

# ALKALİ AGREGA REAKSİYONU YÖNÜNDEN ZARARLI OLAN BİR OCAĞIN İYİLEŞTİRİLMESİ

## REHABILITATION OF THE AGGREGATE HARMFUL IN RESPECT OF ALKALI-SILICA REACTION

**İsmail Aşık**  
KGM, Ankara

**Hamdi Şen**  
KGM, Ankara

**Yavuz Ergintav**  
KGM, Ankara

**Ali Ünsal**  
KGM, Ankara

**Ebru Şentürk**  
KGM, Ankara

**Elif Bayrak**  
KGM, Ankara

### Özet

Çimento pastasında bulunan alkali hidroksitlerle agregada mevcut aktif minerallerin reaksiyonu sonucu oluşan alkali-silika reaksiyonu beton yapılarda çatlaklara ve deplasmanlara yol açabilecek genişleyebilen bir jel oluşturur. Genellikle, jelin genişmesi sonucu oluşan bu çatlakları minimuma indirmek yada engellemek için puzolanik malzemeler veya sodyum oksit eşdeğeri düşük çimentolar veya katkıli çimentolar kullanılır. Bu çalışmada ASTM C 295 standardına göre mineralojik-petrografik analizi yapılan ve Kanada CSA A23.2-25-25A test metoduna göre alkali-silika reaksiyonu yönünden zararlı çıkan bir agregaya üç farklı yüzdede (%10,%20,%30) dört farklı puzolanın (uçucu kül, tras, pomza ve curuf) ve tek başına katkıli çimentonun etkisi incelenmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre tek başına katkıli çimento kullanımı ASR'ye olumlu etkide bulunmaktadır. Ayrıca uçucu kül ve trasın %10 ikamesinin ocağı olumlu yönde etkilediği pomza ve curuf da ise bu olumlu etkinin %20 ikame durumunda ortaya çıktığı görülmektedir.

### Abstract

The alkali-silica reaction (ASR) between the alkali hydroxides in the cement paste and the reactive minerals in the aggregate produces an expandable gel that may cause cracking and displacement in the concrete structure. In general, in order to prevent or minimise the cracks due to expansion of the gel, pozzolanic materials or low sodium oxide equivalent cements or blended cements are used. In this study, the aggregate, which has been petrographically examined according to ASTM C 295 standard and has been found out harmful in respect of alkali-silica reaction according to Canada CSA A23.2-25 A test method, was analysed to determine the effects of blended cement and there different percentages (10%, 20%, and 30%) of four different pozzolans (fly ash, trass, pumice and slag).

According to findings of this study, individual use of blended cement has a positive impact on the ASR. Besides, 10% substitution level of fly ash and trass affects the aggregate affirmatively. However, the same affirmative effect for pumice and slag is observed at 20% substitution level.

## 1. GİRİŞ

Alkali-silika reaksiyonu (ASR) portland çimentosundaki alkali hidroksitlerle agregada mevcut bazı mineraller (opal, çört, kalsedon, trimit, kristobalit ve kuartz gibi) arasında oluşan bir reaksiyondur [1]. Reaksiyon sonucu oluşan alkali-silika jeli bünyesinde fazla miktarda su absorbe ederek genişler ve bu suretle betonun şişmesine ve çatlamasına yol açar[2].

ASR'nin oluşumu için, agrega bünyesinde reaktif silis, alkalitesi yüksek por çözeltisi ve ortamda yeterli rutubet bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa ASR nedeniyle bir genişleme de olmayacaktır. Betonda oluşan yumuşak dokunun (jel) miktarı; silikanın türü, miktarı ve alkali hidroksit konsantrasyonuna bağlıdır. ASR'nin oluşturduğu reaksiyon iki aşamada gerçekleşir.

- Alkali + Reaktif Silika → Alkali Silika Jel Ürünleri
- Alkali Silika Jel Ürünleri + Rutubet → Genleşme

Betonda içsel çekme gerilmelerinin oluşumu 1.aşamadaki jel oluşumu ile eş zamanlı değildir. Bu nedenle jelin varlığı mutlaka ciddi boyutta ASR tahribatı oluşacağı anlamını taşımayabilir.

Rutubet, alkali iyonlarının yayılmasına, bu yayılma reaksiyon zonlarında jel oluşumuna, oluşan jel de su emerek şişip genleşmeye ve betonda içsel çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Servis ömrü boyunca kuru kalan bir betonda ASR ciddi bir tehlike olmayabilir. Araştırmalar bağlı nem oranı % 80'in üstünde olan betonlarda ASR'nin oluştuğunu göstermektedir. Düşük su/çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir yolla beton geçirimsizliği azalırsa, rutubetin betona girişi ve beton içinde dolaşımı azalır. Dolayısıyla içinde alkalilerin yayılması da azalmış olur.

Sıcaklık artışı reaksiyon hızını arttırmaktadır. Agregaların büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktivite göstermektedir. Ayrıca sık kuruma-ıslanma tekrarı betonda alkali taşınmasını kolaylaştırmakta ve alkalilerin kuruma bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır[3]

Beton ya da çimento için kullanılan toplam alkali içeriği terimi “sodyum oksit eşdeğeri” olarak ifade edilir ve aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır [4].

$$Na_2O_{eq} = Na_2O + 0,658 K_2O$$

Alkali-silika reaksiyonu üç aşamada meydana gelir; reaktif silikanın çözülmesi, kalsiyum-sodyum-potasyum jelinin oluşması ve su absorpsiyonu ile jelin genişlemesi. Silisin çözülmesi hidroksit iyonlarının (OH<sup>-</sup>) atağı neticesinde iki aşamada olur. Hidroksit iyonlarının mevcudiyeti betonda sadece Ca(OH)<sub>2</sub> tarafından değil aynı zamanda NaOH ve KOH tarafından da sağlanır. Silikanın çözünme hızı katı parçacıklar

içindeki çatlaklarda mevcut olan alkali sıvının difüzyonundan etkilenir. İyonların türü ve iyonik konsantrasyon bu hızı kontrol eder. Çünkü tanecikler içine giren sıvı aynı zamanda hidroksit iyonlu katyonları sürükler ve bu katyonların iyonik yarıçapları difüzyonu sınırlayabilir. Bu yüzden daha küçük iyonik yarıçapa sahip potasyum katyonları daha yüksek difüzyon hızına sebep olabilir. Aynı nedenle lityum tuzları ASR'yi önleyici karışım olarak kullanılır. Çünkü daha büyük iyonik yarıçapa sahip olan lityumhidroksit difüzyonun bazı bölgelerde oluşumuna engel olur [5].

Puzolanlar çimento harcının kirecini tutarak ortamın pH derecesini indirger ve silisin çözünürlüğünü azaltarak ASR'yi ve jel oluşumunu önler. Puzolanların bir diğer faydası ise sağladıkları geçirimsizliktir.

Kaliforniya Ulaşım Bölümünün (CALTRANS) yapmış olduğu bir çalışma sonucu almış olduğu tavsiye kararı ASR reaksiyonuyla ilgili aşağıdaki değerlendirmeleri kapsamaktadır [1].

- Çimentodaki alkali içeriğinin artması ASR'yi arttırabilir.
- ASTM C 150 standardına göre portland çimentosundaki %0.6 alkali içeriği limiti ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ) ASR sonucu oluşan zararlı genleşmeyi azaltmak için çok yüksektir.
- Katkılardaki yüksek kalsiyum oksit (CaO yada kireç) ASR'yi tetikleyebilir.
- %10'dan fazla CaO'li Uçucu küller ASR'yi azaltmak için etkili değildir.
- F sınıfı uçucu küller ve N sınıfı puzolanlar (ASTM C 618) %30'un üzerinde çimento yerine ikame edildiğinde ASR'ye karşı etkilidir,
- Düşük kireçli (<%2) ve toplam alkali içeriği düşük (<%3) doğal puzolanlar portlan çimentosu yerine %15 ikame edildiğinde ASR'nin azaltılması yönünde oldukça etkilidir.
- Düşük miktarda silis dumanı kullanımı ASR genleşmesinin azaltılmasında etkilidir.
- Dışarıdaki alkali iyonları da ASR genleşmesini arttıracaktır.

Bu tavsiye kararı eğer uçucu kül %2'den az CaO içeriyorsa %15 ikameyi ya da %10'dan az CaO içeriyorsa ( ve toplam alkali içeriği %3'den küçükse) %30 uçucu kül kullanımını içermektedir. CALTRANS'ın karşılaştırmalı çalışması F sınıfı uçucu küllerle aynı limit değerlere sahip N sınıfı doğal puzolanların (ASTM C 618) F sınıfı uçucu küllerle aynı avantajları sağladığını göstermiştir[1].

Amerika'da bazı bölgelerde ASR kontrolünde granüle yüksek fırın curufu yaygın olarak kullanılmaktadır. Curuf, etkin olabilecek uçucu kül oranından genellikle daha yüksek dozlarda (%25-50) kullanılmaktadır [1].

Beton alkalitesi söz konusu olduğunda sadece çimento ve çimentolanma özelliği olan malzemelerin alkalitesi göz önüne alınmaktadır. Diğer beton bileşenlerinin beton alkalitesine etkisi azdır. Beton içine alkali girişi sadece çimentodan kaynaklanıyorsa alkali içeriği (1) formülü ile hesaplanabilir[6].

$$\text{Betondaki alkali miktarı (kg/m}^3\text{)} = [\text{Çimento dozajı (kg/m}^3\text{)}] * [\text{Çimentonun alkali \%}] \text{ (1)}$$

Potansiyel bir ASR tehlikesi söz konusu olduğunda Kanada ve Avrupa ülkeleri ile BS 5328 standardında reaktif agrega içeren betondaki alkali miktarı  $3 \text{ kg/m}^3$  ile sınırlandırılmaktadır[1,7].

ASR'nin neden olduğu zararlı genleşmeyi azaltma yönünde katkıli çimento kullanımının da olumlu yönde etkisi vardır. Portland Kompoze Çimentoda klinkerin yanındaki diğer ana bileşen curuf ise limit değer olarak %1,2 Na<sub>2</sub>O eşdeğerli önerilmektedir. %0,6 Na<sub>2</sub>O eşdeğerli portland çimentosuyla aynı performansı gösterecektir[8].

Bu çalışmada ASTM C 295 standardına göre mineralojik-petrografik analizi yapılan ve Kanada CSA A23.2-25A test metoduna göre alkali-silika reaksiyonu yönünden zararlı çıkan 0-5 mm Fırat nehri tabii agregasına üç farklı yüzdede (%10,%20,%30) dört farklı puzolanın (uçucu kül, tras, pomza ve curuf) ve tek başına katkıli çimentonun etkisi gözlenmiştir. Araştırmada 14 günlük yüzde uzama değerlerinin katkı tipi ve çimento tipine göre değişimleri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1. Agregası

Çalışmada 0-5 mm Fırat nehri doğal agregası kullanılmıştır. ASR yönünden zararsız olan agregası Yibşıtaş A.Ş.'den temin edilmiştir. Fırat agregasına ait fiziksel özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1- Fırat agregasının fiziksel özellikleri

Agregası Fiziksel Özellikleri			
Deney Adı	Sonuçlar	Elek Analizi	
		Elek Ebadı	% Geçen
Kuru Hacim Özgöl Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2,649	3/8"	100
Zahiri Özgöl Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2,753	No.4	94,3
Absorbsiyon %'si	1,42	No.8	72,4
No.:200'den geçen miktar %	1,7	No.16	59,7
Organik Madde Miktarı	0-1	No.30	49,9
İncelik Modülü	2,96	No.50	23,9
		No.100	4,2

No. 8-No.16 eleklerden alınan örneklerden hazırlanan ince-kesitler üzerinde yapılan mineralojik-petrografik analiz çalışmaları sonucunda, agreganın ağırlıklı olarak tortul ve magmatik bileşenlerden oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca çok az miktarda olasılıkla yatak boyunca daha iç kesimlerden taşınarak gelmiş şistik kompozisyonda tanelerde mevcuttur. Agregası bünyesindeki tortul taneler kireçtaşı (rekristalize kalsit) ve kumtaşı (silika çimentolu kuvars akümülyasyonları) olarak tanımlanmıştır. Agreganın bileşenleri

ise genellikle granodiyoritik ve bazaltik kayalar ile mikro-kriptokristalin dokulu camsı volkanik tanelerden oluşmaktadır. İnce-kesitlerde gözlenen hemen bütün agrega bileşenlerinin dış etkenler yolu ile geliştiği tahmin edilen oksidasyona maruz kaldığı gözlenmiştir.

Tortul kökenli münferit kuvars kristalleri üzerinde yapılan optik değerlendirmelerde tanelerin amorf yapıda olduğu ve dalgalı sönme gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca magmatik kayaç fragmanlarının bir kısmında feno-kristaller halinde sodyum alüminyum silikat ve kalsiyum alüminyum silikat mineralleri olarak plajiyoklaz mineralleri gözlenmiştir. Kuvars kristallerinin amorf kristal yapısı ve dalgalı sönme alkali agrega reaksiyonları için karakteristik özellikler olarak tanımlanmaktadır [9]. Camsı volkanik kayalar ise portland çimentosu içerisindeki alkaliler ile reaksiyon potansiyeli taşımaktadırlar. Az miktardaki şistik malzeme ise özellikle paralel dizilmiş mika kristalleri boyunca kırılmaya ve parçalanma gösterebilecektir.

### 2.1.2 Çimento

Araştırmada PÇ 42,5 ve PKÇ/B 32,5 R olmak üzere iki tip çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların kimyasal analizi sonuçları Çizelge 2’de fiziksel özellik sonuçları ise Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2- Çimentoların ve katkıların kimyasal analizi

<b>Kimyasal Analiz</b>						
Bileşen	Miktar ( % )					
	PÇ 42,5	PKÇ/B 32,5R	Uçucu Kül	Tras	Pomza	Curuf
MgO	0,75	1,61	0,6	2,09	14,35	10,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,00	5,22	25,78	11,61	11,71	15,09
SiO <sub>2</sub>	20,64	13,55	59,36	59,30	43,80	36,82
CaO	65,00	47,86	2,01	7,39	6,98	31,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,50	2,20	5,78	2,71	14,69	0,32
SO <sub>3</sub>	2,00	2,41	0,13	-	-	-
K <sub>2</sub> O	0,88	0,88	3,94	2,18	1,57	1,09
Na <sub>2</sub> O	0,37	0,38	0,66	1,78	3,23	0,39
Kızdırma Kaybı	1,57	3,87	2,31	12,04	0,37	0,15
Çözünmeyen Kalıntı	0,50	13,95	84,83	71,33	48,28	0,48
Klorür (Cl)	0,07	0,0043	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	0,95	0,96	3,25	3,21	4,26	1,11

Çizelge 3- Çimentoların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler			
		PÇ 42,5	PKÇ/B 32,5R
Basınç Dayanımı.(N/mm <sup>2</sup> )	2	19,7	17,6
	7	38,5	31,6
	28	58,0	45,7
Priz Süresi	Başlangıç	2 <sup>40</sup>	3 <sup>06</sup>
	Bitiş	3 <sup>40</sup>	3 <sup>48</sup>
Hacim Genleşmesi (mm)		1	1
İncelik	200µm (%Kalan)	2,2	2,6
	90µm (%Kalan)	0,1	0,1

#### 2.1.3 Tras

Çalışmada kullanılan Tras Adana Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiş olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de, fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

#### 2.1.4 Ögütülmüş Pomza

Çalışmada kullanılan Ögütülmüş Pomza Adana Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiş olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de, fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

#### 2.1.5 Demir Cevheri Curufu

Çalışmada kullanılan Demir Cevheri Curufu Adana Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiş olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de, fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

#### 2.1.6 Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül Çatalağzı Termik Santrali Üretimi olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de, fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4- Katkıların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler					
	Uçucu kül	Tras	Pomza	Curuf	
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2,670	2,870	3,610	3,370	
Blain Özgül Alan (cm <sup>2</sup> /gr)	5845	4546	3593	3222	
İncelik	212µm (%Kalan)	0,19	0,29	0,15	0,09
	90µm (%Kalan)	1,90	13,30	5,04	5,96
	45 µm (%Kalan)	13,39	34,01	45,53	20,76
	Pan (%Kalan)	84,52	52,31	49,28	73,19

## 2.2. Deney Programı

Araştırma, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Malzeme Laboratuvarları Müdürlüğü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Portland çimentosu (PÇ42,5) ile uçucu kül, tras, pomza ve curuf çimento miktarının %10, %20 ve %30 'u oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Ayrıca PKÇ/B 32,5 R ve PÇ 42,5 çimentolarıyla katkısız üretimler yapılmıştır.

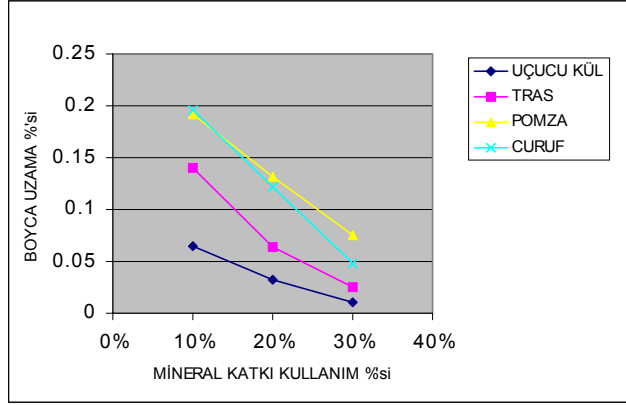
Harç çubuklar Kanada CSA A23.2-25A Hızlandırılmış Harç Çubuk Metoduna göre 25\*25\*285 mm boyutunda, su/çimento oranı 0,47 ve agrega/çimento oranı 2,25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Örnekler dökümden 24±2 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. İlk boy ölçümleri ( $L_i$ ) yapıldıktan sonra 80 C°deki saf suya yerleştirilmiştir. Suda 24±2 saat bekledikten sonra tekrar boy ölçümleri yapılmıştır ( $L_o$ ). Bu aşamadan sonra örnekler hazırlanan 80C° 1 N NaOH çözeltisi içinde 14 gün bekletilmiştir. 14 gün sonunda yapılan son ölçüm ( $L_s$ ) alınarak,  $((L_s-L_o)/ L_i)*100$ 'den genleşme miktarı hesaplanmıştır. ASR açısından zararlılık sınır değeri olarak %0,15 kullanılmıştır.

## 3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

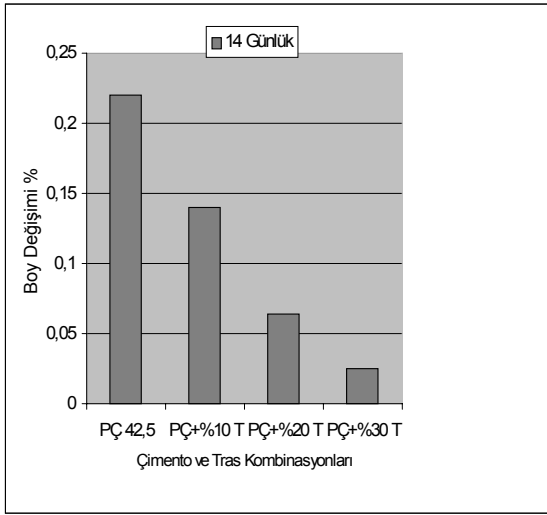
Araştırmada elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. Şekil 1'de mineral katkı yüzdesindeki değişimin ASR sonucu meydana gelen şekil değiştirmeye etkisi verilmiştir. Şekil 2'de uçucu külün, Şekil 3'de trasın, Şekil 4'de pomzanın ve şekil 5'de curufun kullanım yüzdelerindeki değişimlerin katkısız olarak PÇ42,5 çimentosuyla dökülen üretime göre 14 günlük yüzde uzamalara etkisi verilmiştir. Şekil 5'de PKÇ/B 32,5 R çimentosu kullanılması durumunda oluşan yüzde uzamalarla sadece portland çimentosu kullanımı durumunda elde edilen yüzde uzamalar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 7'de ise bütün üretime ait yüzde uzama değerleri verilmiştir.

Çizelge 5- Harç çubuk karışım reçeteleri ve deney sonuçları

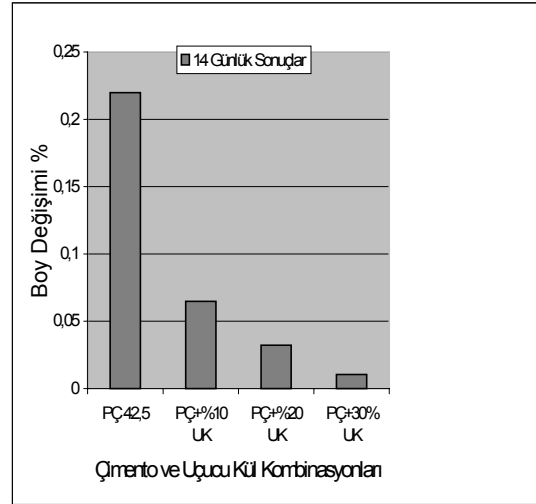
Çimento Tipi	Mineral Katkı Tipi	Karışım reçetesi	Fırat Kumu Kullanım % 'si					
			100	60	45	30	15	
			14 Günlük Uzamalar (%)					
PÇ 42,5 ÇİMENTO	Katkısız	PÇ 42,5	0,2198	0,1833	0,1549	0,1352	0,0665	
	Uçucu Kül	PÇ+%10 UK	0,0647	0,0516	0,0457	0,0281	0,0137	
		PÇ+%20 UK	0,0322	0,0245	0,0233	0,0105	0,007	
		PÇ+%30 UK	0,0105	0,0044	0,0039	0,0034	0,0029	
	Tras	PÇ+%10 T	0,1402	0,133	0,1174	0,0879	0,0381	
		PÇ+%20 T	0,0639	0,0379	0,0343	0,0191	0,0153	
		PÇ+%30 T	0,0252	0,0195	0,0176	0,0156	0,0133	
	Pomza	PÇ+%10 P	0,1919	0,1826	0,1465	0,1026	0,0677	
		PÇ+%20 P	0,1318	0,0998	0,0884	0,0783	0,0376	
		PÇ+%30 P	0,0753	0,0482	0,0373	0,0265	0,0233	
	Cüruf	PÇ+%10 C	0,1958	0,1541	0,1446	0,1129	0,0668	
		PÇ+%20 C	0,1217	0,1147	0,0668	0,0571	0,035	
		PÇ+%30 C	0,0482	0,0401	0,0303	0,0159	0,0145	
	PKÇ/B32,5R	Katkısız	PKÇ/B32,5R	0,0664	0,0385	0,0116	0,0098	0,0068



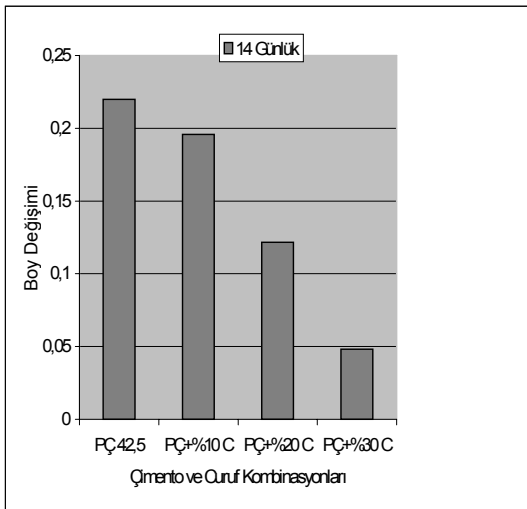
Şekil 1- Mineral katkı tipi ve yüzdesinin 14 günlük uzama değerlerine etkisi



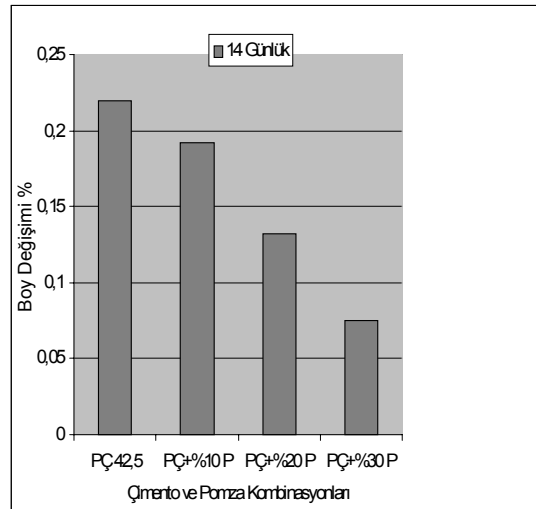
Şekil 2- Uçucu kül yüzdesinin yüzde uzamalara etkisi



Şekil 3- Tras yüzdesinin yüzde uzamalara etkisi

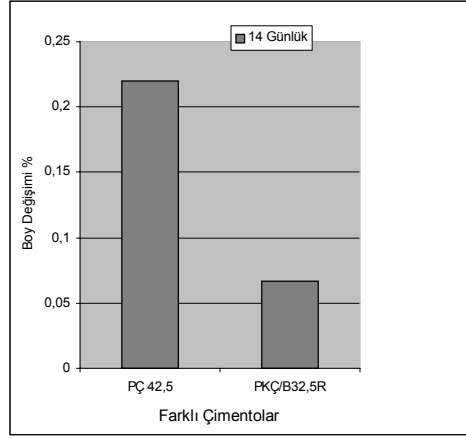


Şekil 4- Pomza yüzdesinin yüzde uzamalara etkisi

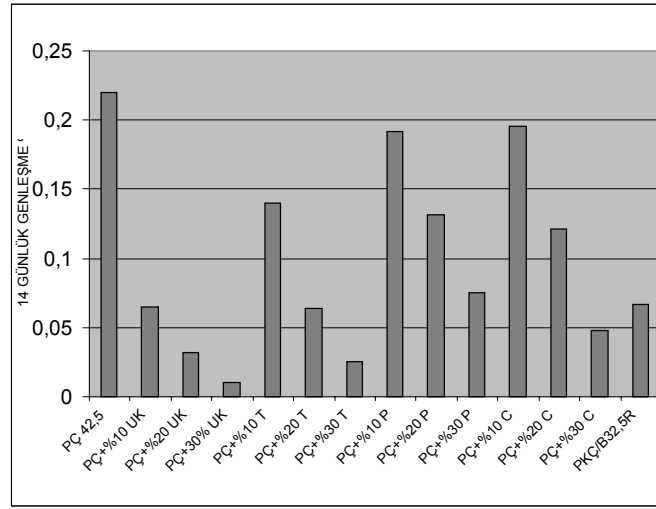


Şekil 5- Curuf yüzdesinin yüzde uzamalara etkisi





Şekil 6- PKÇB32,5/R çimentosunun yüzde uzamalara etkisi



Şekil 7- Mineral katkıların ve Portland Kompoze Çimentonun (PKÇB/32,5 R) yüzde uzamalara etkisi

14 günlük uzama değerlerine bakıldığında mineral katkı kullanma oranının artmasıyla birlikte uzama değerlerinin azaldığı görülmektedir. PÇ 42,5 çimentosu ile %10 oranında uçucu kül ve pomza kullanımının genişmeyi %0,15 olarak alınan sınır değerinin altına çektiği görülmektedir. Bu durum curuf ve trasta kendini %20 kullanım durumunda göstermektedir. Bütün mineral katkıları için %30 kullanım oranının ASR reaksiyonu sonucu oluşan genişmeyi azaltıcı yöndeki etkisi göz ardı edilemeyecek düzeyde yüksektir. Tek başına PKÇ/B 32,5 R kullanımı durumunda gözlenen yüzde uzamalar %20 mineral katkı kullanımı durumunda ki yüzde uzamalara benzerlik göstermektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Geçekleştirilen çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

- 14 günlük yüzde uzamalar bakımından, %10 uçucu kül ve pomza kullanımı ASR'yi azaltıcı yönde etki göstermiş, uzama değerlerini sınır değerinin altına düşürmüştür.
- Curuf ve tras kullanımı durumunda %20-%30 kullanım yüzdeleri faydalı sonuçlar sağlamıştır.

- Mineral katkı kullanımını durumunda kullanım yüzdesinin artmasıyla ASR olumlu yönde etkilenmektedir.
- Katkılı çimentonun tek başına kullanımını, yüzde uzama değerini sınır değerinin altına çekmek için yeterli olmuştur.

## Kaynaklar

1. Malvar, L.J., Cline G.D., Burke D.F., Rollings R., Sherman T.W., Greene J.L., “Alkali- Silica Reaction Mitigation: State of the art and Recommendations”, *ACI Materials Journal*, V.99, pp.480-489, 2002.
2. D.S.İ, Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri, Y.N.Kİ-551, Ankara, 1974.
3. Neville, A.M., Properties of Concrete, John Wiley & Sons Inc., New York, U.S.A, 1997.
4. TS EN 196-2 Çimento Deney Metodları-Bölüm 2- Çimentoların Kimyasal Analizi
5. Akman, M.S., “Effects of the Content and Kind of Soluble Alkalis in Cements on Different Properties of Concrete”, *Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium, 6-10 September, İstanbul, 2000.*
6. Farny, A.J, Kosmatla, S.H., “Concrete Technologist and Director, Respectively, Construction Information Services, Portland Cement Association”, American Concrete Pavement Association.
7. Thomas, M.D.A, Innis, F.A., “Effect of Slag on Expansion Due to Alkali-aggregate Reaction in Concrete”, *ACI Materials Journal*, V.95, pp.716-724, 1998.
8. Zichao, W., Naik, T.R., “Chemically Activated Blended Cements”, *ACI Materials Journal*, V.100, pp.434-440, 2003.
9. Barison, G., “Petrographic analysis of aggregate related to alkali-silika reaction”, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No:30, Paris, 1984.