

## POMZA VE ZEOLİT KATKILI BETONUN YOL KAPLAMALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİ ve NaCl ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Kürşat YILDIZ\*

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak. İnşaat Müh. Bölümü, 06500, Teknikokullar-Ankara. TÜRKİYE.

**Özet-**Bu çalışmada beton yol kaplamalarında kullanılmak üzere, pomza ve zeolit içeren yüksek dayanımlı betonun “YDB” NaCl çevresel etkisi altında aşınmaya karşı direnci araştırılmıştır. Bu amaçla bağlayıcılar olarak kullanılan “çimento, pomza ve zeolit” üzerinde fiziksel, kimyasal ve mekanik analizler yapılmıştır. Daha sonra yüksek dayanımlı beton tasarımı gerçekleştirilirken çimentoya ikame edilmek suretiyle “%0 Pomza+%15 Zeolit (0P15Z)”, “%5 Pomza+%10 Zeolit (5P10Z)”, “%10 Pomza+%5 Zeolit (10P5Z)” ve “%15 Pomza+%0 Zeolit (15P0Z)” olmak üzere dört tip YDB üretilmiştir. Üretilen YDB’lar üzerinde taze beton deneyleri, NaCl çevresel etkisi altında basınç dayanımı deneyi ve aşınma direnci deneyleri yapılmıştır. Sonuçta pomza ve zeolit ikameli YDB’ların NaCl çevresel etkisi altında çeşitli zaman periyotlarında dayanım ve dayanıklılık açısından beton yol kaplaması olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonuç olarak, 28 gün yaşında 15P0Z betonunun en düşük, 0P15Z betonunun en yüksek değere sahip olduğu, zeolit ikame oranının artışına bağlı olarak sırasıyla %11,11, %16,40 ve %5,54 artış olduğu görülmüştür. 28 gün yaşında rijit yol üst kaplamalarında sağlanması gereken minimum basınç dayanımı değerlerinin çok üstünde basınç dayanımı değerleri bütün beton türlerinde sağlanmıştır. Aşınma dayanımı değerlerinin ise tüm beton türlerinde ASTM C944-99’de öngörülen değerlerin altında kaldığını göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Beton yol kaplaması, Yüksek dayanımlı beton, Pomza, Zeolit,

**Abstract-**In this study, pumice and zeolite used for concrete pavement produced high-strength concrete "HSC" under the influence of NaCl environmental corrosion resistance were investigated. For this purpose, physical, chemical and mechanical properties of the cement, pumice and zeolite used in the HSC were determined. Four types HSC were produced for the experimental studies. In the first type of HSC instead of cement 0% pumice and 15% Zeolite (0P15Z), in the second type of GSC 5% pumice and 10% Zeolite (5P10Z), in the third type of HSC 10% pumice and 5% Zeolite (10P5Z) and in the fourth type of HSC 15% pumice and 0% Zeolite (15P0Z) were substituted. On the HSC, fresh concrete experiments, compressive strength and abrasion resistance experiments under the influence of NaCl environmental were carried out. It was seen that produced HSC may be used as concrete pavement under the influence of environmental NaCl. In experiments, the lowest 28-day 15P0Z concrete, the concrete 0P15Z has the highest value was observed. Depending on the substitution rate of zeolite increased compressive strength of 11.11%, respectively, increased at a rate of 5.54% and 16.40% were observed. 28-day compressive strength of four types of concrete coatings for rigid highway to the top is well above the 35 MPa were determined. Abrasion resistance values are all types of concrete remain under the ASTM C944-99'deki value was seen.

**Keywords:** Concrete pavement, High strength concrete, Pumice, Zeolite.

\* [kursaty@gazi.edu.tr](mailto:kursaty@gazi.edu.tr)  
[krstyldz@gmail.com](mailto:krstyldz@gmail.com)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton yol yapımında kullanılacak betonun tasarımı, ilgili standartlar dikkate alınmakla birlikte, çevre koşullarına ve uygulamaya göre değişebilmektedir. Beton yolların tasarımında beton kalitesi basınç dayanımından çok, dayanıklılığa (durabilite), eğilmede çekme direncine ve aşınma direncine göre belirlenmektedir.

Pomza taşı, volkanik faaliyetler esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi aniden terk etmesi sonucu oluşan, oldukça gözenekli bir yapı içeren ve dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlayan ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayadır [1-5]. Zeolit ise 1756'da İsveç'li mineralog Cronstedt keşfetmiş ve doğal zeoliti sınıflandırmıştır. Keşfettiği zeolit ısıtıldığında çok çabuk su kaybeden yapısından dolayı Latince "zeo" ve kaya parçalarının ısıtılmasına da "lithos" denilmesinden dolayı malzemeye zeolit adını vermiştir [6-10]. Pomza ve Zeolit ayrı ayrı çimento beton sektöründe kullanımına ilişkin bir dizi çalışma yapılmasına karşın çimento ve beton içerisinde beraber kullanımına ilişkin çalışmaya rastlanmamıştır [11-15]. Bu çalışmalar pomza için özetlenecek olursa hafif beton üretiminde kullanılabilirliği, çimento içerisinde değişik oranlarda puzolan olarak kullanılabilirliği, betonun taze ve sertleşmiş bir takım özelliklerine etkileri, yüksek mukavemetli hafif beton üretiminde kullanılabilirliği, beton içerisinde hafif agrega olarak kullanılabilirliği gibi bir takım çalışmalar konu olmuştur. Zeolit ise çimento içerisinde puzolan olarak kullanılabilirliği, hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği, zeolit katkı çimento üretilebilirliği, beton içerisinde alkali silika reaksiyonuna etkisi, yüksek dayanımlı betonlarda kullanılabilirliği gibi bir takım çalışmalara konu olmuştur [16-21].

Beton yol kaplamalarında durabilitenin gereği olan yüksek dayanım, kimyasal ve mineral katkıların kullanımıyla, betonda boşluk yapısının düşmesine neden olurken, Süper akışkanlaştırıcı katkı (SAK) betonun karışım suyunu %25'lere varan oranlarda azaltır. Silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) vb mineral katkı ise, betonun porozitesindeki düşmenin yanında, harç yapısı ve agrega ara yüzeyindeki boşlukların azalmasını sağlarlar [22].

Yüksek dayanımlı betonlar gerek taze, gerekse sertleşmiş geleneksel betonlardan işlenebilirlik, dayanım, dayanıklılık gibi bir çok özelliği daha üstün olan betonlardır. Yüksek dayanımlı betonlar kaliteli agrega, kaliteli çimento, süper akışkanlaştırıcı katkı, düşük S/Ç oranı ve silis dumanı uçucu kül gibi puzolanik madde gerektiren yüksek işlenebilirliğe sahip özel bir betondur [23].

Beton ve betonarme birçok yapı çevrelerinde ve atmosferde bulunan tuzların etkisi altındadır. Bu yapıları meydana getiren betonlarda gerekli bir takım önlemlerin alınmaması durumunda yapı çok kısa sürede hasara uğrayarak işlevini yerine getiremez hale gelir. Klorürler sülfatlar kadar tehlikeli olmamakla beraber muhtelif türlerin bazı hallerde beton ve betonarme yapılar üzerinde zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Kalsiyum klorür, sodyum klorür (NaCl), potasyum klorür (KCl), magnezyum klorür (MgCl<sub>2</sub>) betonda zarar meydana getiren belli başlı klorürlerdir. Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> iyonları çimentodaki silis jelinin yüzeyi tarafından tutulur. Jel bileşiminde alkali oranının zamanla artmasıyla bu jel hidrate halinde çözeltiye karışır ve ayrışmaya başlar. Magnezyum klorür (MgCl<sub>2</sub>) ise aşağıdaki reaksiyonu göstererek kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) oluşmasına sebep olur. Kalsiyum klorürün oranının beton içerisinde artmasıyla kalsiyum kloroalüminat oluşmasına sebep olur ki buda beton için son derece sakıncalıdır [24].



Kalsiyum klorür az miktarda su içinde eriyik halinde bulunduğu takdirde prizi çabuklaştırmak suretiyle mukavemet artışını hızlandırır. Buna karşılık CaCl<sub>2</sub> yoğunlaşmasının yüksek olduğu

sular çimentolar için belirli derecede zararlıdır. Sodyum klorür (NaCl) ve potasyum klorür (KCl) genellikle çimento üzerinde zararlı etki yapmaz. Ancak bu tür klorürler iyon değiştirme yolu ile zararlı etkiler gösterebilir. Na ve K iyonları çimentodaki silis jelinin yüzeyi tarafından tutulur. Alkali maddelerin yoğunlaşmasının zamanla artmasıyla bu jel hidrate halde çözeltiye karışarak ayrışmanın başlamasına neden olabilir [25].

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlara alternatif olarak gösterilen ve son yıllarda ülkemizde hem araştırma hem de uygulama alanında kendisine yer bulan, rijit yol üst kaplaması olarak isimlendirilen beton yollarda kullanılan bir takım karışımlara alternatif olacağı planlanan yüksek dayanımlı beton kullanılmıştır. Bu amaçla esnek yol üst kaplamalarına nazaran çok daha yerli ve çok daha çevreci olan rijit yol üst kaplamasının dizaynında pomza ve zeolit gibi tamamen yerli ve tamamen doğal malzemelerin kullanımıyla, ağır çevresel etki ve aşınmaya maruz kalan yol üst kaplamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Araştırmada CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Agrega olarak 0/2 ve 2/4 kırma kum, 4/8 ve 8/16 kırma taş Kullanılan agrega bazalt türü agrega olup, özgül ağırlıkları sırasıyla 2,55, 2,52, 2,50 ve 2,47 olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan pomza Nevşehir yöresine ait olup Zeolit ise Balıkesir-Bigadiç yöresine aittir. Araştırmada karışım suyu olarak, Ankara Büyükşehir Belediyesi içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır. Ayrıca Degussa yapı kimyasalları sanayi A.Ş. firmasına ait Glenium 51 türü yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan çimento, pomza ve Zeolit özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bağlayıcıların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (The chemical, physical and mechanical properties of cement)

Özellik	CEM I 42,5 R	Pomza	Zeolit
Fiziksel ve mekanik özellikler			
Blaine İnceliği m <sup>2</sup> /kg	314	474,9	290,5
Özgül Ağırlık kg/m <sup>3</sup>	3,11	2,39	2,23
Priz (dk)	Başlangıç	---	---
	Bitiş	---	---
Basınç Dayanımı (MPa)	7 gün	---	---
	28 gün	45,78	---
Kimyasal bileşenler ( %)			
SiO <sub>2</sub>	20,31	71,93	77,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,64	13,14	13,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,27	1,07	0,936
CaO	64,02	0,76	2,156
MgO	1,64	0,73	0,945
SO <sub>3</sub>	2,86	0,02	0,06
Na <sub>2</sub> O	0,87	4,10	0,05
K <sub>2</sub> O	0,80	4,42	3,39
Kızdırma Kaybı	2,17	4,11	12,77
Serbest CaO	0,7		
Bogue Kompozisyonu			
C <sub>3</sub> S	55,55	-	-
C <sub>2</sub> S	16,50	-	-
C <sub>3</sub> A	9,41	-	-
C <sub>4</sub> AF	1,48	-	-

## 2.2. Metot (Method)

YDB karışım dizaynı için TS 802 ve ACI 211,1 standartlarında belirtilen yöntem ve YDB kriterleri literatür ışığında dikkate alınarak karışıma girecek malzeme miktarları, belirlenmiştir. Betona ikame edilmek suretiyle kullanılan mineral katkıının, türü ve oranına göre (0P15Z “%0 Pomza + %15 Zeolit”, 5P10Z, 10P5Z ve 15P0Z) dört grup beton tipi üretilmiştir. Üretilen taze beton karışımları üzerinde Taze betonda kıvam tespiti TS EN 12350-2’ e göre üretilen her karışım grubu için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Kullanılan numunelere ait 1m<sup>3</sup> karışıma giren malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Aşınma dayanımı deneyi NaCl çevresel etki altında bulunan, dört tip beton türü üzerinde 56, 90 ve 120 gün yaşlarında, ASTM C 944-99 “Standard test Method for abrasion resistance of concrete or mortar surface by the rotating – cutter method” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 197 N’luk kuvvet oluşacak şekilde ağırlık altında 200 devir/dakika hızında dönen aşındırıcılara 6 dakika boyunca maruz bırakılmıştır. Deney sonunda numunelerdeki kütlece ağırlık kayıpları ölçülerek sonuçlar “% ağırlık kaybı” olarak hesaplanmıştır. Ağırlık kayıplarının hesaplanmasında Eş. 2 kullanılmıştır.

$$\%A = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (2)$$

Formüle;

%A= Ağırlık kaybı, m<sub>1</sub> = Aşındırma öncesi numune ağırlığı, (g), m<sub>2</sub> = Aşındırma sonrası numune ağırlığı, (g) ifade etmektedir.

**Tablo 2.** Her bir beton grubu için 1m<sup>3</sup> karışıma giren malzeme miktarı (Material quantity in the 1 m<sup>3</sup> for each concrete groups)

Malzeme	Tip	Özgül Ağırlık.	15P0Z (kg)	10P5Z (kg)	5P10Z (kg)	0P15Z (kg)
Kırma Kum	0-2	2,55	543,73	555,99	568,31	580,69
Kırma Kum	2-4	2,52	201,50	206,04	210,61	215,19
Kırma Taş	4-8	2,50	266,53	272,54	278,58	284,65
Kırma Taş	8-16	2,47	329,17	336,59	344,05	351,54
Toplam agregata			1340,9	1371,1	1401,56	1432,09
Çimento	CEM I 42.5R	3,08	584,05	567,04	550,02	533,01
Puzolan	Pomz	2,39	103,06	66,71	32,35	0,00
Puzolan	Zeolit	2,23	0,00	33,35	64,70	94,06
SAK (%1,3)	Gl.m.51	1,112	8,93	8,67	8,41	8,15
Su	İçme suyu	1	206,13	200,1	194,12	188,12
Toplam malzeme			2243,1	2247,0	2251,1	2255,4

Taze betonda birim ağırlık tespiti TS 2941’e göre üretilen her karışım grubu için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen betonun ayrışmasına izin vermeyecek şekilde alınarak (10x20) cm’lik sert silindirik plastik kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıpta 24 saat bekleyen ve prizini alan betonlar 23±2 °C kirece doymun suda 28 gün kür edilmiştir. Daha sonra su ortamından çıkarılan numuneler, çevresel etki için literatür ışığında tuzluluk değeri göz önüne alınarak %5 lik NaCl çözeltisine alınmıştır. Hazırlanan çözeltinin pH’ı 12,62 olup pH deney süresince sabit tutulmaya çalışılmıştır. Su kürü ve NaCl çevresel etkisinde 56, 90 ve 120 gün yaşlarında,

numuneler üzerinde TS EN 12390-3 “Sertleşmiş Beton Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini” standardına uygun olarak basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (TEST RESULTS AND DISCUSSION)

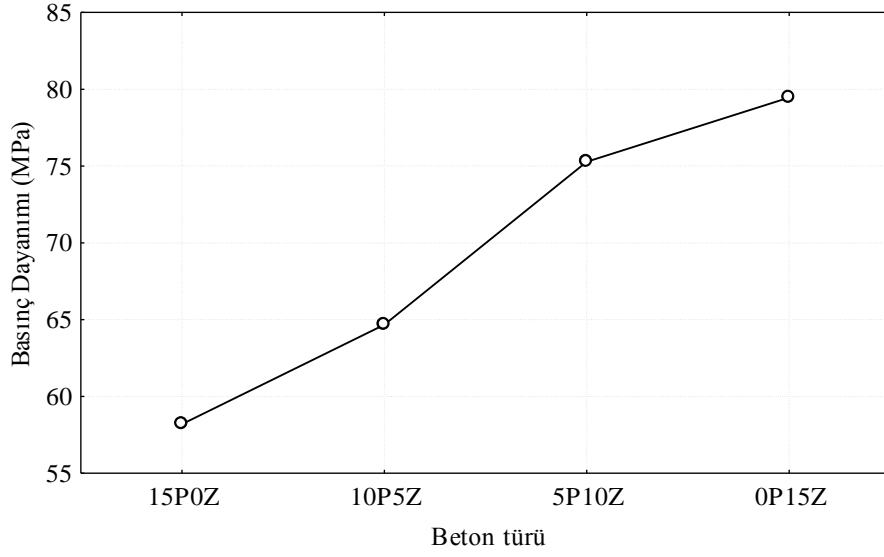
CEM I 42,5 R çimentosu kimyasal olarak yüksek oranda CaO ve SiO<sub>2</sub> düşük oranda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SO<sub>3</sub> bileşiklerinden oluşmaktadır. Pomza’da ana bileşen SiO<sub>2</sub>’dir ve ağırlıkça SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı (S/A) 5,47 dir. Zeolitin ana bileşen yine SiO<sub>2</sub>’dir ve S/A oranı 5,85 dir. Zeolit’te K<sub>2</sub>O’nun Na<sub>2</sub>O den daha yüksek olması K<sup>+</sup> iyonlarınca zengin olduğunu göstermektedir. Pomzada ise hem K<sub>2</sub>O’nun hem de Na<sub>2</sub>O’nun yüksek olması K<sup>+</sup> ve Na<sup>+</sup> iyonlarınca zengin olduğunu göstermektedir. Blaine değerlerine göre en ince malzemenin pomza daha sonra ise CEM I 42,5 R ve zeolit olarak sıralandığı görülmektedir. Ayrıca minimum %70 olması istenilen S+A+F toplamı pomza’da yaklaşık %86, zeolit’te ise yaklaşık %91 olarak tespit edilmiş ve kimyasal açıdan puzolanik özelliklerinin olumlu olduğu görülmüştür [24]. Çalışmada elde edilen taze beton parametreleri ve bu parametrelerden elde edilen veriler her bir beton türü için Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Taze beton parametrelerine ait veriler (Data belonging fresh concrete parameters)

ÖZELLİK	Beton Türü Kodu			
	15P0Z	10P5Z	5P10Z	0P15Z
S/Ç oranı	0,3	0,3	0,3	0,3
SAK (toplam bağlayıcı miktarı %)	1,3	1,3	1,3	1,3
Çökme (cm)	2	7	11	17
Teorik Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2243	2247	2251	2255
Ölçülen Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2295	2357	2356	2293

Puzolanların ikame oranları dikkate alındığında, beton içerisinde pomzanın ikame oranı düşmesine karşın zeolit ikame oranının artışına bağlı olarak betonun çökme değerinde artış başka bir deyişle işlenebilme kolaylaştığı gözlenmiştir. Buda pomzanın blaine inceliğinin çimento ve zeolite göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. İşlenebilme özelliğindeki bu artış aynı zamanda pomzanın özgül ağırlığının zeolit’den yüksek olmasının yanı sıra her iki puzolanında özgül ağırlığının çimentodan düşük olmasıyla da açıklanabilir (Tablo 3). Bunun yanı sıra zeolitin bünyesinde bulunan yapısal ve kristal su miktarının pomzaya göre çok daha fazla olması işlenebilme özelliğini arttırmaktadır. Karışım içerisinde pomza ikame oranının düşürülmesine karşın zeolit ikame oranının artırılması, teorik ve ölçülen birim ağırlıklarında 15P0Z ve 0P15Z beton türlerinin birim ağırlıkları birbirlerine yakın değerler sergilerken, 10P5Z ve 5P10Z beton türleri diğer beton türlerine nazaran ≈%2,65 oranında artış gözlenmiş ve bu iki beton türünün birim ağırlık değerlerinde birbirine çok yakın değerler sergilemiştir. Bütün beton türlerinde kalıplara yerleştirme esnasında betonun kohezyonu mükemmel olmuş ve herhangi bir ayrışma gözlenmemiştir. 28. güne kadar 23±2 °C kirece doymun suda bekletilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen beton basınç dayanımı verilerine ait grafik Şekil 1’de verilmiştir.

...: Pomza ve Zeolit Katkılı Betonun Yol Kaplamalarında Kullanılabilirliği ve NaCl Etkisinin Araştırılması:..

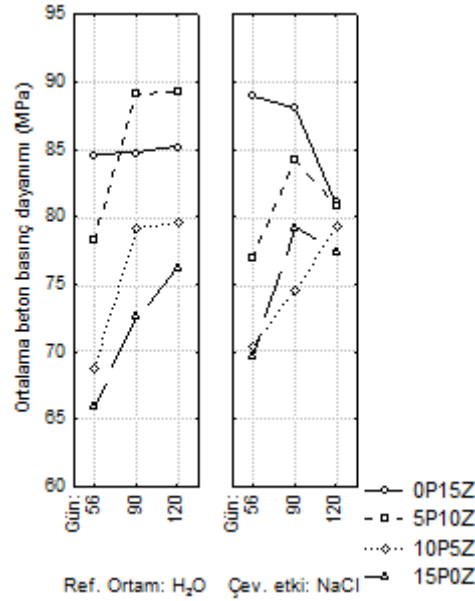


Şekil 1. 28 gün ortalama basınç dayanımı verilerine ait grafik (Graphic belonging data of average compressive strength on 28th day)

28 gün yaşında 15P0Z beton türünün 58,20 MPa ortalama ile en düşük beton basınç dayanımına sahip olduğu, 28. günde 0P15Z beton türünün 79,20 MPa ortalama ile en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, 28. günde beton içerisinde pomza ikame oranının azalmasına karşın zeolit ikame oranının artması ortalama beton basınç dayanımında sırasıyla %11,11, %16,40 ve %5,54 artış sağladığı görülmüştür. Beton yollarda kullanılacak betonun 28 günlük basınç dayanımının 35 MPa'dan, eğilme dayanımının ise 5 MPa'dan daha yüksek olması tavsiye edilmektedir [26].

Referans çevresel etki olarak seçilen H<sub>2</sub>O ortamı ve bozucu çevresel etki olarak seçilen NaCl ortamlarından çıkarılan numuneler, beton basınç dayanımı ve aşınma dayanımı bakımından her beton türü kendi arasında farklı çevresel etki ve farklı beton yaşlarında istatistik olarak farklı olduğu görülmüştür. Farklı çevresel etkilerde, farklı beton yaşlarında beton türlerinin ortalama basınç dayanımı deneyi verilerine ait grafik Şekil 2'de ortalama aşınma dayanımı verilerine ait grafik ise Şekil 3'de verilmektedir.

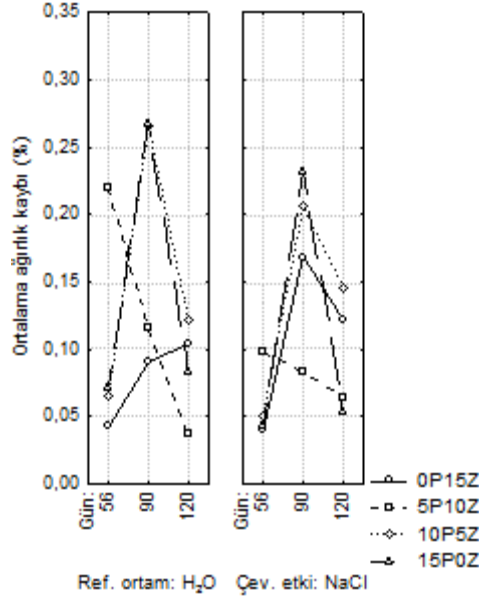
Referans çevresel etki olarak alınan su ortamında, 56 gün yaşında, maksimum ortalama basınç dayanımı değerleri beton türlerine göre sırasıyla 0P15Z, 5P10Z, 10P5Z, ve 15P0Z'de olduğu, ancak 90 ve 120 gün yaşlarında ise sırasıyla 5P10Z, 0P15Z, 10P5Z, ve 15P0Z'de olduğu, ayrıca referans çevresel etki ortamında, beton yaşı faktörüne bağlı olarak 0P15Z betonunda ortalama basınç dayanımı bakımından sırasıyla %0,20, %0,54 artış olduğu, 5P10Z betonunda %13,76, %0,11 artış olduğu, 10P5Z betonunda %15,26, %0,65 artış olduğu ve 15P0Z betonunda %10,12, %5,08 artış olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.** Beton türü-çevresel etki-beton yaşı ilişkisine ait ortalama beton basınç dayanımı verilerine ait grafik (Concrete type-environmental effects of concrete compressive strength of concrete data, the average age of the relationship of the graphical)

NaCl çevresel etkisinde, beton yaşı faktörüne ve referans çevresel etkiye bağlı olarak 0P15Z betonunda ortalama basınç dayanımı bakımından sırasıyla %5,25, %3,93 artış %4,79 düşüş olduğu, 5P10Z betonunda %1,75, %5,58 ve %9,46 düşüş olduğu, 10P5Z betonunda %2,41 artış %5,82, %0,34 düşüş olduğu ve 15P0Z betonunda % 5,68, %9,28, %1,54 artış olduğu görülürken, referans ortam (H<sub>2</sub>O)'da 56 günlük beton basınç dayanımı, 28 günlük beton basınç dayanımıyla benzerlik gösterdiği, buna karşın 90 ve 120 günlük betonlarda gerek puzolanik reaksiyonların kendini göstermesi gerekse mikro yapıdaki iyileşmeler sonucu 5P10Z betonunu 0P15Z betonundan daha yüksek basınç dayanımı sergilemiştir. NaCl çevresel etkisindeki betonlardan, referans ortama (H<sub>2</sub>O) göre 15P0Z betonu basınç dayanımı bakımından sürekli bir artış göstermiştir. Bu durum pomza'nın zeolite nazaran daha ince oluşuna bağlı olarak beton içerisinde filler etkisi yaparak Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> iyonlarının geçişini engellemiştir.

Aşınma dayanımı açısından veriler incelendiğinde referans çevresel etki olarak alınan su ortamında, 56 gün yaşında maksimum ortalama ortalama ağırlık kaybı değerleri beton türlerine göre sırasıyla 5P10Z, 15P0Z, 10P5Z, 0P15Z, 90 gün yaşında 15P0Z, 10P5Z, 5P10Z, 0P15Z, 120 gün yaşında 10P5Z, 0P15Z, 15P0Z, 5P10Z, olduğu, bunun yanı sıra Referans çevresel etki ortamında, beton yaşı faktörüne bağlı olarak 0P15Z betonunda ortalama ortalama ağırlık kaybı bakımından sırasıyla %112,77 ve %14,61 artış olduğu, 5P10Z betonunda %47,69 ve %67,51 düşüş olduğu, 10P5Z betonunda %312,81 artış, %54,43 düşüş olduğu ve 15P0Z betonunda %277,19 ve %69,17 düşüş olduğu görülmüştür. NaCl çevresel etkisinde, beton yaşı faktörüne ve referans çevresel etkiye bağlı olarak 0P15Z betonunda ortalama ortalama ağırlık kaybı bakımından sırasıyla %7,41düşüş %86,33 ve %16,75 artış olduğu, 5P10Z betonunda %55,96, %28,60 düşüş %68,21 artış olduğu, 10P5Z betonunda %22,73, %22,47düşüş %21,16 artış olduğu, 15P0Z betonunda % 38,89, %13,03 ve %35,79 düşüş olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 3.** Beton türü - çevresel etki - beton yaşı ilişkisine ait ortalama aşınma dayanımı deneyi verilerine ait grafik (Concrete type - environmental impact - the concrete abrasion resistance test data, the average age of the relationship of the graphical)

Referans ortam (H<sub>2</sub>O)'da pomza ikame oranının artışına bağlı olarak aşınma artmıştır. Aşınma dayanımı yüzey sertliği ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla pomza ile üretilen beton türlerinde yüzey sertliği düşük olduğundan aşınma fazla gerçekleşmiştir. NaCl çevresel etkisi genel olarak incelendiğinde gerek çevresel etkinin kimyasal reaksiyon ürünleri gerekse puzolanik reaksiyonların ürünleri 90 gün yaşına kadar aşınma dayanımı üzerinde olumlu bir etki yapmıştır. Fakat bu olumlu gibi görünen bu etki 120 gün yaşında sona ermiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Pomza ve zeolit minerallerinin tek tek ve kombinasyonları şeklinde yüksek dayanımlı beton bünyesinde kullanılarak üretilen malzemenin NaCl tuz etkisi altındaki rijit yol üst kaplamasında kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen verilere göre;

- Pomza ve zeolit puzolanik özelliklerinin olumlu olması çimento ve beton sektöründe kullanılabilir bir malzeme olmasının yanı sıra doğal malzeme oluşu, bu malzemelerle üretilen betonun çevreye geri dönüşümü şüphesiz olumlu olacaktır.
- Taze beton verileri incelendiğinde ise beton yol uygulamalarında aranan işlenebilirlik kavramının zeolit ikame oranı ile arttığı tespit edilmiştir. Bu parametrelere dayanarak tasarlanan beton türlerinin rijit yol üst kaplamasında kullanılabileceği söylenebilir.
- Bütün beton türlerinde kohezyonun mükemmel olduğu, herhangi bir ayrışmanın gözlenmediği görülmüştür. Bu sonuca dayanarak inşaat süresini ve işçi maliyetlerini azaltmak, vibrasyon uygulanması gereksinimini kaldırmak, gürültü kirliliğini azaltmak, geometrik nedenlerle betonun yerleştirilmesinin engellendiği, yüksek oranda donatı içeren veya deniz altında yerleştirilmesi gereken elemanların daha başarılı bir şekilde üretilmesi ve düzgün yüzeyli bir beton elde etmek gibi bir takım avantajlarda sağlayacağı düşünülmektedir.
- 28 gün yaşında basınç dayanımı bakımından 15P0Z betonunun en düşük, 0P15Z betonunun en yüksek sahip olduğu, zeolit ikame oranının artışına bağlı olarak sırasıyla %11,11, %16,40 ve %5,54 artış olduğu görülmüştür. 28 gün yaşında rijit yol üst kaplamalarında sağlanması gereken minimum basınç dayanımı değerlerinin çok üstünde basınç dayanımı değerleri bütün beton türlerinde sağlanmıştır.



- Referans ortam ( $H_2O$ )’da 56 günlük beton basınç dayanımı, 28 günlük beton basınç dayanımıyla benzerlik gösterdiği ve NaCl çevresel etkisindeki betonlardan, 15P0Z betonu basınç dayanımı bakımından sürekli bir artış gösterdiği görülmüştür. Bu durum pomzanın beton boşluklarını doldurma özelliğinin zeolite nazaran daha iyi olmasıyla açıklanabileceği gibi, Cl<sup>-</sup> iyonlarının beton bünyesine nüfuzunun az oluşuyla da açıklanabilir.
- Beton türü, çevresel etki ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak değiştiği, referans ortamda pomza ikame oranının artışına bağlı olarak arttığı, NaCl çevresel etkisi genel olarak incelendiğinde 90 gün yaşına kadar aşınma dayanımının arttığı görülmüştür. Bu durum beton içerisinde puzolanik reaksiyonların 90 günden sonra daha da belirginleştiği bilgisiyle ifade edilebilir.
- Belirtilen süreler içerisinde referans kür ortamında gözle görülen bir deformasyon söz konusu olmazken, NaCl çevresel etkisine maruz bırakılan beton türlerinin tamamının yüzeyinde tuz kristalleri oluşmuştur. Fakat bu tuz kristalleri tamamen yüzeysel olup beton içerisine nüfuzu gerçekleşmemiştir.
- Aşınma dayanımı değerlerinin tüm beton türlerinde ASTM C944-99’de öngörülen değerlerin altında kaldığını göstermektedir.

Rijit yol üst kaplamasında kullanılabilirliği araştırılan ve tuz etkisine maruz bırakılmış beton numunelerinin gerek taze gerekse sertleşmiş beton özellikleri göz önüne alındığında pomza ve zeolit ikamesi yapılarak üretilen betonların rijit yol üst kaplamalarında değerlendirilebilir olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra ülkemiz pomza rezervi yaklaşık 3 milyar m<sup>3</sup>, zeolit rezervi sadece Balıkesir Bigadiç yöresinde 50 milyar ton olduğu göz önünde bulundurulursa, rijit yol üst yapısında bu iki malzemenin değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca %99’u doğal malzeme içeren betonun, pomza ve zeolit gibi doğal malzemelerle özelliklerinin iyileştirilmesi, beton malzemesinin doğaya geri dönüşümünde de çevreye duyarlı bir malzeme olma özelliğini de artıracaktır.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmaya, 07/2007-31 proje kod numarasıyla maddi destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Müdürlüğü’ne ve TÇMB kurumuna teşekkür ederim.

### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Tolğay, A., Yaşar, E., Erdoğan, Y., “Nevşehir Pomzasının Agregası Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması” 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, (2004).
- [2]. Sarı, D., Paşamehmetoğlu, A. G., “The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete, Cement and Concrete Research, 35 (5): 936-942 (2005).
- [3]. Yazıcıoğlu, S., Demirel, B.,” Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi” Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (3): 367-374 (2006).
- [4]. Şimşek, O., Aruntaş H.Y., Eroltekin V., “Uçucu Külün Hafif Beton Yapı Elemanı Üretiminde Kullanımı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi” Teknoloji, 2 (3-4): 15-23 (1999).
- [5]. Ekici, B. B., Demirel, B., “Determination Of The Effects Of Grounded Pumice On Compressive Strength Of Concrete With Artificial Neural Networks” E-Journal Of New World Sciences Academy, 3 (1):169-175 (2008).
- [6]. Uysal, H., Demirboga, R., Sahin, R., ve Gül, R., “The Effects of Different Cement Dosages, Slumps and Pumice Aggregate Ratios on the Thermal Conductivity and Densities of Concrete”, Cement and Concrete Research, 34 (5): 845-848 (2004).

*::: Pomza ve Zeolit Katkılı Betonun Yol Kaplamalarında Kullanılabilirliği ve NaCl Etkisinin Araştırılması :::*

- [7]. Ceylan, H., Saraç, M. S., “Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (3): 413-421(2006).
- [8]. Kılıç, A., Atıs, C. D., Yaşar, E. And Özcan, F., “High-Strength Lightweight Concrete Made with Scoria Aggregate Containing Mineral Admixtures”, Cement and Concrete Research, 33 (10): 1595-1599 (2004).
- [9]. Cavalari, L., Miraglia, N. and Papia, M., “Pumice concrete for structural wall panels”, Engineering Structures, 25 (1): 115-125 (2003).
- [10]. Yılmaz, K., Canpolat, F., Arman, H., “Taban Külü Ve Doğal Zeolitin Puzolanik Çimentoda Katkı Olarak Kullanımı” Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 10-12 (2004).
- [11]. Şişman, C. B., Kocaman, İ., Gezer, E., “Doğal Zeolitten Üretilen Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma” Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 20-25 (2008).
- [12]. Kosmatka S.H. and W.C.Panarese., Desing and Control of Concrete Mixture. Portland Cement Association Publication, Illinois, USA. 358 (1992).
- [13]. Topçu İ.B., “Beton”, İnşaat Müh. Odası Eskişehir Odası Yayınları, Uğur Ofset A.Ş. Eskişehir, 183-185 (2006).
- [14]. Ünal O., Uygunoğlu, T., “Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması”. İMO Teknik Dergisi, 1: 4025-4034 (2007).
- [15]. Okucu, A., “Bigadiç Ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik Ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri” Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 30-60 (1998).
- [16]. Yıldırım, F. S., “Puzolanik zeolitin çimentoda katkı uygunluğunun araştırılması” Y. Lisans tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 45-75 (2007).
- [17]. Gürkan, A., “Pomza ve zeolitin alkali silika reaksiyonu üzerine etkisi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir 100-115 (2006).
- [18]. Naiqian, F., Hongwei, J. ve Enyi, C. “Study on the suppression effect of natural zeolite on expansion of concrete due to alkali-aggregate reaction”, Magazine of Concrete Research, 50 (1): 17-24 (1998).
- [19]. Uzal B., “Properties And Hydration Of Cementitious Systems Containing Low, Moderate And High Amounts Of Natural Zeolites”, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40-45 (2007).
- [20]. Feng, N.Q., Li, Z., G., Zang, X. W., “High-strength and Flowing Concrete with a Zeolite Mineral Admixture”, Cement and Aggregates, ASTM, 12: 61-69 (1990).
- [21]. Albayrak, M., Yörükoğlu, A., Karahan, S., Atlıhan, S., Aruntaş, H. Y., and Girgin, İ., “Influence of zeolite additive on properties of autoclaved aerated concrete” Building and Environment, 42 (9): 3161-3165 (2007).
- [22]. Hassan, K. E., Cabrera J. G., and Maliehe R. S., “The effect of mineral admixtures on the properties of high performance concrete”. Cement and concrete composites, 22: 267-271(2000).
- [23]. E.G. Nawy, P.E., ”General performance characteristics”, Fundamentals of High Performance Concrete 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., Canada, 2-10 (2001).
- [24]. Neville, A. M., “Properties of concrete”, Fourth and Final Edition, Pearson Prentice Hall, England, 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624 (2003).
- [25]. Malhotra, V.M., “Significance of test and properties of concrete and concrete making materials”, Editors: Klieger P. and Lamond, J.F., ASTM Publication, USA, ASTM-STP 169C: 326-327 (1994).
- [26]. Dmomenichini, L and Kawano, H. (2004). Yoğun Trafiğe Maruz Yollar İçin Beton Kaplama. 9. Uluslararası Beton Yollar Sempozyumu, (04-07 Nisan 2004) Bildirileri, İ.Ö. Yaman (Editör), İstanbul, 37-81.
- [27]. ASTM C 618, “Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Pennsylvania 1-10 (2002).

- [28]. ASTM C944-99, “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method”, American Society For Testing And Materials, USA, 1-10 (1999).
- [29]. TS EN 12350-2 “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi “ Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-9 (2002).
- [30]. TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2-10 (2002).