birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento, Zeolit, Sodyum klorür, Kapiler su emme, Basınç dayanımı

## Effects of Sodium Chloride on Concretes Substituted Zeolite

### ABSTRACT

Cement and pozzolans have become common building materials in today's fast developing construction sector. Due to economic and ecological factors, natural pozzolan materials like zeolite are intensely used in the cement and concrete technology. In this study, it is tried to state the physical and mechanic characteristics of the concrete produced with zeolite substitution in which Turkey is quite rich.

Geliş: 18/01/2019, Düzeltme: 11/03/2019, Kabul: 15/03/2019

This study was designed to investigate the behavior of zeolite-substituted concretes under the effect of sodium chloride (NaCl). In the purpose, Portland cement, 0%, 10% and 20% zeolite, which were substituted for Portland cement, a total of 3 different cements have been used. 15x15x15 cm cube samples have been made for each concrete group which was produced with these cements and this makes totally 54 units. While preparing the samples for the study, a mix design have been water absorption, porosity, ultrasonic velocity, capillary water absorption, splitting tensile strength and compressive strength experiments have been done. Hardened concrete tests have been done on three different types of concrete, for 28 days, in 23±2 °C water, then on the concrete samples which are cured NaCl of the media factor and in the level 2 (56 and 90 days) of concrete age factor. As a result, it was determined that the compressive strength, capillary water absorption, ultrasonic velocity, porosity, water absorption and unit weight of the cured concrete specimens were in coherent with each other.

Keywords: Cement, Zeolite, Sodium chloride, Capillary water absorption, Compressive strength

## I. GİRİŞ

**B**eton, ekonomik katkısının yanı sıra fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanım ve dayanıklılık özellikleriyle inşaat sektöründe geniş kullanım alanları bulmuş bir yapı malzemesi olarak dikkat çekmektedir. Bu nedenle betonun özelliklerini ve performansını geliştirmek için üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bu araştırmalarda doğal (tras, zeolit, diatomit gibi) [1-5] ve yapay (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi) [6-9] mineral katkıları kullanılmaktadır. Bu malzemelerden doğal mineral katkı sınıfında olan zeolit, inşaat sektöründe çimento ve beton içerisinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Doğada bilinen 150 farklı türde zeolit mineralinden 40'ı, oldukça saf rezervler halinde ve büyük miktarlarda bulunmaktadır [10]. Kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddeleri arasında bulunan zeolitleri diğer minerallerden ayıran, yapı içerisinde  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^+$  gibi tek ve iki değerlikli katyonlarla dolu olan halka şeklindeki kanallarda (oksijen pencereleri) sarılı halde su moleküllerinin bulunmasıdır. Zeolitlerin 100-350 °C de ısıtılmasıyla bu moleküller, yapıda herhangi bir değişim olmadan yapıyı terk etmektedirler. Ayrıca zeolitler çok küçük gözenekli yapıya sahip malzemelerdir [11,12]. Bunun için zeolitin çimento ve beton sektöründe kullanımının önemli olduğu düşünülmektedir.

Bugüne kadar beton tasarımı konusunda yapılan çalışmalarda, beton kalitesini artırmak, çevreye verilen zararlı etkilerini azaltmak ve ekonomi gibi nedenlerden dolayı genellikle uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi yapay puzolanlar üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır [6-9,13,14]. Ancak beton tasarımında yüksek puzolanik aktiviteye sahip ve yeraltı kaynakları bakımından zengin olduğumuz zeolit gibi doğal puzolanlar üzerinde, özellikle dayanıklılık özelliklerini belirlemek için yapılan çok fazla araştırmaya rastlanmamıştır. Araştırmalar genellikle betonda kullanılan çeliğin korozyonu üzerinde yoğunlaşırken, betonun dayanıklılığı üzerinde yapılan çalışmalarda nihai sonuca ulaşamamıştır. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada, betona etkileyen zararlı çevresel etkilerden olan

tuzlu ortamda betonun performansı araştırılmıştır. Bu ortamlarda bulunan beton ve betonarme elemanlar özellikle denizlere yakın ve kıyı şeridinde bulunan kısımlarda yer almaktadır ve deniz suyu ile deniz ortamının oluşturduğu koşullardan etkilenmektedir. Bu kısımlarda bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanların değişik fiziksel ve kimyasal etkiler sonucunda dayanım ve durabilitesini kaybettiği bilinmektedir [15].

Bu etkilerden biri olan deniz sularında %3-5 arasında değişen değişik türlerde ve miktarlarda tuzlar yer almaktadır [16]. Bu oran dikkate alınarak yapılan bu çalışma, %5 oranında NaCl ortamındaki zeolit ikameli beton örneklerinin performansını, referans beton örnekleri ile kıyaslamak amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla çimento ile ağırlıkça %0 (referans), %10 ve %20 oranlarında zeolit ikame edilerek 3 tip çimento elde edilmiş, bu çimentolarla 3 grup beton örneği üretilmiş ve bu beton örneklerinin özellikleri birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı gibi deneylerle incelenmiştir.

## II. MALZEME VE YÖNTEM

### A. MALZEME

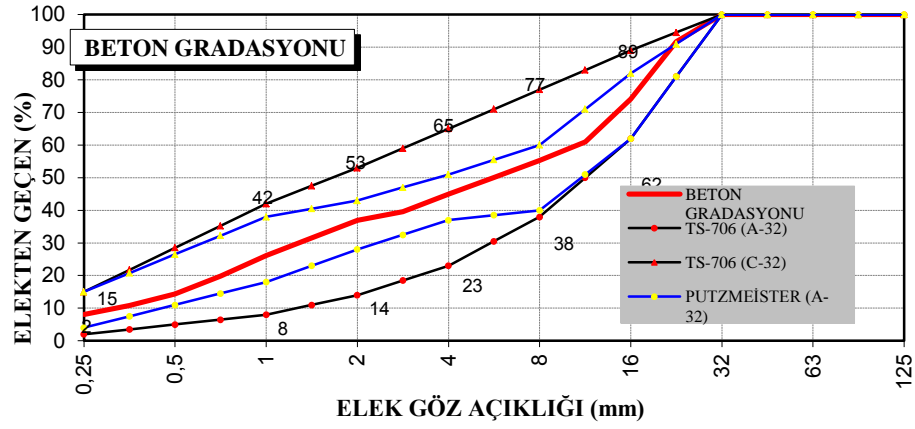
Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42,5 R tipi Portland çimento, mineral katkı olarak zeolit kullanılmıştır. Çimento, Bolu Çimento Fabrikası tarafından üretilmiş, zeolit ise Türk Zeolit firmasından temin edilmiştir. Kullanılan bu malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. PÇ ve zeolit kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Malzeme	PÇ	Zeolit	Malzeme	PÇ	Zeolit	
<b>Kimyasal bileşenler</b>	(%)	(%)	<b>Fiziksel ve mekanik özellikler</b>			
SiO <sub>2</sub> (S)	18,68	68,85	<b>Blaine İnceliği, cm<sup>2</sup>/g</b>	4249	5740	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (A)	4,67	11,71	<b>Özgül Ağırlık</b>	3,17	2,18	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (F)	3,53	1,29	<b>Priz, dakika</b>	<i>Başlangıç</i>	118	-
CaO	64,56	3,97		<i>Bitiş</i>	-	-
MgO	0,98	1,06	<b>Elek üstü</b>	<i>45 µm</i>	4,08	17,60
SO <sub>3</sub>	3,00	0,18	<b>bakiye, %</b>	<i>90 µm</i>	-	35,80
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,29	<b>Basınç</b>	<i>7 gün</i>	29,6	-
K <sub>2</sub> O	0,73	2,19	<b>Dayanımı, MPa</b>	<i>28 gün</i>	52,8	-
S+A+F	-	81,85				
Kızdırma Kaybı	3,92	10,00				
Çözünmeyen kalıntı	0,50	37,32				
Serbest CaO	1,74	-				

Beton örneklerinin hazırlanmasında Asar deresinden elde edilen üç farklı tane sınıfında agrega kullanılmıştır. Bunlardan 0-5 mm olan kırma kumun su emme oranı %0,61 ve doğal nemi %1,25, 5-19 mm olan kırma taşın su emme oranı %1,16 ve doğal nemi %1,32 ve 19-30 mm olan kırma taşın ise su

emme oranı %1,00 ve doğal nemi %1,41 olarak tespit edilmiştir. Organik kökenli madde tayinine göre ise renksizden açık sarıya doğru olduğu ve organik madde içeriği açısından zararsız olduğu belirlenmiştir. Kullanılan agregaların granülometri eğrisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Agreg granülometri eğrisi.

Karışım suyu, Düzce yöresi Doğanlı bölgesinden temin edilen bir kuyu suyudur. Kimyasal katkı, AYDOS yapı kimyasalları firmasına ait olan fluid 70 türü bir hiper akışkanlaştırıcıdır. Bu hiper akışkanlaştırıcının, katı madde içeriği 34,32, yoğunluğu (20 °C) 1,184 ve pH değeri ise (20 °C) 7,26 olarak firma tarafından verilmiştir.

## B. YÖNTEM

Beton örneklerinin hazırlanmasında referans (CEM I 42,5 R), %10 ve %20 oranlarında zeolit ikameli toplam 3 farklı çimento kullanılmıştır. Bu üç çimento ile 3 grup beton tipi üretilmiş ve sırasıyla R, 10Z ve 20Z şeklinde kodlanmıştır. Beton karışımında TS 802 [17] standard esaslarına göre karışıma girecek malzeme miktarları belirlenmiş ve kıvamı 7-10 cm arasında olacak şekilde beton örnekleri hazırlanmıştır. Beton örnekleri için 1m<sup>3</sup> karışıma giren malzeme miktarı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Beton örnekleri için 1m<sup>3</sup> karışıma giren malzeme miktarı.

Malzeme adı	Özgül ağırlık	R, kg	10Z, kg	20Z, kg	
Agrega, mm	0-5	2,66	822	843	855
	5-19	2,69	586	602	611
	19-30	2,70	428	439	446
<b>Toplam agrega</b>		1836	1884	1912	
<b>PÇ</b>	3,17	400	360	320	
<b>Zeolit</b>	2,18	-	40	80	
<b>Hiper akışkanlaştırıcı</b>	1,184	4,800	4,320	4,800	
<b>Su</b>	1	139,7	139,7	123,2	

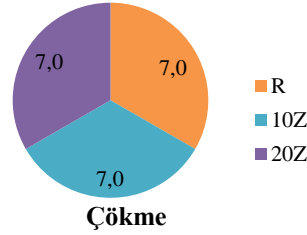
Üretilen beton örnekleri ayrışmaya izin verilmeyecek şekilde 15x15x15 cm'lik plastik küp kalıplara yerleştirilmiştir. Bu örnekler 1 gün (24 saat) kalıpta bekletildikten sonra 23±2 °C suda 28 gün kür edilmiştir. Bu günün sonunda sudan çıkarılan beton örnekleri, %5NaCl çözeltisine konularak 56 ve 90 güne kadar bu suda küre tabi tutulmuştur. Daha sonra beton örnekleri, 28, 56 ve 90 hidratasyon günlerinde birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Taze betonun kıvamını belirlemek için çökme deneyi yapılmış, ayrıca 28 güne kadar suda, daha sonra ise 56 ve 90 güne kadar NaCl ortamında kür edilen sertleşmiş beton örneklerinin performansını belirlemek amacıyla birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler aşağıda sırası ile irdelenmiştir.

#### *A. ÇÖKME DENEYİ*

Çalışmada beton örnekleri hazırlanırken çökme miktarının 7 ile 10 cm arasında olacak şekilde karışım dizaynı yapılmaya çalışılmıştır. Elde edilen beton örneklerine ait çökme değerleri Şekil 2'de verilmiştir.

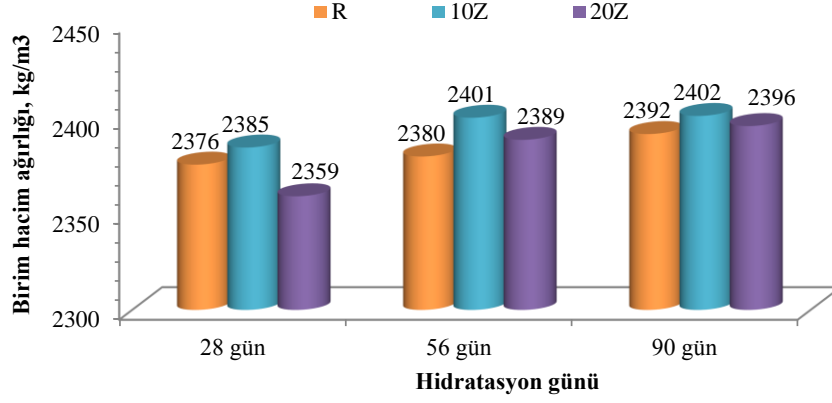


*Şekil 2. Taze beton çökme değerleri.*

Beton örneklerine ait çökme miktarları R, 10Z ve 120Z kodlu beton örneklerinin tümünde 7 cm olarak elde edilmiştir (Şekil 2). Bu sonuçlar istenen aralıklarda olduğundan, beton örnekleri bu karışım dizaynına göre gerçekleştirilmiştir.

#### *B. BİRİM HACİM AĞIRLIĞI DENEYİ*

TS EN 12390-7'ye [18] göre birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler Şekil 3'de verilmiştir.

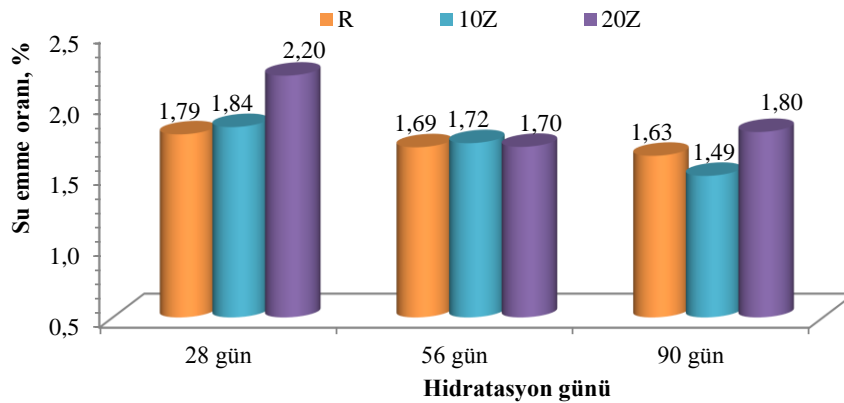


**Şekil 3.** Beton örneklerinin birim hacim ağırlık verileri.

Beton örneklerinin 28. hidratasyon günündeki birim ağırlık değerlerine göre, 20Z kodlu beton örneği 2359 kg/m<sup>3</sup> ile en düşük, 10Z kodlu beton örneği ise 2385 kg/m<sup>3</sup> ile en büyük değerdedir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin birim ağırlıkları, 20Z kodlu örnekte %0,7 oranında azalırken, 10Z kodlu örnekte %0,4 oranında artmaktadır. 56. hidratasyon günündeki birim ağırlık değerlerine göre, R kodlu beton örneği 2380 kg/m<sup>3</sup> ile en düşük, 10Z kodlu beton örneği ise 2401 kg/m<sup>3</sup> ile en büyük değerdedir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin birim ağırlıkları, 10Z kodlu örnekte %0,9, 20Z kodlu örnekte ise %0,4 oranında artmaktadır. 90. hidratasyon günündeki birim ağırlık değerlerine göre, R kodlu beton örneği 2392 kg/m<sup>3</sup> ile en düşük, 10Z kodlu beton örneği ise 2402 kg/m<sup>3</sup> ile en büyük değerdedir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin birim ağırlıkları, 10Z kodlu örnekte %0,4, 20Z kodlu örnekte ise %0,2 oranında artmaktadır (Şekil 3).

### C. SU EMME ORANI DENEYİ

TS EN 12390-7'ye [18] göre su emme oranları hesaplanmış ve elde edilen veriler Şekil 4'de verilmiştir.



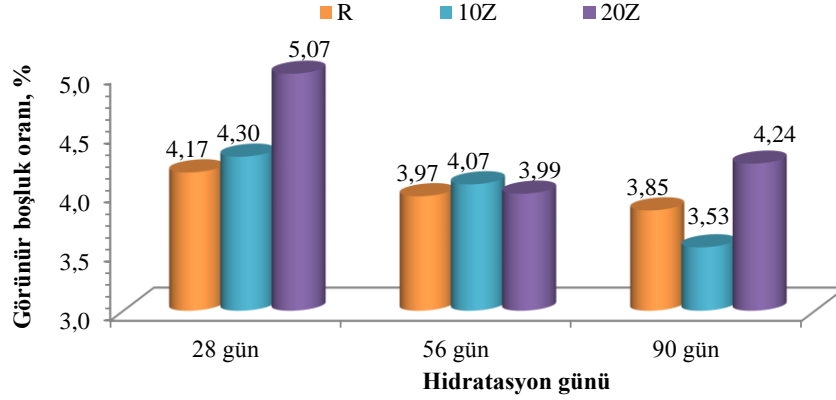
**Şekil 4.** Sertleşmiş beton su emme oranları.

Beton örneklerinin 28, 56 ve 90 hidratasyon gün yaşlarında, 20Z kodlu beton örneğinin en büyük (%2,20), 10Z kodlu beton örneğinin ise en küçük (%1,69) su emme oranlarına sahip olduğu

belirlenmiştir (Şekil 4). Elde edilen sonuçlara göre, hidrasyon yaşı ilerledikçe sertleşmiş beton örneklerin su emme oranlarının azaldığı tespit edilmiştir.

#### D. GÖRÜNÜR BOŞLUK ORANI DENEYİ

TS EN 12390-7'ye [18] göre görünür boşluk oranları hesaplanmış ve elde edilen veriler Şekil 5'de verilmiştir.

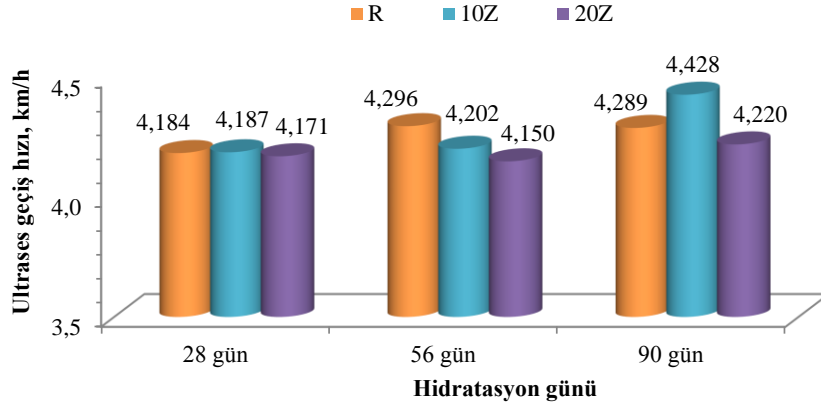


Şekil 5. Sertleşmiş beton görünür boşluk oranları.

Beton örneklerinin 28, 56 ve 90 hidrasyon gün yaşlarında 20Z kodlu beton örneğinin en büyük (%5,07), 10Z kodlu beton örneğinin ise küçük (%3,53) görünür boşluk oranına sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Elde edilen veriler sertleşmiş beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının, su emme oranları ile uyumlu olarak gerçekleşmiş olduğunu ve hidrasyon yaşı ilerledikçe sertleşmiş beton örneklerinin görünür boşluk oranlarının azaldığını göstermektedir.

#### E. ULTRASES GEÇİŞ HIZI DENEYİ

Ultrases geçiş hızları, beton örneğinin bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalgasının, diğer yüzeye geçişiyle belirlenmiş ve elde edilen veriler Şekil 6'da verilmiştir.

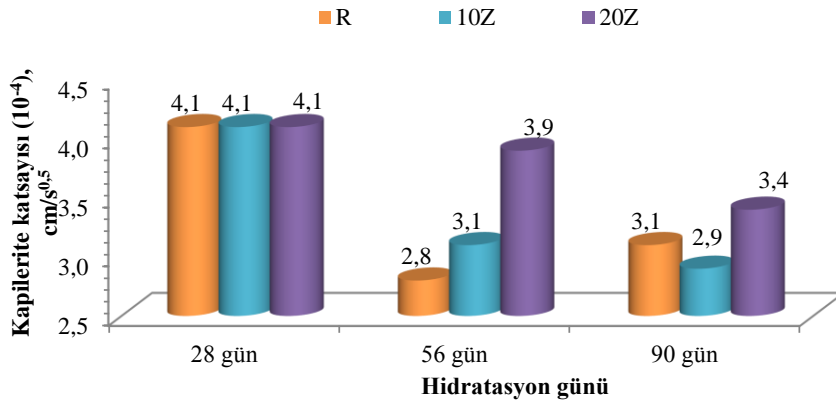


Şekil 6. Sertleşmiş beton ultrases geçiş hızı verileri.

Beton örneklerinin 28, 56 ve 90 hidratasyon gün yaşlarında 10Z kodlu beton örneğinin en büyük (4,428 km/h), 20Z kodlu beton örneğinin ise küçük (4,150 km/h) ultrases geçiş hızı değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Elde edilen veriler dikkate alındığında whitehurst tarafından yapılan değerlendirmeye göre (3,5-4,5 km/h) arasında olduğu ve tüm beton örneklerinin kalitesinin iyi olarak tarif edilen beton sınıfında olduğu belirlenmiştir [19]. Elde edilen veriler ultrases geçiş hızı değerlerinin, görünür boşluk oranları ve su emme oranları ile uyumlu olarak gerçekleşmiş olduğunu ve hidratasyon yaşı ilerledikçe sertleşmiş beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığını göstermektedir.

#### F. KAPİLERİTE KATSAYISI DENEYİ

28, 56 ve 90 hidratasyon gün yaşındaki beton örneklerinin kapilerite katsayıları, birim alanda emilen su miktarlarının (Q/A) ortalamaları ile kapiler su emme sürelerinin karekökü ( $t^{0,5}$ ) arasında çizilen grafiklerin eğimlerinden elde edilmiş ve elde edilen veriler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Beton örneklerinin kapilerite kat sayıları.

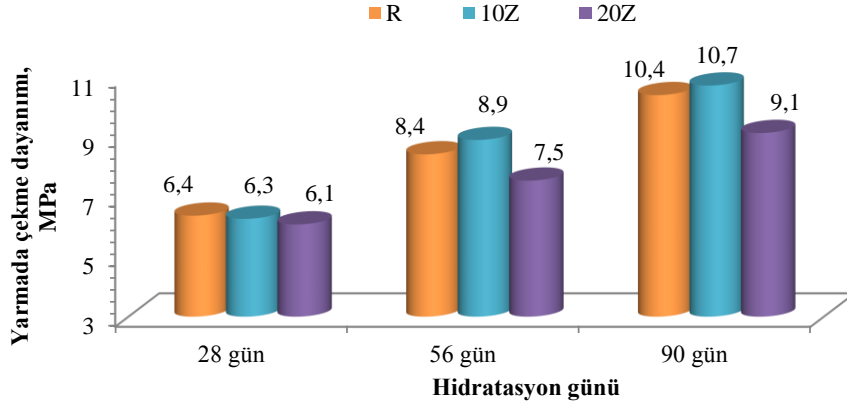
Sertleşmiş beton örneklerinin kapilerite katsayı değerleri, tüm hidratasyon günleri esas alındığında  $2,8 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$  ile  $4,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^{0,5}$  arasında değişmektedir (Şekil 7). Elde edilen veriler ve daha önce yapılan araştırmalara göre üretilen betonların kapiler boşluklarının az ve dolayısıyla beton kalitesinin



iyi olduğu düşünölmektedir [20-22]. Sertleşmiş beton örneklerinin kapilerite katsayı değerlerinin; ultrases geçiş hızı, görünür boşluk oranları ve su emme oranları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

### G. YARMADA ÇEKME DAYANIMI DENEYİ

TS EN 12390-6'ya [23] göre yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmış ve elde edilen veriler Şekil 8'de verilmiştir.

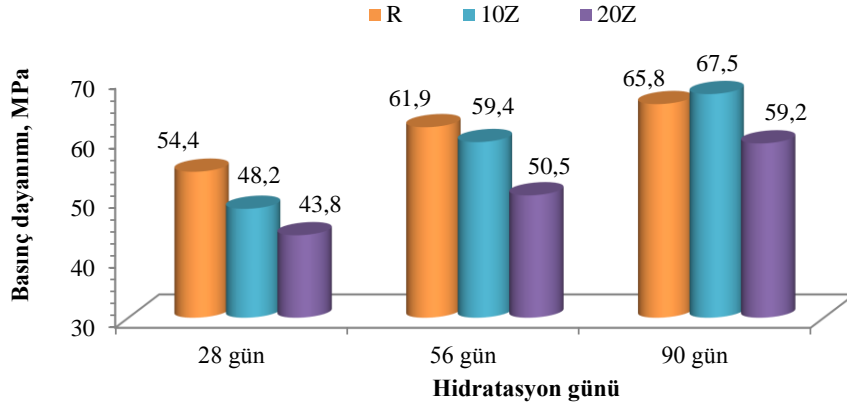


Şekil 8. Yarmada çekme dayanımı verileri.

Beton örneklerinin yarmada çekme dayanımlarının, hidrasyon günleri ilerledikçe farklı değerler aldığı ve 6,1 MPa ile 10,7 MPa arasında deđiştđi görölmektedir (Şekil 8). Beton örneklerinin 28. hidrasyon günündeki yarmada çekme dayanımlarına göre, 20Z kodlu beton örneği 6,1 MPa ile en düşük, R kodlu beton örneği ise 6,4 MPa ile en büyük değerdedir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin yarmada çekme dayanımları, 10Z kodlu örnekte %1,5, 20Z kodlu örnekte ise %4,6 oranında azalmaktadır. 56. hidrasyon günündeki yarmada çekme dayanımlarına göre, 20Z kodlu beton örneği 7,5 MPa ile en düşük, 10Z kodlu beton örneği ise 8,9 MPa ile en büyük değerdedir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin yarmada çekme dayanımları, 10Z kodlu örnekte %6,0 oranında artarken, 20Z kodlu örneğinde %10,7 oranında azalmaktadır. 90. hidrasyon günündeki yarmada çekme dayanımlarına göre, 20Z kodlu beton örneği 9,1 MPa ile en düşük, 10Z kodlu beton örneği ise 10,7 MPa ile en büyük değerdedir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin yarmada çekme dayanımları, 10Z kodlu örnekte %2,9 oranında artarken, 20Z kodlu örneğinde %12,5 oranında azalmaktadır (Şekil 8). Sertleşmiş beton örneklerinin yarmada çekme dayanımlarının; kapilerite katsayısı, ultrases geçiş hızı, görünür boşluk ve su emme oranları ile uyumlu olduğu ve hidrasyon yaşı ilerledikçe sertleşmiş arttđını görölmektedir.

### H. BASINÇ DAYANIMI DENEYİ

Beton dayanımının en belirgin ölçütü basınç dayanımı olarak ifade edilmektedir. Dolayısı ile de betonun kalitesi de basınç dayanımıyla temsil edilmektedir. Yapılan basınç dayanımları TS EN 12390-3'e [24] göre belirlenmiş ve elde edilen veriler Şekil 9'da verilmiştir.



*Şekil 9. Basınç dayanımı verileri.*

Beton örneklerinin basınç dayanımlarının, hidrasyon günleri ilerledikçe farklı değerler aldığı ve 43,8 MPa ile 67,5 MPa arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 9). Beton örneklerinin 28. hidrasyon günündeki basınç dayanımlarına göre, 20Z kodlu beton örneğinin 43,8 MPa ile en düşük, R kodlu beton örneğinin ise 54,4 MPa ile en büyük değer aldığı belirlenmiştir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin basınç dayanımları, 10Z kodlu örnekte %11,4, 20Z kodlu örnekte ise %19,5 oranında azalmaktadır. 56. hidrasyon günündeki basınç dayanımlarına göre, 20Z kodlu beton örneğinin 50,5 MPa ile en düşük, R kodlu beton örneğinin ise 61,9 MPa ile en büyük değer aldığı belirlenmiştir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin basınç dayanımları, 10Z kodlu örnekte %4,0, 20Z kodlu örneğinde %18,4 oranında azalmaktadır. 90. hidrasyon günündeki basınç dayanımlarına göre, 20Z kodlu beton örneğinin 59,2 MPa ile en düşük, 10Z kodlu beton örneğinin ise 67,5 MPa ile en büyük değer aldığı belirlenmiştir. R kodlu beton örneğine göre bu örneklerin basınç dayanımları, 10Z kodlu örnekte %2,6 oranında artarken, 20Z kodlu örneğinde %10,0 oranında azalmaktadır (Şekil 9). Sertleşmiş beton örneklerinin basınç dayanımlarının; yarmada çekme dayanımları, kapilerite katsayısı, ultrases geçiş hızı, görünür boşluk ve su emme oranları ile uyumlu olduğu ve hidrasyon yaşı ilerledikçe zeolitin puzolanik özelliğinden dolayı beklendiği gibi arttığı görülmektedir.

#### IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

NaCl ortamında kür edilen sertleşmiş beton örneklerinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan analiz ve deneylerin bulgularına göre;

- Elde edilen kimyasal analiz sonucuna göre zeolitin  $\text{SiO}_2$  (S),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (A) ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (F) toplamlarının %81,85 olarak belirlendiği ve puzolanik özellikler açısından olumlu olduğu ( $\text{S}+\text{A}+\text{F} \geq \%70$ ),
- Özgül ağırlık deneyleri sonuçlarından elde edilen verilere göre PÇ'nin 3,17 ve zeolitin 2,18 olduğu, dolayısıyla zeolit ikameli çimentoların referans çimentoya göre özgül ağırlıklarının düşük olduğu,
- Blaine sonuçlarına göre PÇ'nin  $4249 \text{ cm}^2/\text{g}$  ve zeolitin  $5740 \text{ cm}^2/\text{g}$  değerinde olduğu; bu verilere göre zeolitin çimentoya göre daha yüksek özgül yüzey alanına sahip olduğu,
- Taze beton örneklerinin çökme değerlerinin 7 cm olduğu,

- Tüm beton örneklerinin birim ağırlık değerleri, su emme ve görünür boşluk oranları dikkate alındığında, en uygun verilerin 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde olduğu,
- Ultrases geçiş hızı değerlerine göre üretilen referans ve zeolit ikameli beton örneklerinin kalitesinin, whitehurst tarafından yapılan değerlendirmeye göre 3,5-4,5 km/h arasında olduğu ve iyi olarak tarif edilen beton sınıfında olduğu,
- Tüm ortamlarda hidrasyon yaşı ilerledikçe betonun yapısındaki kılcal kanallar yoluyla emilen su miktarının azaldığı, ayrıca referans beton örneğine göre kapilerite katsayılarının; genel olarak 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde daha iyi çıkması, zeolitin dayanıklılık açısından betona olumlu katkı sağlayabileceği,
- Beton örneklerinin yarmada çekme ve basınç dayanımı değerlerinin malzeme türüne, ikame oranına ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak değiştiği; zeolit ikameli beton örneklerinin dayanım kazanma hızlarının, referans betona göre daha yavaş olduğu; üretilen betonlarda basınç dayanımı değerlerinin, ultrases geçiş hızı ve kapiler su emme değerleriyle uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak ülkemizin zengin doğal kaynaklarından olan zeolitin beton sektöründe kullanılabilir olduğu, çimento ve beton sektöründe geniş kullanım alanına sahip yapay puzolan sınıfındaki yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi malzemelere de alternatif olacağı düşünülmektedir. Ayrıca üretilen beton tipleri için agrega tipi, kimyasal katkı tipi, kür ortamı, çimento dozajı, hidrasyon yaşı gibi özellikler farklı şekillerde oluşturulup, elde edilen veriler kıyaslanabilir.

**TEŞEKKÜR:** Yazarlar, çalışmayı 2011.03.HD.09 proje kod numarasıyla maddi olarak destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığına ve Düzce Yiğitler Beton'a teşekkür ederler.

## V. KAYNAKLAR

- [1] Y. Koçak, A. Dorum, B. Yılmaz ve A. Uçar, "Trasın Çimento Yüzey Özelliğine, Hidrasyona ve Basınç Dayanımına Etkisi", *E-Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, c. 5 s. 1, ss. 1-14, 2010.
- [2] K. Yıldız, A. Dorum ve Y. Koçak, "Pomza Zeolit ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, c. 25, s. 4, ss. 867-879, 2010.
- [3] Ö.S. Bideci, A. Bideci ve S. Oymael, "Zeolit Katkili Çimentoların Özelliklerinin İncelenmesi", *SDU International Journal of Technologic Sciences*, c. 5, s. 3, ss. 70-76, 2013.
- [4] H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jazdewska, M. Kurtay ve H. Durgun, "Electrochemical Investigations on The Corrosion Behaviour of Reinforcing Steel in Diatomite- And Zeolite-

Containing Concrete Exposed to Sulphuric Acid”, *Construction and Building Materials*, c. 49, ss. 471–477, 2013.

[5] Y. Kocak, E. Tascı ve U. Kaya, “The Effect of Using Natural Zeolite on The Properties and Hydration Characteristics of Blended Cements”, *Construction and Building Materials*, c. 47, ss. 720–727, 2013.

[6] Y. Kocak ve S. Nas, “The Effect of Using Fly Ash on the Strength and Hydration Characteristics of Blended Cements”, *Construction and Building Materials*, c. 73, ss. 25–32, 2014.

[7] L. Zhengqi, “Drying Shrinkage Prediction of Paste Containing Meta–Kaolin and Ultrafine Fly Ash for Developing Ultra–High Performance Concrete”, *Materials Today Communications*, c. 6, ss. 74–80, 2016.

[8] Y. Kocak, “A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars”, *Scientific Research and Essays*, c. 5, s. 9, ss. 990–998, 2010.

[9] A. Dorum, Y. Koçak, B. Yılmaz ve A. Uçar, “Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidratasyona Etkileri”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, ss. 47–58, 2009.

[10] U. Köktürk, “Zeolit Madenciliği Ve Çevre Sağlığına Etkileri”, Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, ss. 293-300, 1995.

[11] F. Canpolat, “Çimento Performansının Geliştirilmesinde Doğal Zeolit Endüstriyel Atıklarla Birlikte Çimento Üretiminde Kullanılması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2002.

[12] D. Serbest, “Doğal Zeolitlerin Hafif Yapı Endüstrisinde Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 1999.

[13] F.N. Okoye, J. Durgaprasad ve N.B. Singh, “Effect of Silica Fume on the Mechanical Properties of Fly Ash Based–Geopolymer Concrete”, *Ceramics International*, c. 42, ss. 3000–3006, 2016.

[14] H. Zhao, W. Sun, X. Wu ve Bo. Gao, “The Properties of The Self–Compacting Concrete with Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Mineral Admixtures”, *Journal Of Cleaner Production*, c. 95, ss. 66–74, 2015.

[15] K. Yıldırım ve M. Sümer, “Denize Yakın Ortamda Beton Korozyonu”, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, Türkiye, 2005, ss. 359-371.

[16] H.M. Kuyumcu, “Deniz Suyu ve Sülfatlı Suların Beton Dayanımına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.

- [17] *Beton karışımı hesap esasları*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 802, 2009.
- [18] *Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 12390–7, 2010.
- [19] T.Y. Erdoğan, *Beton*, 3. Baskı, Ankara, Türkiye, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim Aş., Yayını, 2010, böl. 19, ss. 516.
- [20] M. Ghrici, S. Kenai ve M. Said-Mansour, “Mechanical Properties and Durability of Mortar and Concrete Containing Natural Pozzolana and Limestone Blended Cement”, *Cement & Concrete Composites*, c. 29, s. 7, ss. 542–549, 2007.
- [21] İ.B. Topçu, T. Bilir ve T. Uygunoğlu, “Effect Of Waste Marble Dust Content As Filler On Properties Of Self-Compacting Concrete”, *Construction and Building Materials*, c. 23, ss. 1947–1953, 2009.
- [22] R. Siddique ve E-H. Kadri, “Effect of Metakaolin and Foundry Sand on the Near Surface Characteristics of Concrete”, *Construction and Building Materials*, c. 25, ss. 3257–3266, 2011.
- [23] *Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 6: deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 12390–6, 2010.
- [24] *Beton–sertleşmiş beton deneyleri–deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 12390–3, 2010.