

# ZEOLİTİK TÜF İKAMESİNİN FARKLI AGREGALAR ÜZERİNDE ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONU ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

**H. Süleyman GÖKÇE, Saniye TABAN\* ve Osman ŞİMŞEK\*\***

İnşaat Müh., Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

\* İnşaat Müh., Mühendislik Fakültesi, Kilis 7 Aralık Üniv., Kilis, Türkiye

\*\* İnşaat Müh., Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

[sgokce@bayburt.edu.tr](mailto:sgokce@bayburt.edu.tr), [saniyetablean@myynet.com](mailto:saniyetablean@myynet.com), [simsek@gazi.edu.tr](mailto:simsek@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 06.01.2010; Kabul/Accepted: 14.07.2010)

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, andezit, kireçtaşı ve perlit kayaçlarından üretilen kırmataş agregaların, harç karışımlarında çimento yerine farklı oranlarda zeolitik tüf (ZT) kullanılmasının alkali-silika reaksiyonu (ASR)'na ilişkin özelliklerini belirlemektir. Kırmataş agregası numuneleri üzerinde ASR'yi belirlemek için ASTM C 1260 göre hızlandırılmış harç çubuk deneyleri yapılmıştır. ZT katkısı CEM I 42.5 R tipi çimentoya, %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında ikame edilmiştir ve agregası türleri üzerinde ASR etkinliğini araştırmak için 45 adet harç çubuğu üretilmiştir. Hızlandırılmış harç çubuk metoduna göre numunelerin 3, 7, 14, 28, 42 ve 56 günlük boy değişim değerleri ölçülmüştür. 14 günlük kontrol numunelerinde perlit %0,570 oranında potansiyel zararlı seviyede, andezit %0,101 oranında kritik seviyede ve kireçtaşı %0,061 oranında zararsız seviyede boy değişimine uğramıştır. Zararlı seviyede olan boy değişimleri perlitte %30 ve 40, andezitte %20, 30 ve 40 ZT ikamesinde kontrol altına alınmıştır. Tüm numunelerin boy değişim miktarı ZT ikamesi arttıkça azalmaktadır. Sonuçta, ZT katkısının reaktif agregaların ASR'sini önlemede etkili olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alkali silika reaksiyonu, zeolitik tüf, perlit, andezit, kireç taşı

## DETERMINATION OF ALKALI-SILICA REACTION EFFECTS OF ZEOLITIC TUFF ADDITION ON THE DIFFERENT AGGREGATES

### ABSTRACT

The aim of this study is to determine the alkali-silica reaction (ASR) related characteristics of crushed stones that are produced from rocks of perlite, andesite and limestone when zeolitic tuff (ZT) is used in the mortar mix as cement replacement in different ratios. Accelerated mortar bar experiments in accordance with ASTM C 1260 were carried out on crushed stone aggregate samples to determine the ASR. CEM I 42.5 R type cement was replaced by ZT material in the following ratios: 0, 10, 20, 30 and 40%; in order to investigate the effects of replacement on the ASR pertaining to the aggregate types, 45 mortar bar pieces were produced. The length change values of the samples were measured on the 3, 7, 14, 28, 42, 56 days according to the accelerated mortar bar method. Measured length changes for the control samples on 14<sup>th</sup> day were found to be 0.570% at the level of potentially harmful for perlite, 0.101% at the level of critic for andesite and 0.061% at the level of harmless for limestone. Length changes at the harmful levels were taken under control for perlite at 30 and 40%, for andesite at 20, 30 and 40% ZT replacement ratios. Length change values of all samples decrease as ZT replacement increases. As a result, ZT replacement is effective to suppress the ASR of reactive aggregates.

**Keywords:** Alkali silica reaction, zeolitic tuff, perlite, andesite, limestone

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme veya beton yapı elemanlarının zamanla bozulup işlevlerini beklenen servis ömürlerine ulaşmadan yitirmelerine birçok faktör sebep olabilir.

Bu faktörler arasında beton bileşimini oluşturan malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanan iç etkiler ve çevreden kaynaklanan dış etkiler önemli yere sahiptir. Beton bileşimini oluşturan malzemelerin kendi aralarında veya

çevreden gelen bazı zararlı maddelerle kimyasal reaksiyonlara girebildiği, böylece beton hacim sabitliğinin bozulması nedeniyle yapı elemanının zarar gördüğü bilinmektedir [1].

1920'li ve 1930'lu yıllarda ABD'de, Kaliforniya'daki beton yapılar da nedeni belirsiz çatlak oluşumlarına bağlı yıkımlar rapor edilmiştir. Bu raporlarda beton malzemelerin standartlara uygun olmasına rağmen, yapım yılını takiben birkaç yıl sonra çatlaklar oluştuğu açıklanmıştır. Genellikle harita çatlağı şeklinde görülen çatlaklardan jel çıkışı ve betonda patlamalar gibi belirtilere rastlanmıştır. Stanton, 1940 yılında bu tür çatlakların (daha sonra ASR olarak adlandırılan) kimyasal bir reaksiyonun sonucu oluştuğunu açıklamıştır [2].

Bu reaksiyonda oluşan jel aşırı derecede su emme özelliğine sahiptir. Betonda suyu emdikçe şişerek içsel çekme gerilmeleri oluşturur ve betonun genişmesine neden olur. Genişlemeler belli bir sınırı aştığında beton için potansiyel bir tehlike oluşturur. Sonuçta agrega ile onu çevreleyen çimento pastasında belirtilen bu çatlamlara neden olur [3,4].

Günümüzde iki çeşit alkali-agrega reaksiyonu (AAR) bilinmektedir. Bunlar ASR ve alkali-karbonat reaksiyonudur (AKR). ASR daha yaygın olarak görülmektedir. Betonda sıklıkla çimento içerisindeki alkali oksitlerin oranı, alkaliye duyarlı agregalar (opal, riyolit, tridimit, dasit, andezit, fillat vb. gibi mineraller bulunan agregalar), rutubet ve ortam ısısı sebebiyle olduğu bilinmektedir. Ayrıca akarsu yatağından temin edilen akarsuyun geçtiği havzaların kayaçlarından oluşan agregalarla üretilen betonlarda rastlanmaktadır. ASR reaksiyonunun oluştuğu betonlarda, reaksiyonlar sonunda oluşan su emme özelliği olan bu jel şişerek genişlemekte bundan dolayı beton bünyesinde 0,1-11 MPa'ya ulaşan çekme gerilmeleri oluştuğu ileri sürülmektedir [5-8].

Çimento ve betonlarda doğal puzolanların ikame edilmesi betonun işlenebilirlik, geçirimsizlik, geç yaşlardaki dayanım gibi özelliklerini geliştirmekte aynı zamanda AAR ve sülfat etkisi gibi kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. %10, 20 ve 30 oranlarında doğal puzolan ikamesiyle elde edilen katkılı portland çimentolarının normal Portland çimentosuna benzer veya daha fazla basınç dayanımı gösterdikleri ve ASR, sülfat etkilerine karşı çok daha dirençli oldukları rapor edilmiştir [9,10].

ZT'lerin zeolitik olmayan doğal puzolanlara göre daha aktif olmaları genel olarak zeolitlerin mikro-gözenek yapısıyla ilişkilendirilmektedir. Mikro-gözeneklilikten dolayı zeolitler muhtemelen difüzyon-kontrollü topokimyasal (tane yüzeyinde meydana gelen reaksiyon) reaksiyon yoluyla ortamdaki kireçle etkin bir şekilde reaksiyona girerek bağlayıcı jeller oluşturmaktadır [11].

Zeolit tozunun ASR genişmelerine etkisini incelemek için yapılan çalışmada ASTM C 227 harç çubuğu metodunu uygulayarak %30 oranında zeolit tozunun çimento ile yer değiştirmesi durumunda reaktif agrega kullanılsa bile betonda ASR'nin oluşmayacağı ve zeolit tozunun inceliği arttıkça bu etkinin artacağı belirtilmiştir. Bu sonuç zeolit tozunun boşluk çözültisi alkalitesinde iyon değişimi ve absorpsiyonun puzolanik reaksiyon sonucu düşmesi ile ortaya çıkmaktadır [12].

Bu çalışmada, reaktif olduğu bilinen perlit ve andezit agregaları [6,13-17] ile reaktif özellik göstermeyen kireçtaşı agregasının [18], ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu yöntemine göre hazırlanan karışımlarında ZT katkısının çimentoya ağırlıkça %, 10, 20, 30, 40 oranlarında ikame edilmesi suretiyle ASR'ye etkisi araştırılmıştır.

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

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada; perlit, andezit, kireçtaşı kırma taş agregası, çimento ikame maddesi olarak zeolitik tüf (ZT), CEM I 42.5 R tipi çimento ve karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

#### 2.1.1. Agregalar (Aggregate)

Perlit, andezit ve kireçtaşı kayaçlarından elde edilen agregalara ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Agregaların TS EN 1097-6'ya göre agrega yoğunluk ve su emme değerleri belirlenmiştir [19].

**Tablo 1.** Agregaların kimyasal ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of the aggregates)

Bileşen, %	Perlit	Andezit	Kireçtaşı
SiO <sub>2</sub>	70,03	62,74	0,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	16,04	0,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,13	4,75	0,23
CaO	0,76	5,88	55,68
MgO	0,045	0,86	0,27
SO <sub>3</sub>	3,97	0,07	-
Na <sub>2</sub> O	3,97	2,94	0,019
K <sub>2</sub> O	4,2	3,11	0,022
Kız. Kaybı	2,5	1,94	-
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	2,31	2,48	2,68
Su emme, %	1,25	1,14	0,56

#### 2.1.2. Zeolitik Tüf (ZT) (Zeolitic tuff)

Bu çalışmada kullanılan zeolitik tüf (ZT) örneği Balıkesir ili Bigadiç ilçesinde yüzeylenen kayaçlardan alınmıştır. ZT örneğinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler TS 25'te belirtilen kimyasal özellikler ile karşılaştırıldığında; ZT örneğinin SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> ve MgO içeriğinin sınır değerlerin içerisinde kaldığı görülmektedir [20].

**Tablo 2.** ZT örneğinin kimyasal analiz sonuçları, % (Chemical analysis results of ZT sample, %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Kızdırma kaybı
64,59	11,09	1,4	3,59	2,94	0,15	0,00	3,45	5,17
			TS 25	Zeolitik tüf örneği				
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			>70	77,08				
MgO			<5	2,94				
SO <sub>3</sub>			<3	0,15				

**Tablo 3.** Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (Chemical, physical and mechanical properties of cement)

Kimyasal özellikler, %		Fiziksel Özellikleri			
iO <sub>2</sub>	20,35	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /g			3350
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,98	Genleşme, mm			3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,06	Su ihtiyacı, %			27.2
CaO	63,35	Priz baş., dak.			106
MgO	1,89	Priz sonu., dak.			189
SO <sub>3</sub>	2,89	Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>			3.1
Na <sub>2</sub> O	0,58	Mekanik Özellikleri MPa	Gün	Basınç	Eğilme
K <sub>2</sub> O	0,88		7	39.8	7.3
Kız. Kaybı	0,50		28	51.9	10.1

**Tablo 4.** Harç çubukları malzeme karışım miktarları (Material mixing amounts of mortar bars)

Malzeme Türü	Elek Serisi					s/b	Su (ml)	Çimento + ZT (gr)
	2,36-4,75 %10	1,18-2,36 %25	0,60-1,18 %25	0,30-0,60 %25	0,15-0,30 %15			
Perlit	87 gr	218 gr	218 gr	218 gr	131 gr	0.47	209	444
Andezit	100 gr	250 gr	250 gr	250 gr	150 gr	0.47	209	444
Kireçtaşı	100 gr	250 gr	250 gr	250 gr	150 gr	0.47	209	444

### 2.1.3. Çimento (Cement)

Çalışmada Tablo 3'de kimyasal özellikleri verilen Set Çimento Güvercinlik Ankara tesislerinden temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento (TS EN 197-1'e uygun) kullanılmıştır [21]. Numune üretiminde çimento ağırlık olarak %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında azaltılıp yerine ZT ikame edilerek kullanılmıştır.

### 2.2. Metot (Method)

Perlit, andezit ve kireçtaşı agregaları ile hazırlanan harç numuneleri üzerinde, ASR'nin belirlenmesi

ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre yapılmıştır.

#### 2.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması (Preparation of experimental samples)

Çimento içerisine farklı oranlarda ZT katkısı ikamesi ile üretilen perlit, andezit ve kireçtaşı agregası ile harç çubukları (ASTM C 1260) ve (ASTM C 227)'de belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanmıştır. Harç karışımları için standartta belirtilen eleklerden elenen agrega, su ve bağlayıcı miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Çalışmada ZT ikamesi ile azalan işlenebilirliği sağlayacak minimum su ilavesi yapılmıştır. Normal agrega sınıfına giren kireçtaşı ve andezit agregaları ile hazırlanan harç karışımlarının malzeme karışım miktarları hesaplanması Tablo 4'de görüldüğü gibi standart oranlarda kullanılırken, hafif perlit agregası

harç karışımlarının agrega miktarının hesaplanmasında ise ASTM C 1260'da önerilen Eş. 2.1'den yararlanılmıştır [22, 23].

$$\text{Agrega oranı} = 2,25xD/2,65 \quad (2.1)$$

D: agrega yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

Her üç agrega grubuna ait 5 farklı oranda 15 adet harç çubuk olmak üzere toplam 45 adet 25x25x285 mm boyutunda numune üretilmiştir. Kalıplara harç iki eşit tabaka halinde olacak şekilde yerleştirilmiş ve her tabaka sarsma tablasında 1 dakika (60 sarsma) sıkıştırılmıştır. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında 23 ± 1,7 °C'de 24 saat bekletilmiştir.

#### 2.2.2. Hızlandırılmış harç çubuğu metodu ile alkali-silika reaksiyonu tayini (The determine of ASR according to the accelerated mortar bar method)

Üretilen harç çubukları saf su içerisine konarak 80 ± 2 °C sabit ısıdaki kür tankında 24 saat bekletildikten sonra ilk boy ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra numuneler sabit ısıdaki 1 N NaOH çözeltisi bulunan termostatlı çözelti tankına yerleştirilmiş ve deney boyunca ölçüm yapılacağı güne kadar tutulmuştur.

Harç çubuklarının 3, 7, 14, 28, 42 ve 56 günlük boy ölçümleri alınarak boy değişim yüzdeleri hızlandırılmış deney yöntemi ile alkali-silika reaktivitesi tayini ASTM C 1260 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Birim boy değişim yüzdelерinin belirlenmesinde Eş. 2.2 kullanılmıştır.

**Tablo 5.** Hızlandırılmış harç çubuk metodu sınır değerleri (The limit values of accelerated mortar bars method)

Boy değişimi (%)	< 0,1	0,1-0,2	>0,2
14 gün sonra ölçülen boy değişimi yöntemi ile alkali-silika reaksiyonu	Zararsız	Zararlı olma ihtimali var (28. gün sonunda tekrar okuma yapılmalıdır)	Potansiyel olarak zararlı

**Tablo 6.** Harç çubuklarının 14 günlük boy değişim değerleri (The length change values of samples on the 14 days)

Agrega türleri	Karışım	Numune sayısı (adet)	Art. ort. (%)	Standart sapma	Min (%)	Maks (%)
Perlit	PZ0	3	0,5695	0,000113	0,5615	0,5775
	PZ10	3	0,4168	0,000102	0,4063	0,4267
	PZ20	3	0,0206	0,000023	0,0182	0,0228
	PZ30	3	0,0042	0,000003	0,0040	0,0044
	PZ40	3	0,0096	0,000027	0,0077	0,0116
Andezit	AZ0	3	0,1014	0,000013	0,1004	0,1028
	AZ10	3	0,0465	0,000029	0,0446	0,0498
	AZ20	3	0,0232	0,000000	0,0232	0,0232
	AZ30	3	0,0095	0,000005	0,0091	0,0098
	AZ40	3	0,0044	0,000002	0,0042	0,0046
Kireçtaşı	KZ0	3	0,0061	0,000044	0,0011	0,0095
	KZ10	3	0,0056	0,000035	0,0032	0,0081
	KZ20	3	0,0049	0,000035	0,0021	0,0088
	KZ30	3	0,0034	0,000027	0,0011	0,0063
	KZ40	3	0,0046	0,000000	0,0046	0,0046

$$\%L = \left( \frac{\Delta L}{L} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Eşitlikte;

%L : Boy değişim yüzdesi,

$\Delta L$  : Örneğin boy değişimi (mm),

L : Örneğin ilk uzunluğu (mm) olarak gösterilmektedir

ASTM C 1260'a göre boy değişimlerinin değerlendirilmesi Tablo 5'e göre yapılmıştır. 14 gün sonra ölçülen boy değişimi %0,1'den küçük ise "agrega zararsız" kabul edilmiştir. 14 gün sonra ölçülen boy değişimi %0,1-0,2 arasında ise "agrega zararlı olabilir" deney süresi uzatılarak numunelerin 28 günlük boy değişimleri dikkate alınmıştır. 14 gün sonra ölçülen boy değişimi %0,2'den büyük ise "agrega potansiyel olarak zararlı" kabul edilmiştir [22].

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Harç Çubuklarının 14 Günlük Boy Değişim Değerleri (The Length Change Values of the Samples on the 14 days)

Hızlandırılmış harç çubuğu deney metodu ile ASR'yi belirlemek için perlit, andezit ve kireçtaşı agregaları, ZT ikameli çimento ile üretilen harç çubuklarının 14 günlük boy değişimleri Tablo 6'da verilmiştir.

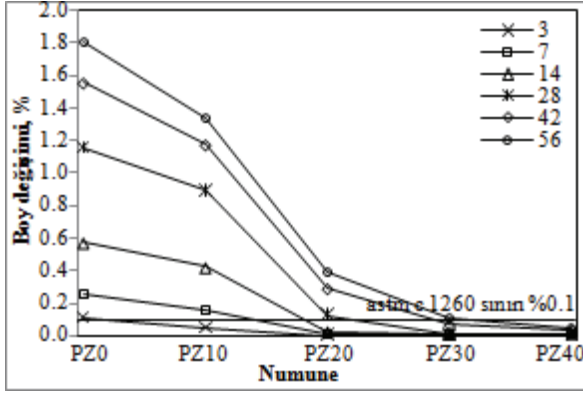
Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonunda, 14 günlük perlit kontrol numunelerinin (PZ0) %0,570, andezit kontrol numunelerinin (AZ0) %0,101 ve

kireçtaşı kontrol numunelerinin (KZ0) %0,061 oranında boy değişimine uğradığı Tablo 6'da görülmektedir. Tablo 5'de verilen hızlandırılmış harç çubuk metodu sınır değerlerine göre PZ0 numunelerinin %0,2 olan genişleme sınırını aştığını, AZ0 numunelerinin %0,1 sınır değerinde olduğu ve KZ0 numunelerinin %0,1 sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Perlit, andezit ve kireçtaşı agregasında ZT katkı miktarının artmasıyla boy değişim miktarının azaldığı görülmektedir.

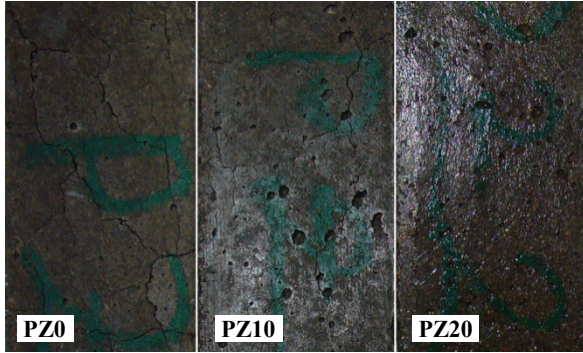
#### 3.2. Perlit Agregalı Harç Çubuklarının Boy Değişimi (Length Change of the Perlite Aggregated Mortar Bars)

Perlit agregası ile hazırlanan farklı oranlarda ZT ikameli çimento ile üretilen harç numunelerinin 3, 7, 14, 28, 42 ve 56. günlerde ölçülen boy değişimlerinin grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde ZT oranı arttıkça bütün yaşlarda boy değişiminin azalmakta olduğu açık olarak görülmektedir. Yani ZT miktarı arttıkça boy değişimi azalmaktadır. Ayrıca bütün numunelerde boy değişimi numune yaşı ile doğrusal ilişkidir. Zamana bağlı olarak boy değişimi artmaktadır. 14 günlük PZ20, PZ30 ve PZ40 numunelerinde boy değişiminin %0,1'in altında kaldığı ve reaksiyonun kontrol altına alındığı görülmektedir. 28 günlük numunelerde ise PZ30 ve PZ40 numunelerindeki boy değişiminin üst sınır olan %0,2'nin altında kaldığı ve boy değişimlerinin kontrol altına alındığı görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda benzer durum gözlemlenmiştir. Zeolit kullanımının en az %20 oranında olması, dozajın yetersiz olması durumunda tersi bir durum olabileceğinden bahsedilmektedir [24-26].



Şekil 1. Perlit agregasının ZT ikame oranı ve zamana bağlı olarak boy değişimi (The change length of perlite aggregate according to the ZT replacement ratio and time)



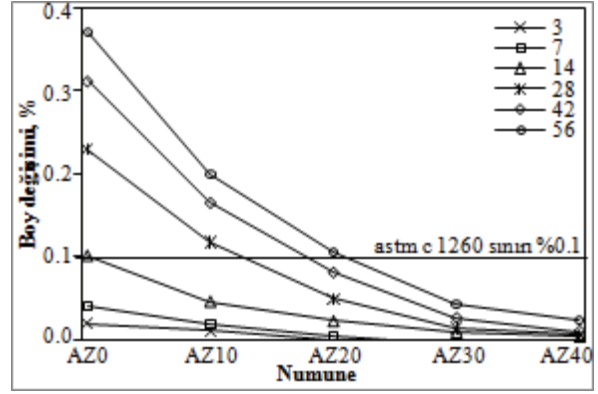
Resim 1. ZT ikameli perlit agregalı harç çubukları (ZT replaced the mortar bars of perlite aggregated)

ZT katkılı perlit harç çubuk numunelerine ait Resim 1 incelendiğinde özellikle %2'ye varan aşırı boy değişimine uğrayan PZ0 ve PZ10 numunelerinde ASR'nin belirtisi olan harita şeklindeki çatlaklar, renk değişimleri ve kabarmalar görülmektedir. PZ20, PZ30 ve PZ40 numunelerinde çatlaklar ve boy değişimleri azalmaktadır.

Bilindiği gibi perlit agregasının reaktif agrega olmasından dolayı boy değişimi beklenmektedir. ZT'nin ASR'yi hangi oranlarda azaltabileceği bu araştırmada görülmektedir. ASTM C 1260 göre %20 oranında ZT ikame edildiğinde 14 günde %0,1'in altında olduğu ve 28 günde %0,1-0,2 arasında olduğu görülmektedir. 42 ve 56 gün için herhangi bir sınır değeri verilmemiş olmasına rağmen %0,2'nin üzerinde olduğu görülmektedir. %40 ZT ikameli numunelerin bütün yaşlarda standartta verilen üst sınırların altında olduğu için perlit agregasının ASR'sini engelleyebildiği söylenebilir.

### 3.2. Andezit Agregası Harç Çubuklarının Boy Değişimi (The Length Change of Andesite Aggregate Mortar Bars)

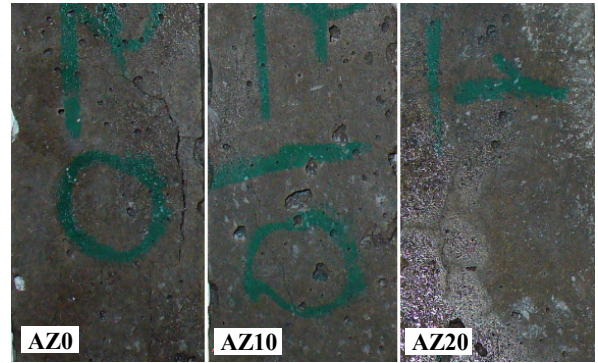
Andezit agregasının farklı oranlarda ZT ikameli çimento ile üretilen harç numunelerinin 3, 7, 14, 28, 42 ve 56. günlerde ölçülen boy değişimlerinin grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Andezit agregasının ZT ikame oranı ve zamana bağlı olarak boy değişimi (The change length of andesite aggregate according to the ZT replacement ratio and time)

Şekil 2 incelendiğinde andezit agregalı kontrol numunelerinin (AZ0) 14 gün sonrası tüm günlerde ölçülen boy değişimlerinin genişleme sınırı %0,2'yi aştığı ve zararlı seviyede olduğu görülmektedir. ZT ikamesi ile tüm günlerde boy değişim miktarının azaldığı ve %10, 20, 30 ve 40 ZT ikamesi ile kontrol altına alındığı görülmektedir.

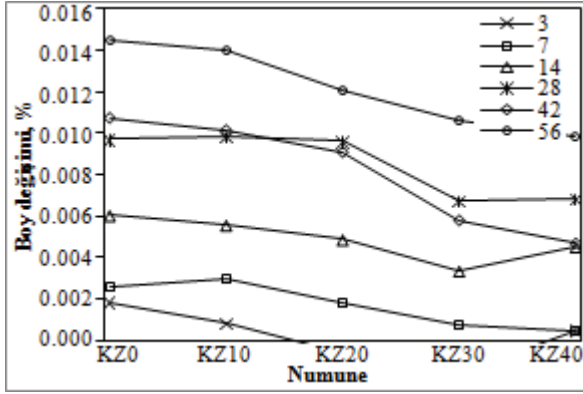
ZT katkılı andezit agregalı harç numunelerine ait Resim 2 incelendiğinde özellikle AZ0 numunelerinde çok belirgin olmamakla birlikte harita çatlağı şeklinde ASR çatlakları ve kabarmalar görülmektedir. PZ10, PZ20, PZ30 ve PZ40 numunelerinde çatlaklar ve boy değişimleri azalmaktadır.



Resim 2. ZT ikameli andezit agregalı harç çubukları (ZT replaced the mortar bars of andesite aggregated)

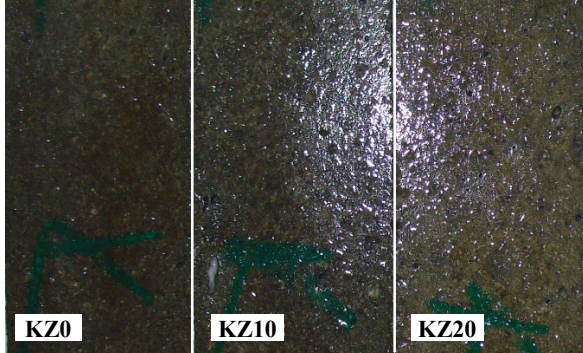
### 3.3. Kireçtaşı Agregası Harç Çubuklarının Boy Değişimi (The Length Change of Limestone Aggregated Mortar Bars)

Kireçtaşı agregasının farklı oranlarda ZT ikameli çimento ile üretilen harç numunelerinin 3, 7, 14, 28, 42 ve 56. günlerde ölçülen boy değişimlerinin grafiği Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Kireçtaşı agregasının ZT ikame oranı ve zamana bağlı olarak boy değişimi (The change length of limestone aggregate according to the ZT replacement ratio and time)

Kireçtaşı agregalı kontrol numunelerinin (KZ0) tüm günlerde ölçülen boy değişimlerinin genleşme sınırı %0,1'i aşmadığı ve zararsız seviyede olduğu görülmektedir. Çimento içerisine %10, 20, 30 ve 40 ZT ikamesi ile tüm günlerde boy değişim miktarları azalma eğilimi göstermektedir. Ayrıca KZ20 ve KZ30 harç çubuklarının 3 günlük boy değişimlerinin negatif yönde olması ZT ikameli kireçtaşı numunelerinde ilk günlerde bir büzülme etkisinin olduğunu göstermektedir.



Resim 3. ZT katkılı kireçtaşı agregalı harç çubukları (ZT replaced the mortar bars of limestone aggregated)

ZT katkılı kireçtaşı harç çubuk numunelerine ait Resim 3 incelendiğinde harita çatlakları şeklinde ASR çatlakları rastlanmamıştır.

Tüm günlere ait perlit, andezit ve kireçtaşı harç çubuk numunelerinin boy değişimleri birlikte değerlendirildiğinde perlit harç çubuklarında kontrol numunelerinin boy değişimlerinin 7 gün ve sonrasında genleşme sınırı %0,2'i aştığı fakat ZT katkısı ikamesi ile tüm boy değişimlerinin zararlı seviyenin altına düştüğü görülmektedir. Andezit harç çubuklarının kontrol numunelerinin boy değişimlerinin 28 gün ve sonrasında genleşme sınırı %0,2'i aştığı fakat ZT katkısı ikamesi ile tüm boy değişimlerinin zararlı seviyenin altına düştüğü görülmektedir. Kireçtaşı numunelerinin tüm karışımlarında boy değişim değerlerinin genleşme sınırı %0,1'i aşmadığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

Perlit, andezit ve kireçtaşı agregaları üzerinde ASR'nu belirlemek amacı ile CEM I 42.5 R çimentosuna %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında ZT ikame edilerek hazırlanmış harç çubuklarının 3, 7, 14, 28, 42 ve 56 günlük boy değişim değerleri ölçülmüştür. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonunda, 14 günlük perlit kontrol numunelerinin (PZ0) %0,570 oranında boy değişimine uğradığı, 14 ve 28 günlük genleşme sınırını aştığı görülmektedir. ZT ikamesi ile tüm günlerde boy değişim miktarının azaldığı ve %20, 30 ve 40 ZT ikamesi ile kontrol altına alındığı görülmüştür.

- 14 günlük andezit kontrol numunelerinin (AZ0) %0,101 oranında boy değişimine uğradığı, 14 günlük sınır değer olan %0,1 değerinde olduğu görülmektedir. Andezit agregasında ZT ikame miktarının artmasıyla boy değişim miktarının azaldığı saptanmıştır. ZT ikamesi ile tüm günlerde boy değişim miktarının azaldığı ve %10, 20, 30 ve 40 ZT ikamesi ile kontrol altına alındığı görülmüştür.

- Katkısız perlit ve andezit harç çubuklarının 56 güne varan boy değişimlerinde ASR' den kaynaklı çatlaklar ilk önce harç çubuklarının kenar kısımlarında ve kenarlarına paralel olarak düz şeritler halinde başlamıştır. Daha sonra harç çubuklarındaki renk değişmesi ve kabarma ile birlikte çatlakların harcın tamamını sardığı ve harita çatlakları halini aldığı görülmüştür.

- Kireçtaşı agregasıyla yapılan çalışma sonucu 14 günlük kireçtaşı kontrol numunelerinin (KZ0) %0,061 oranında boy değişimine uğramıştır. Hızlandırılmış harç çubuk metodu sınır değerlerine KZ0 numunelerinin genleşme sınırı %0,1'in altında ve zararsız seviyede olduğu görülmektedir. ZT ikamesi ile boy değişim miktarı azalma eğilimi göstermektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Tosun, K., Yazıcı, H., Baradan, B., "Uçucu Kül ve Silika Tozunun Alkali - Silika Reaksiyonuna Etkisinin İncelenmesi", **Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi**, Ankara, 188-203, 2001.
2. Stanton, T.,E., "Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate", **Proceedings, American Society of Civil Engineers**, Vol. 66, pp. 1781-1811, 1940.
3. Neville, A. M., "Properties of Concrete", **Longman Scientific & Technical**, England, 155-166, 1981.
4. Farny, J. A., Kosmatka, S. H., "Betonda Alkali Agregat Reaksiyonunun Teşhis ve Kontrolü",

- Çeviren: Kalmış, M., Güngör, N., Eribol, S., **American Concrete Pavement Association (ACPA)**, 1-26, 1998.
5. Ramachandran, V.S., **Concrete Admixture Handbook**, Science and Technology, Second Edition, USA, 1995.
  6. Şimşek, O., **Beton ve Beton Teknolojisi**, Seçkin Yayıncılık, Genişletilmiş 3. Baskı, Ankara, 2009.
  7. Taban, S., Şimşek, O., “Zeolitik Tüf Katkı Oranı ve Deniz Suyunun Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 24 (1), 145-153, 2009.
  8. Arslan, M., **Beton**, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 1. Baskı, İstanbul, 2001.
  9. Bektaş, F., Uzal, B., Turanlı, L. “Öğütülmüş Doğal Zeolitin Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi”, **İMO 5. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul, 403-409, 2003.
  10. Gökçe, H.S. ve Cemalgil, S., “Alkali-Silika Reaksiyonunun Kontrol Altına Alınmasında Endüstriyel Atıkların ve Doğal Kaynakların Değerlendirilmesi”, **Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)**, Ankara, 30-34, 2010.
  11. Sersale, R., Frigione, G., “Natural Zeolites as Constituents of Blended Cements”, **La Chimica E L'Industria**, Vol. 67, 177-180, 1985.
  12. Naiqian, F., Hongwei, J., 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.
  13. McConnel, D., Mielenz, R.C., Holland, W.Y., Greene, K.T., “Cement-Aggregate Reaction in Concrete”, **Proceedings American Society for Testing Materials**, Vol. 44, 93-128, 1947.
  14. Mizumoto, Y., Kosa, K., Ono, K., Nakano, K., “Study on Cracking Damage of a Concrete Structure due to Alkali-Silica Reaction”, **Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction**, P.E., Grettan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, 204-209, 1986.
  15. French, W.J., “The Characterization of Potentially Reactive Aggregates”, **9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete**, 338-346, 1992.
  16. Binal, A., “Pesimum Reaktif Agregata İçeriğinin Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkisinin Deneysel Yöntemlerle Araştırılması”, **İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi**, 17 (2), 119-128, 2004.
  17. Turanlı, L., Mesut, A., Uzal, B., “Erzincan Mollaköy Ham Perlit Agregasının ve Perlit Tozunun Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, **Proje Kod No: 2005-03-03-2-77**, Ankara, 2006.
  18. Arslan, M., Çullu, M., “Ankara Yöresindeki Bazı Agregata Ocaklarının Alkali Silika Reaktivitesi Açısından İncelenmesi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 21(4), 613-620, 2006.
  19. TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
  20. TS 25, “Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2008.
  21. TS EN 197-1, “Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
  22. ASTM C-1260-07, “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)”, **Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates**, **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, USA, 2007.
  23. ASTM C-227-03, “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)”, **Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates**, **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, USA, 2003.
  24. Xiaoxin, F., “Testing the Activity of Aggregates and Studies on the Measures for Suppressing the Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction”, **Doctoral Thesis of Tsinghua University**, Beijing, China, 2002.
  25. Fujiwara, T., Saton, E., Dong, J., “Adaptability of Zeolite as an Admixture for Preventing Alkali-Aggregate Reaction”, **JCA Proc. Cem. Concr.**, 49, 674- 679, 1995.
  26. Quanlin, N. and Naiqian, F., “Effect of Modified Zeolite on the Expansion of Alkaline Silica Reaction”, **Cement and Concrete Research**, 35, 1784- 1788, 2005.

