

# MgSO<sub>4</sub> Etkisine Maruz Rijit Yol Kaplamalarında Pomza Ve Zeolit Katkılı Betonun Kullanılabilirliği

Kürşat YILDIZ<sup>1\*</sup>, Can DEMİREL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,06500 Ankara, Türkiye.

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,06500 Ankara, Türkiye.

## ÖZET

Bu çalışmada pomza ve zeolit içeren yüksek dayanımlı betonun "YDB. MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisi altında rijit yol kaplaması olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, üretilen beton için taze beton deneyleri, basınç dayanımı deneyi ve aşınma direnci deneyleri yapılmıştır. Üretilen betonda bağlayıcı olarak kullanılan çimento, pomza ve zeolit üzerinde fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yüksek dayanımlı beton "YDB. karışım dizaynı gerçekleştirilirken çimentoya ikame edilmek suretiyle sırasıyla %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. Sonuç olarak, MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisi altında kalan YDB'ların sadece yüzeylerinde "candlot tozu ve kalsiyum sülfat" gibi birtakım reaksiyon ürünleri oluşmuştur. Ancak betona zarar veren bu ürünlerin betonun merkezine doğru nüfuz edemediği görülmüştür. Diğer taraftan gözle görülebilir çatlak oluşmadığı, özellikle ilerleyen yaşlarda numunenin ayrıtlarında çok hafif kopmalar olduğu tespit edilmiştir. Aşınma dayanımı değerlerinin ise tüm beton türlerinde ASTM C944-99'de öngörülen değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler :** Rijit yol, Yüksek dayanımlı beton, Pomza, Zeolit, MgSO<sub>4</sub>

# The Utilizability of Pumice and Zeolite Applied Concrete On MgSO<sub>4</sub> Effect Exposed-Rigid Pavement Coatings

## ABSTRACT

In this study, pumice and zeolite containing high-strength concrete under the environmental impact of MgSO<sub>4</sub> as the availability of rigid pavement was investigated. In this context, experiments produced concrete for concrete, compressive strength and abrasion resistance tests were conducted. Physical, chemical and mechanical experiments have been made on the cement, pumice and zeolite which were used as binders in concrete High-strength concrete "HSC" cement mix design is being realized through the substitution to be 0% pumice + 15% Zeolite (0P15Z), 5% pumice + 10% Zeolite (5P10Z), 10% pumice + 5% zeolite (10P5Z) and 15% pumice + 0 Zeolite (15P0Z) respectively. HSC to four types were produced. As a result, under the influence of environmental MgSO<sub>4</sub> only the surfaces of the remaining HSC "candlot powder and calcium sulfoaluminat such as" some reaction products were formed. However, damage to concrete, these products were unable to penetrate toward the center of the concrete. On the other hand does not create visible cracks, especially in later times in the edges of the sample was found to be of very light break. Abrasion resistance of concrete values for all types of the predicted values under ASTM C944-99 that have been determined.

**Keywords:** Rigid highway pavement, high strength concrete, Pumice, Zeolite, MgSO<sub>4</sub>

## 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.

Beton üretiminde farklı özelliklerde agregalar kullanılmaktadır. Agregaların genel özellikleri elde edildikleri kayaların özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Volkanik kayalar önemli bir agregaya kaynağı olup bunlar volkanik faaliyetler esnasında ani so-

ğuma ve gazların bünyeyi aniden terk etmesi sonucu oluşmaktadır. Oldukça gözenekli bir yapıya sahip olan ve ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlayan Pomza taşıda volkanik kökenli bir kayadır. 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. Pomza ve Zeolit ayrı çimento beton sektöründe kullanımına ilişkin bir dizi çalışma yapılmasına karşın çimento ve beton içerisinde beraber kullanımına ilişkin çalışma yok denecek kadar azdır. Ancak pomza; hafif beton üretiminde kullanılabilirliği, çimento içerisinde değişik oranlarda puzolan olarak kullanılabilirliği, betonun taze

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: kursaty@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17 Sayı 1, 23-29

ve sertleşmiş bir takım özelliklerine etkileri, yüksek mukavemetli hafif beton üretiminde kullanılabilirliği, beton içerisinde hafif agrega olarak kullanılabilirliği gibi çalışmalara konu olmuştur. Zeolit ile ise; çimento içerisinde puzolan olarak kullanılabilirliği, hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği, zeolit katkılı çimento üretilebilirliği, beton içerisinde alkali silika reaksiyonuna etkisi, yüksek dayanımlı betonlarda kullanılabilirliği gibi çalışmalara konu olmuştur [1, 2].

Beton yol kaplamalarında durabilitenin gereği olan yüksek dayanım, kimyasal ve mineral katkıların kullanımıyla, betonda boşluk oranının düşmesiyle sağlanabilirken, Süper akışkanlaştırıcı katkı (SAK) betonun karışım suyunu %25'lere varan oranlarda azaltabilmektedir. Silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) vb mineral katkıları ise, betonun porozitesindeki düşmenin yanında, harç yapısı ve agrega ara yüzeyindeki boşlukların azalmasını da sağlarlar [3].

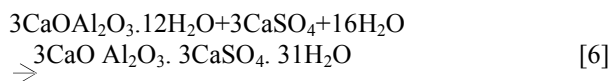
Yüksek dayanımlı betonlar gerek taze, gerekse sertleşmiş geleneksel betonlardan; işlenebilirlik, dayanım, dayanıklılık gibi birçok özelliği daha üstün olan betonlardır. Yüksek dayanımlı betonlar kaliteli agrega, kaliteli çimento, süper akışkanlaştırıcı katkı, düşük S/Ç oranı ve silis dumanı uçucu kül gibi puzolanik madde gerektiren yüksek işlenebilirliğe sahip özel bir betondur [4].

Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları beton yapılarda bozulmaya yol açabilir. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli (C<sub>3</sub>A) ve kalsiyumlu (Ca(OH)<sub>2</sub>) bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genleşme yaratarak agrega-çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirirliliğin artmasına yol açar. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur [5].

Sülfat, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genleşme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya yol açar, agrega çimento aderansının etkilenmesiyle betonun mukavemeti düşer. Magnezyum sülfat ile beton boşluklarında doygun çözelti halinde bulunan kalsiyum hidroksit ile birleşmesi sonucu, beton içerisinde %15 oranında hacim genleşmesine neden olan kalsiyum sülfatın oluşmasına yol açar. Bu reaksiyon aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Sülfatın beton üzerindeki asıl zararlı etkisi, kalsiyum sülfat ile klinker bileşiklerinden trikalsiyum alüminat (C<sub>3</sub>A) arasında meydana gelen reaksiyondur. Bu reaksiyon ise aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Bu reaksiyon sonucunda, 31 mol kristal suyu içeren trikalsiyum sülfaliminat (Candlot tozu) beton içerisinde %227 oranında hacim genleşmesi meydana getirir. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Bu betonların kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür [7].

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 düşünülen yüksek dayanımlı beton kullanılmıştır. Bu amaçla esnek yol üst kaplamalarına nazaran çok daha yerli ve çok daha çevreci olan rijit yol üst kaplamasında pomza ve zeolit gibi tamamen yerli ve doğal olan malzemelerin MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisinde aşınmaya maruz kalan yol üst kaplamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

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

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada kullanılan beton üretiminde CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Agrega olarak ise 0/2 ve 2/4 kırma kum, 4/8 ve 8/16 kırma taş agrega kullanılmıştır. Kullanılan agrega bazalt türü agrega olup, özgül ağırlıkları sırasıyla 2.55, 2.52, 2.50 ve 2.47 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Çalışmada kullanılan pomza Nevşehir yöresine, Zeolit ise Balıkesir-Bigadiç yöresine aittir. Beton karışım suyu olarak, Ankara Büyükşehir Belediyesi içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak ise Degussa yapı kimyasalları sanayi A.Ş. firmasına ait Glenium 51 türü yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılan çimento, pomza ve zeolit'in özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

### 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 katkının, türü ve oranına göre (0P15Z “%0 Pomza + %15 Zeolit., 5P10Z, 10P5Z ve 15P0Z) dört grup beton tipi üretilmiştir. Üretilen taze beton karışımlarının kıvamı TS EN 12350-2'e göre her karışım için ayrı ayrı tespit edilmiştir [26]. Kullanılan numunelere ait 1m<sup>3</sup> hacim için karışıma giren malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Aşınma dayanımı deneyi Mg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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 - ASTM C944-99(1999). 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.

Çizelge 1 - Çimento, pomza ve zeolit’in fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Özellik	CEM I 42,5 R	Pomza	Zeolit
<b>Fiziksel ve mekanik özellikler</b>			
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	145	---
	Bitiş	230	---
Basınç	7 gün	38.80	---
Dayanımı (MPa)	28 gün	45.78	---
<b>Kimyasal bileşenler (%)</b>			
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
<b>Bogue Kompozisyonu</b>			
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	-	-

$$\%A = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad [8]$$

Formülde;

%A:Ağırlık kaybı,

m<sub>1</sub>:Aşındırma öncesi numune ağırlığı (g),

Çizelge 2 - Her bir beton grubu için 1m<sup>3</sup> hacmindeki karışıma giren malzeme miktarları

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 agregası			1340.9	1371.1	1401.56	1432.09
Çimento	CEM I 42.5	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)	Glm.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

m<sub>2</sub>:Aşındırma sonrası numune ağırlığı (g)’dir.

Taze betonların birim ağırlıkları TS 2941’e göre her karışım grubu için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Numuneler, üretilen betonun ayrışmasına izin vermeyecek şekilde alınarak 10x20 cm’lik sert silindir 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 oluşturabilmek için yeraltı suyu, deniz suyu ve yüzeysel sularda mevcut olduğu belirtilen Mg<sup>+2</sup> iyon yoğunluğu göz önünde bulundurularak 7500 mg/L MgSO<sub>4</sub> çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin pH’ı 9,51 olup deney süresince pH değeri sabit tutulmaya çalışılmıştır. Su kürü ve MgSO<sub>4</sub> 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 [9].

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (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. Zeolitte 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 [5].

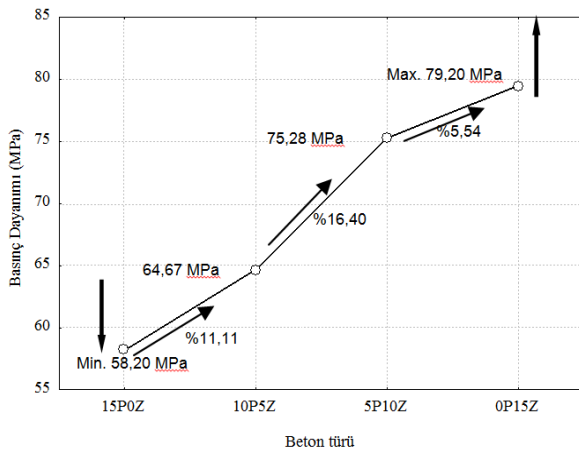
Çalışmada elde edilen taze beton parametreleri ve bu parametrelerden elde edilen veriler her bir beton türü için Çizelge 3’de verilmiştir.

Puzolanların ikame oranları dikkate alındığında, beton içerisinde pomzanın ikame oranı düşmesine ve zeolit ikame oranının artışına bağlı olarak betonun çökme değerinde artış olduğu başka bir deyişle işlenebilirlik kolaylaştığı gözlenmiştir. Bu durumun pomzanın blaine inceliğinin çimento ve zeolite göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İşlenebilirlik özelliğindeki bu artış aynı zamanda pomzanın özgül ağırlığının zeolit'den yüksek olmasının yanı sıra her iki puzolanında özgül ağırlığının çimentodan düşük olmasıyla da açıklanabilir (Çizelge 3). Ayrıca, zeolitin bünyesinde bulunan yapısal ve kristal su miktarının pomzaya göre çok daha fazla olması işlenebilirlik özelliğini arttırmaktadır.

Çizelge 3 - Taze beton parametrelerine ait veriler

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

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 yaklaşık %2,65 oranında artış gözlenmiş olup bu iki beton türünün birim ağırlıklarının birbirine çok yakın değerler olduğu görülmüştür. 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.



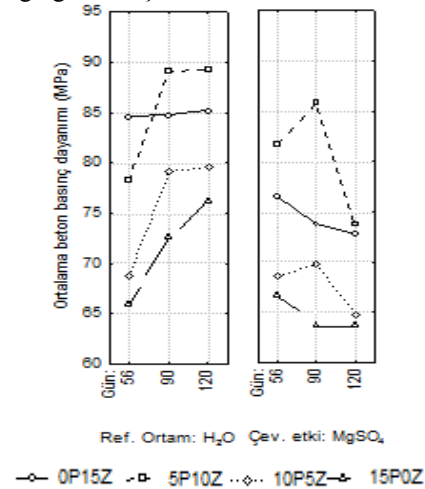
Şekil 1 - 28 gün ortalama basınç dayanımı verilerine ait grafik  
28 gün yaşında 15P0Z beton türünün 58,20 MPa ortalama ile en düşük beton basınç dayanımına sahip olduğu, 28. günde 0P15Z beton türünün 79,20 MPa ortalama ile en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, 28. günde beton içerisinde pomza ikame 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 [10].

Referans çevresel etki olarak seçilen H<sub>2</sub>O ortamı ve bozucu çevresel etki olarak seçilen MgSO<sub>4</sub> ortamlarından çıkarılan numuneler üzerinde varyans analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonucuna göre, 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 görülmüştür.

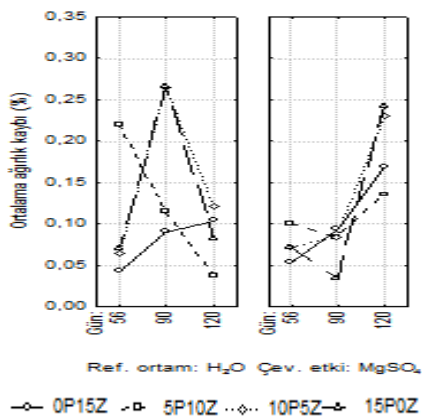


Şekil 2 - Beton türü-çevresel etki-beton yaşı ilişkisine ait ortalama beton basınç dayanımı verilerine ait grafik

MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisinde, beton yaşı faktörüne ve referans çevresel etkiye bağlı olarak 0P15Z betonunda ortalama basınç dayanımı bakımından sırasıyla %9,49, %12,9, %14,66 düşüş olduğu, 5P10Z betonunda %4,33 artış %3,76, %17,40 düşüş olduğu, 10P5Z betonunda %0,18, %11,83, %18,80 düşüş olduğu, 15P0Z betonunda %1,09 artış %12,23, %16,47 düşüş olduğu, MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisindeki betonlardan, referans ortama (H<sub>2</sub>O) göre 56 gün yaşına kadar 5P10Z ve 15P0Z beton türlerinde beton içerisine sülfat iyonlarının geçişi zorlaşmış basınç dayanımında azda olsa artış gözlenmiştir. 90 ve 120 gün yaşlarında ise değişik oranlarda basınç dayanımı düşmüştür. Bu durum sülfat iyonlarının C<sub>3</sub>A ve Ca(OH) ile reaksiyon gösterip trikalsiyum sülfat alimünat (3CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>·31H<sub>2</sub>O) ve kalsiyum sülfat (CaSO<sub>4</sub>) gibi genleşen ürünler oluşturmasından meydana gelebilir.

Aşınma dayanımı açısından veriler incelendiğinde referans çevresel etki olarak alınan su ortamında, 56 gün yaşında maksimum 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.

MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisinde, beton yaşı faktörüne ve referans çevresel etkiye bağlı olarak 0P15Z betonunda ortalama ortalama ağırlık kaybı bakımından sırasıyla %27,08, %3,93 ve %63,37 artış olduğu, 5P10Z betonunda %54,32, %26,91 ve %263,46 düşüş olduğu, 10P5Z betonunda %69,00, %68,59 düşüş, %90,80 artış olduğu, 15P0Z betonunda %0,65 artış %75,03 düşüş ve %195,12 artış olduğu düşüş olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3- Beton türü-çevresel etki-beton yaşı ilişkisine ait ortalama aşınma dayanımı deneyi verilerine ait grafik

Referans ortam (H<sub>2</sub>O)'da pomza ikame oranının artmasına bağlı olarak aşınma artmıştır. Aşınma dayanımı

yüzey sertliği ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla pomza ile üretilen beton türlerinde yüzey sertliği düşük olduğundan aşınma fazla gerçekleşmiştir.

MgSO<sub>4</sub> 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 rijit yol üst kaplamasında kullanmak amacıyla MgSO<sub>4</sub> etkisini araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen verilere göre;

- Pomza ve zeolitin 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. Ayrıca bu durum yapılar da sürdürülebilirlik kavramına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.
- 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 kullanılabilmesi 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 değere sahip olduğu, zeolit ikame oranının artmasına 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<sub>2</sub>O)'da 56 günlük beton basınç dayanımı, 28 günlük beton basınç dayanımıyla benzerlik gösterdiği ve MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisindeki betonlardan, referans ortama (H<sub>2</sub>O) göre 56 gün yaşına kadar 5P10Z ve 15P0Z beton türlerinde beton içerisine sülfat iyonlarının geçişi zorlaşmış basınç dayanımında azda olsa artış gözlenmiştir. 90 ve 120 gün yaşlarında ise değişik oranlarda basınç dayanımı düşmüştür.

- Beton türü, çevresel etki ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak aşınma dayanımının değiştiği, referans ortamda pomza ikame oranının artmasına bağlı olarak arttığı, MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisindeki betonlardan, 56 gün yaşına kadar 5P10Z ve 15P0Z beton türlerinde basınç dayanımında azda olsa artış gözlemlendiği görülmüştür.
- Belirtilen süreler içerisinde referans kür ortamında gözle görülen bir deformasyon söz konusu olmazken, MgSO<sub>4</sub> çevresel etkisine maruz bırakılan beton türlerinin tamamının yüzeyinde literatürde belirtilen kalsiyum sülfat ve kondrat tozu gibi birtakım reaksiyon ürünleri oluşmuştur. Fakat bu reaksiyon ürünleri ilerleyen yaşlarda numuneler iki kesilerek gözlemlenmiş ve sülfat nüfuzunun bir milimetreden daha az gerçekleştiği görülmüştür. Göz görülebilir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.
- Aşınma dayanımı değerlerinin tüm beton türlerinde ASTM C944-99'de öngörülen değerlerin altında kaldığını göstermektedir.

Rijit yol üst kaplamasında kullanılması için tasarlanan pomza ve zeolit katkılı YDB'ların MgSO<sub>4</sub> etkisine maruz bırakılmış numunelerin gerek taze gerekse sertleşmiş beton özellikleri göz önüne alındığında pomza ve zeolit ikamesi yapılarak üretilen betonların rijit yol üst kaplamalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sürdürülebilirlik kavramının temellerinden bir tanesi olan ülke ekonomisine katkı, yer altı zenginliklerimizin kullanılmasında sağlanmıştır. Ayrıca çevrenin bir bileşeni olan yapı ve dolayısıyla yapı malzemeleri ne kadar doğal olursa yapıda o kadar çevreye duyarlı çevre bilinçli sürdürülebilir bir yapı oluşumuna katkıda bulunacağı aşıkardır.

## 5.TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

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

## 6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Tolgay, A., Yaşar, E., Erdoğan, Y., "Nevşehir Pomzasının Agregası Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir (2004).
2. 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).
3. 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*, 2: 267-271(2000).
4. 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).
5. ASTM C 1012-95a: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution., USA, 1-10 (2004).

6. 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).
7. Skalny, J., Marchand, J., Odler, I., Sulfate attack on concrete. Spon Press, London, 31-43.
8. 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 (2002).
9. TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2-10 (2002).
10. Dmomenichini, L and Kawano, H. "Yoğun Trafığa Maruz Yollar İçin Beton Kaplama", 9. Uluslararası Beton Yollar Sempozyumu. Bildirileri. I.Ö. Yaman (Editör), İstanbul. 37-81(04-07 Nisan 2004).
11. 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).
12. ASTM C 944-99 - 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 (2007).
13. Cavalari, L., Miraglia, N. and Papia, M., "Pumice concrete for structural wall panels", *Engineering Structures*, 25 (1): 115-125 (2003).
14. Ceylan, H., Saraç, M. S., "Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma", Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3): 413-421 (2006).
15. 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).
16. 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).
17. Gürkan, A., "Pomza ve zeolit in alkali silika reaksiyonu üzerine etkisi", Doktora Tezi, [Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü](http://www.dokuzeylul.edu.tr), İzmir 100-115 (2006).
18. Kılıç, A., Ats, 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 (1992).
19. Kosmatka S.H. and W.C.Panarese., "Desing and Control of Concrete Mixture", *Portland Cement Association Publication*, Illinois, USA. 358 (1992).
20. 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).
21. Okucu, A., "Bigadiç Ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik Ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri", *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 30-60 (1998).

22. 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).
23. 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).
24. Topçu İ.B., “Beton”, İnşaat Müh. Odası Eskişehir Odası Yayınları, Uğur Ofset A.Ş. Eskişehir, 183-185 (2006).
25. TS EN 12350-2 - Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-9 (2002).
26. 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).
27. 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).
28. Ünal O., Uygunoğlu,T., “Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması”, *İMO Teknik Dergisi*, 1: 4025-4034 (2007).
29. Yıldırım, F. S., “Puzolanik zeolitin çimentoda katkı uygunluğunun araştırılması”, *Y. Lisans tezi*, [Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü](#), Hatay. 45-75 (2007).
30. Yılmaz, K., Canpolat, F., Arman, H., “Taban Külü Ve Doğal Zeolitin Puzolanik Çimentoda Katkı Olarak Kullanımı”, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 10-12 (2004).