

*Received date; reviewed; accepted date*

## **Alkali Silika Reaksiyonuna Maruz Betonun Yapısal Davranışının Araştırılması**

### **Korkmaz Yıldırım**

Adnan Menderes Üniversitesi Aydın Meslek Yüksekokulu, Efeler/Aydın, Türkiye.

Sorumlu Yazar: [korkmazy54@gmail.com](mailto:korkmazy54@gmail.com) (Korkmaz Yıldırım)

**Özet:** Gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde birçok betonarme yapı elemanlarında hasarlar meydana getiren alkali silika reaksiyonu, oldukça kompleks kimyasal bir reaksiyondur. Reaksiyon sonunda oluşan su emme özelliği olan jel, şişerek genişlemekte ve betonda hasara neden olmaktadır. Alkali silika reaksiyonu betonda durabiliteyi etkileyen önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmamızda beton ve betonarme yapı elemanlarında alkali silika reaksiyonu etkisinin nedenleri ve oluşturduğu olumsuzluklar incelenerek, öncelikle Sakarya bölgesinde kullanılan beton agregaları hakkında petrografi deneyi ve kimyasal metot ile ilgili bilgi edinilmiştir. İnce agreganın aktif silis içermesi üzerine hızlandırılmış beton prizma yöntemi kullanılarak bölgedeki agregalarla üretilen betonlarda alkali silika reaksiyonu oluşumları ile beton basınç dayanımları deneysel olarak izlenmiştir. Betonda kullanılan zararlı agrega ince agrega olduğundan, aktif silis içermeyen iri agrega ile karıştırılarak beton elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, silis dumanı, F sınıfı uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve metakaolin, bu dört mineral katkı % 35 oranında, % 65 çimento ile kısmi yer değiştirme yapılarak üretilen beton ile 40\*40\*160 mm prizma numuneler ile 10\*10\*10cm küp numuneler üretilmiştir. Beton prizma numunelerinde yapılan alkali silika reaksiyonu deney sonuçlarına bakıldığında 3,5 ve 6 nolu hazırlanan numunelerde genişlemenin standart değerlerin altında kaldığı ve yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Beton basınç dayanımlarına göre beton numuneleri yeterli dayanıma sahip oldukları gözlenmiştir. Mineral katkıların beton basınç dayanımını olumlu etkilediği bu çalışmamızda da ispatlanmıştır. 180 günlük beton basınç dayanımları 28 günlük beton basınç dayanımlarına nazaran ortalama % 80 civarında artmıştır. Alkali silika reaksiyonu genişleme değerlerine göre, mineral katkı oranları ile agrega miktarlarının farklı oranlarda hesaplanması sonrasında daha etkili sonuçlar alınabileceği ayrıca aktif silis içermeyen agrega oranının artırılması faydalı olacaktır. Alkali silika reaksiyonu oluşumunu engellemek üzere beton üretiminde kullanılacak agregaların aktif silis içermemesi ve çimentonun alkali içermemesi önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Alkali Silika Reaksiyonu, Uçucu Kül, Metakaolin, Durabilite, Genleşme

## **Investigation Of The Structural Behaviour Of Concrete That Exposed To Alkali Silica Reaction**

**Abstract:** Alkali silica reaction, which causes damage in reinforced concrete structural elements both in our country and many other countries, is a fairly complex chemical reaction. The gel that has water absorption property that is formed at the end of reaction is swells and expands and causes damage in concrete. Alkali silica reaction in concrete is one of the most important elements in effecting durability.

In this study, the reasons of alkali silica reaction effect in concrete and reinforced concrete construction elements and the negativeness and the petrography experiment and chemical methods of concrete aggregates that are used at Sakarya zone are investigated. Since the fine aggregate contains active silica, the alkali silica reaction formations and the concrete compressive strength of concrete that are produced with aggregates at the region are experimentally observed by using accelerated concrete prism method.

Since the harmful aggregate that is used in the concrete is fine aggregate, concrete is obtained by mixing the it with coarse aggregate that does not contain active silica. In the experimental study; silica fume, class F fly ash, blast furnace slag and metakaolin are used. These four mineral additives are used at 35 % and the concrete that is produced by partial substitution of cement 40\*40\*160 mm prism specimens and 10\*10\*10cm cube specimens are produced.

Considering the results of alkali silica reaction experiment results that are applied on concrete prism samples, on the samples that are prepared at 3,5 and 6 numbers it is observed that the expansion value is below the standard value and is not sufficient.

According to the concrete compressive strength, it is observed that concrete samples have sufficient strength. In this study, it is also proved that the mineral admixtures have a positive effect on compressive strength of concrete. 180-day concrete compressive strength is increased on average about 80% compared to 28-day compressive strength of concrete.

According to alkali silica reaction expansion values, it is seen that after calculating the contribution rates of mineral aggregate with different ratios of the amount, more effective results can be obtained and increasing the rate of aggregate rates that does not contain active silica will be useful.

In order to prevent the formation of alkali silica reaction it is suggested that the aggregates that will be used in concrete production should not contain active silica and there should be no alkali in cement.

---

**Keywords:** Alkali Silica Reaction, Fly Ash, Metakaolin, Durability, Expansion

## 1. Giriş

Betonarme veya beton yapı elemanlarının, zamanla bozulup işlevlerini beklenen servis ömürlerine ulaşmadan yitirmelerine birçok faktör sebep olabilir. Yapı elemanının dayanıklılığını belirleyen etkenler arasında, beton bileşimini oluşturan malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanan iç etkiler ve çevreden kaynaklanan dış etkiler sayılabilir. Bazı durumlarda, beton bileşimini oluşturan malzemelerin kendi aralarında veya çevreden gelen zararlı maddelerle kimyasal reaksiyonlara girebildiği, böylece beton hacim sabitliğinin bozulması nedeniyle yapı elemanının zarar gördüğü bilinmektedir. Dayanıklılık yönünden betonları etkileyen önemli bir unsur sertleşmiş betonlarda gözlenen alkali silis reaksiyonudur.

Beton üretiminde düşük alkali içeren çimento kullanılsa bile;

\* Betonda su nemin hareketi sonunda belli noktalarda alkali konsantrasyonu oluşursa,

\*Agrega aşırı derecede reaktif ise,

\* Betonda kullanılan mineral ve kimyasal katkıları, karma suyu ve agregadan yeterli miktarda alkali ilavesi söz konusu oluyorsa,

\* Çimento dozajının çok yüksek olması nedeniyle beton alkalitesi çok yükseliyorsa, alkali silika reaksiyonu (ASR) tehlikesi söz konusu olabilir.(Farny ve Kosmatka, 1997)

Alkali silika reaksiyonu araştırmalarında çeşitli deneysel süreçler uygulanmakta olup, biride beton prizma ve hızlandırılmış beton prizma deneyidir. Beton prizma testi (ASTM-C 1293) agrega kaynaklarının potansiyel alkali silika reaksiyonu (ASR) reaktivitesini değerlendirmek için tanınan bir test yöntemidir. Bu deneyin amacı, beton prizmaların boy değişimi ile agregaların alkali reaktivitesi hakkında fikir edinmektir. Bu deneyin uygulanmasından önce agregaların petrografisi ile ilgili bilgi edinilmesi önerilir.

Deney uygulanacak agrega ince agrega zararlı ise aktif silis içermeyen kaba agrega ile karıştırılarak kullanılır. Kaba agreganın reaktivitesi ölçülecek ise reaktif olmayan ince agrega ile karıştırılıp belli gradasyona getirilen malzeme 75×75×285 mm kalıplara dökülür. Numunelerin çimento içeriği 420 kg/m<sup>3</sup> olup su/çimento oranı 0.42 ile 0.45 arasında işlenebilirliği sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Kullanılan çimentonun eşdeğer Na<sub>2</sub>O içeriği, karışım suyuna NaOH eklenerek çimentonun kütlece %1.25'ine yükseltilir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numunelerin ilk boy ölçümleri alındıktan sonra 38°C sıcaklıkta, su üzerinde (nemli ortamda) standartta belirtilen şekilde saklanır ve periyodik olarak ölçümleri alınır. Saklama kabında fitil kullanımı bu yöntemde de mevcuttur. Genleşme limitleri üç numunenin ortalaması alınarak, 1 yıllık periyot sonunda %0.04 olarak belirlenmiştir.

Bu metot, genelde diğer test metotlarına ek olarak uygulanmaktadır. Bu metot, beton üzerinde uygulandığından gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekte ve bu sebeple diğer deney metotları yetersiz kaldığında kullanılmaktadır. Ancak, deneyin uzun sürmesi dezavantajdır. Bu metot, mineral ve kimyasal katkıların ASR genleşmelerine etkisi hakkında en gerçekçi sonuçları vermektedir. Mineral katkıların etkinliği değerlendirilirken, 2 yıllık genleşme değerinin %0.04 olarak alınması ve karışımın alkali içeriğinin çimentonun kütlece %1.25'i değerine artırılması önerilmektedir. (Berube ve Duchesne, 1992), (Lane ve Ozyıldırım, 1999), (Thomas vd, 1997) Virginia'da halen devam etmekte olan bir çalışmada, özellikle yavaş reaktivite veren agregalarda lityum tuzlarının etkinliğini saptamada hızlandırılmış metotlara kıyasla beton prizma metodunun daha uygun olduğu belirtilmiştir. (Mather, 1999), (TÇMB, 2011)

RILEM tarafından araştırılan hızlandırılmış beton prizma deneyi (HBPD) RILEM AAR-4 (beton prizma deneyi, 60°C sıcaklıkta) yöntemleri metodu belirli bir agrega kombinasyonu için eşik alkali eton prizma deneyi ile aynı karışımlara sahip örneklerin kür sıcaklıklarını 60°C'ye yükselterek 3 ayda sonuç alınmaktadır. Grosbois ve Fontaine (2000), farklı özelliklere sahip 95 agrega üzerinde yaptıkları çalışmada Beton Prizma Deneyi (BPD) ile Hızlandırılmış Beton Prizma Deneyini (HBPD), kıyaslamıştır. (Grosbois ve Fontaine, 2000) Araştırmacılar, hızlandırılmış beton prizma deneyini HBPD için 56 günlük %0.02 limiti ile 90 günlük %0.04 limitlerini önermiştir. Ancak, beton prizma deneyi (BPD) ile hızlandırılmış beton prizma deneyini (HBPD) arasındaki regresyon bağıntısı, beton prizma deneyinin 12 aylık sonuçları ile (HBPD)'nin 90 günlük sonuçları dikkate alındığında daha güçlüdür. Araştırmacılar, bu sebeple önerilen 90 günlük limitin daha uygun olduğunu savunmaktadır. (Grosbois ve Fontaine, 2000) Beton prizma testi agrega kaynaklarının potansiyel alkali silika reaksiyonu (ASR) reaktivitesini değerlendirmek için uygulanan bir test yöntemidir. Bu deneyin uygulanmasından önce agregaların petrografisi ile ilgili bilgi edinilmesi önerilir. Deney uygulanacak agrega aktif silis içeren ince agrega ise reaktif olmayan kaba agrega ile karıştırılarak kullanılır. (Nixon ve Sims, 2000)

Sadece agregayı test eden yöntemlere kıyasla beton karışımın teste tabi tutulması daha güvenilir olup numunelerin 38°C'de, kapalı kapların içinde ve su üzerinde saklanmasını öngören BPD sahada oluşabilecek genleşmeleri en iyi yansıtan yöntem olarak düşünülmektedir. Fakat BPD, agreganın reaktivitesini ölçmek için uygulandığında bir yıl ve mineral katkıların genleşmeyi önlemedeki etkinliğini ölçmek için uygulandığında iki yıl sürmektedir. (Ideker vd, 2010)

Hızlandırılmış beton prizma deneyi (HBPD) Ranc ve Debray tarafından 2002'de geliştirilmiş olup sıcaklık seviyesi 38°C'den 60°C'ye çıkartılarak gerçek saha karışımlarının performansı incelenmiştir. (Ranc ve Debray, 1992) Araştırmacılar BPD ve HBPD genleşmeleri arasında güçlü korelasyonlar elde etmiş ve 60°C'lik yöntem için 56 günde %0,02 seviyesinde genleşme limiti önermiştir. (Touma vd, 2001), (Lindgård vd, 2010) İlerleyen yıllarda farklı araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalar,

henüz standart bir yöntem olmayan HBPD için çok çeşitli deney sürelerinin ve genişleme limitlerinin önerilmesini beraberinde getirmiştir. (Grosbois ve Fontaine, 2000), ( Murdock ve Blanchette,1994), (Touma vd, 2001) Özellikle AAR-4 daha tutarlı sonuçlar üretebilmiş ve yavaş reaksiyona girme eğilimi bulunan agrega kombinasyonlarının reaktivitesini ortaya çıkarmada daha başarılı olmuştur. (Lindgård vd, 2010) Bazı araştırmacılara göre (Ranc ve Debray,1992), (Rivardvd, 2003), (Lindgård vd, 2013a), her iki yüksek sıcaklıklı beton prizma deneyinde de en önemli sıkıntılardan biri, beton prizmalarda başlangıçta yer alan alkalilerin önemli bölümünün testler sırasında dışarıya sızması ve böylelikle genişleme seviyesinin gerçeğin altında tahmin edilmesidir. (Yüksel vd, 2017)

Çalışma kapsamında çimento ile farklı mineral katkı oranlarında kısmi yer değiştiren aktif silis içeren ince agrega ve aktif silis içermeyen iri agrega ile oluşturulan beton ile beton prizmalar ile beton küp numuneler üretilmiştir. Beton prizma deneyi ile alkali silika reaksiyonu deneyi, beton küplerde basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Numuneler 60°C sıcaklıkta % 100 bağıl nem ortamında 180 gün deneye tabii tutulmuş olup, 180 gün sonunda oluşan genişlemenin %0,04 aşmaması durumunda mineral katkıların alkali silika reaksiyonunun (ASR) engellediği söylenir. Test yönteminde agregaya ve suya alkali içeriğini arttıran malzeme ilave edilmemiştir. Beton küp numuneler ise kür havuzunda uygun şartlarda bekletilmiştir. (TS EN 206:2013+A1, 2017)

## 2. Malzeme ve Metot

### 2.1. Çalışma Kapsamında Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1 Kullanılan Agregası, Agregası üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları

Pamukova bölgesinde Sakarya Nehri kenarında faaliyet gösteren kum çakıl ocağından temin edilen ince agrega üzerinde TS 2517 kimyasal metoduna (ASTM C289) göre ASR araştırması yapılmış olup ilgili standarda göre örnek agreganın 3. bölgede zararlı agrega olduğu tespit edilmiştir. (ASTM C-289-94, 1994), (TS 2517, 1977) Deneysel çalışma kapsamında kullanılacak ince agrega numunesinde TS 2517 ve ASTM C289'a göre deney sonuçlarını gösterir rapor aşağıdaki gibidir. Çizelge 1.

Çizelge 1. A1 Agregası TS-2517/ASTM C-289 ASR Kimyasal Analiz Raporu.

Numunede istenen Tayinler	Alkali Agregası Reaktivitesi
Harcanan NaOH	350 (mmol/L)
Çözünen Silis (SiO <sub>2</sub> )	700 (mmol/L)
Sonuç : TS 2517 grafiğinde	III. Bölge Zararlı Agregası

Beton prizma deneyinde kullanılacak agregalara ait mineralojik-petrografik analiz sonuçları aşağıdaki gibi çıkmıştır. Pamukova bölgesinde Sakarya Nehri kenarında faaliyet gösteren kum çakıl ocağından temin edilen agregalara ait petrografik analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

İnce agrega (Kum) üzerinde yapılan mineralojik-petrografik analiz sonuçları;

Numunenin 0,007-5,54 mm arasında değişen silt ve çakıl boyutunda kayaç parçalarından ve minerallerden oluştuğu gözlenmiştir. İnce kesit incelemeleri neticesinde, örneğin büyük bir çoğunluğunu oluşturan kayaç parçalarının 0,32-3,56 mm arasında değişen magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaç parçalarından oluştuğu dikkati çeker. Söz konusu parçalar incelendiğinde, magmatik kayaç parçaları 0,32-3,56 mm arasında değişen tane boyutunda, tanesiz dokulu plütonik (olasılıkla granitik bileşimdeki) kayaç parçaları ile porfirik dokulu volkanik (olasılıkla andezitik bileşimdeki) kayaç parçalarından ibarettir. Sedimanter kayaç parçaları 0,39-2,37 mm arasında değişen

tane boyunda mikritik ve sparitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Metamorfik kayaç parçaları ise, 0,39-5,54 mm arasında, bileşenleri belirgin bir yönde dizilim sunan, yer yer şist dokusuna sahip metabazik ve şist türü kayaçlardan oluşmaktadır. Söz konusu kayaç parçalarının genellikle yuvarlak yer yer de yarı yuvarlak şekilde oldukları gözlenmiştir. Örnek içerisinde diğer önemli bileşenleri mineraller oluşturmaktadır. Söz konusu mineraller ayrıntılı incelendiğinde, başlıca polisentetik ikizlenmeli plajiyoklaz; levhamsı, kahverengi renk tonlarında biyotit; polikristalin ve monokristalin kuvars; yeşil renkli, levhamsı şekilli amfibol minerallerinden ibaret oldukları dikkati çeker.

Beton prizma deneyinde kullanılan 1 nolu karışık mıcır bölgede faaliyet gösteren hazır beton tesisinden temin edildi.

Agrega (Mıcır) üzerinde yapılan mineralojik-petrografik analiz sonuçları;

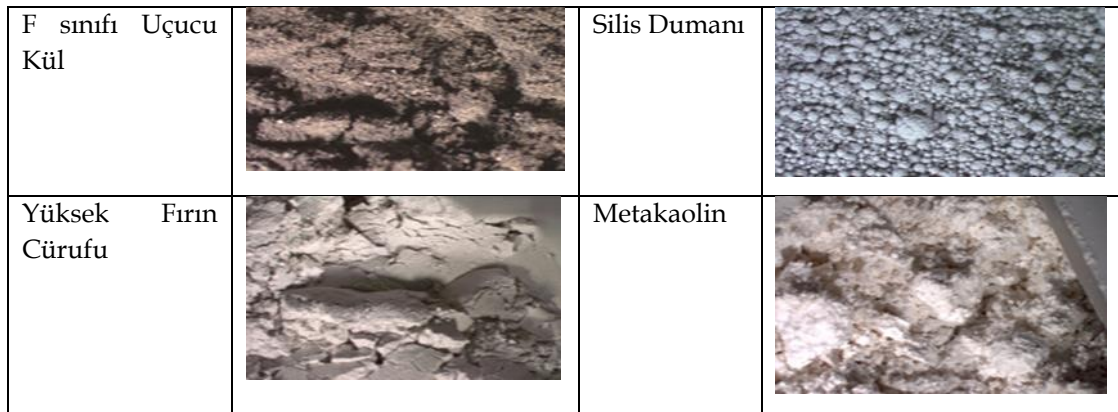
Numunenin 2-4 cm arasında değişen çakıl boyutunda kayaç parçalarından oluştuğu gözlenmiştir. İnce kesit incelemeleri neticesinde, söz konusu kayaç parçalarının tamamen karbonat minerallerinden (kalsit) ibaret sedimanter ve az bir kısmının da metamorfik kayaç parçaları oldukları saptanmıştır. Detay incelemeler neticesinde, sedimanter kayaç parçalarının rekristalize kireçtaşları, mikritik kireçtaşları ve biyomikritlerden (fosilli kireçtaşı) oluşurken; metamorfik kayaç parçalarının tipik granoblastik dokulu (grift dokulu), tamamen kalsitten ibaret ve söz konusu kalsit minerallerinde belirgin polisentetik lameller şeklinde kayma ikizlerinin geliştiği mermerlerden ibaret oldukları tespit edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında ince agreganın aktif silis içerdiği ve karışık mıcırın reaktif olduğu bulgularına ulaşılmıştır.

Deneyisel çalışmada kullanılan Çimento CEM 1 42.5R ve Yüksek Fırın Cürufu Oyak Bolu çimento fabrikasından temin edilmiştir. Diğer Mineral katkılardan, genellikle Sakarya bölgesi inşaatlarında kullanılan beton katkısı F sınıfı uçucu kül Kütahya Çimento'dan gelmiş Sakarya'da faaliyet gösteren hazır beton tesisinden, Silis Dumanı İston A.Ş. İstanbul'dan temin edilmiştir.

Çimento ve mineral katkılara ait kimyasal ve fiziksel analiz değerleri aşağıdaki gibidir. (TS EN 197-1 , 2012), (ASTM C-618 - 12a, 2012), Çizelge 2.

Çizelge 2. CEM I 42.5 R, Yüksek Fırın Cürufu, F sınıfı Uçucu Kül, Metakaolin, Silis Dumanının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.

	CEM I 42,5 R	Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu	Uçucu Kül	Silis Dumanı	Metakaolin
SiO <sub>2</sub>	19.95	35.27	53.69	93.65	53.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.12	14.81	20.29	0.20	42.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.75	2.13	11.83	0.58	1.40
CaO	63.82	28.79	3.4	0.27	0.60
MgO	1.64	8.32	4.09	0.33	0.73
SO <sub>3</sub>	3.36	0.51	0.99	0.21	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.22	0.50	-	0.29	0.00
K <sub>2</sub> O	0.46	1.17	2.53	0.87	0.68
Na <sub>2</sub> O Eşdeğer	0.52	1.27	-	-	-
Kızdırma Kaybı	1.11	0.21	2.01	1.84	-
SCaO	1.23	-	-	-	-
45 Mikron	1.90	0.20	27.25	-	D50
90 Mikron	-	-	-	-	-
Özgül Ağırlık	3.17	2.95	1.98	2.36	2.6
Blaine	3971 (cm <sub>2</sub> /gr)	5074 (cm <sub>2</sub> /gr)	4020(cm <sub>2</sub> /gr)		8600(cm <sub>2</sub> /gr)



Şekil 1. Mineral Katkılara ait Sterio Mikroskop Görüntüleri.

### 3. Deneysel Çalışma

Çizelge 3'de aktif silis içeren ince agrega, aktif silis içermeyen mıcır ve çimento özellikleri dikkate alınarak beton karışım hesabı yapıldı. ( TS 802, 1985)

Çizelge 3. Beton Karışım Hesabı.

<b>Çimento: 420 kg</b>	<b>Agrega Kum %60</b>	<b>Agrega Mıcır % 40</b>
<b>Çimento Özgül ağırlık:3,17 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>İnce agrega</b>	<b>Mıcır</b>
<b>Çimento Alkali Oranı:</b>	<b>özgül ağırlık: 2,63 gr</b>	<b>özgül ağırlık:2,685 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Na<sub>2</sub>O+0,658*K<sub>2</sub>O = 0,45</b>	<b>/cm<sup>3</sup></b>	
Su/Çimento = 0,45	C/cy + Su+ Hava+ A/ay =1000 dm <sup>3</sup>	
Hava % 15 alındı.	420/3,17 + 189+ 15+ A/ay =1000 dm <sup>3</sup>	
Agrega toplam miktarı	A/ay = 663,5	
Kum % 60 oranında	663,5*0,60*2,63 = 1047,003 kg	
Çakıl %40 oranında	663,5*0,40*2,685 = 712,599 kg	
Çimento miktarı	= 420,000 kg	
Su miktarı	= 189,000 kg	
Toplam Miktar	2368,602 kg/m <sup>3</sup>	

Çizelge 3'de yer alan karışım değerlerine göre beton prizma deneyi için değişik oranlarda mineral katkı içeren numune karışım hesapları yapıldı. Beton prizma numunelerine ait, beton karışımı hazırlanırken alkali silika reaksiyonunu azaltan mineral katkılar ile muhtelif oranlarda alınarak karışım miktarları bulunmuştur. Mineral katkılarının toplam miktarı % 35 oranında, çimento miktarı ise % 65 oranında alınmıştır. Çizelge 4.

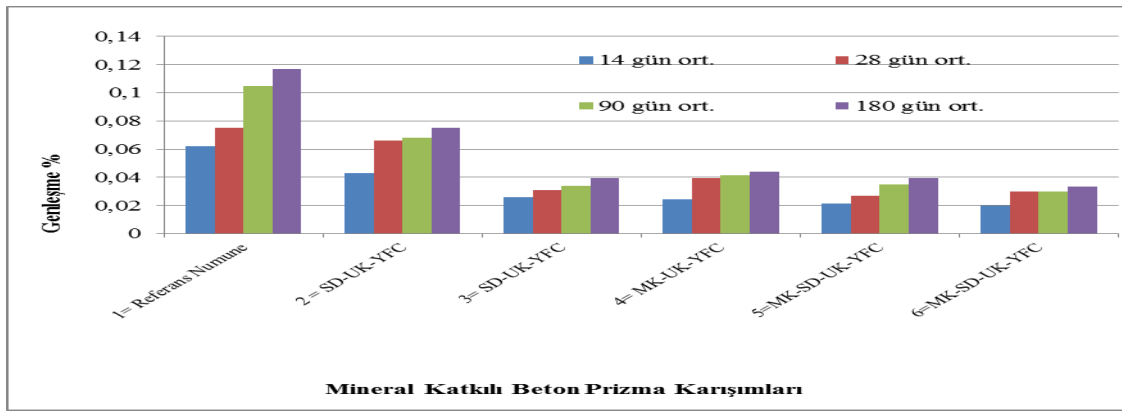
Çizelge 4. Beton Prizma Numunelerine ait Beton Karışım Miktarları.

Beton Prizma Numune Grupları	Beton karışım bileşenlerine ait karışım oranı ve miktarları							
	MK (kg)	SD (kg)	UK (kg)	YFC (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Kum (kg)	Mıcır (kg)
1= Referans Numune	0	0	0	0	420	189	1047	712
2 = SD-UK-YFC	0	%10=42	%16=68	%9=37	%65=273	189	1047	712
3= SD-UK-YFC	0	%5=21	%20=84	%10=42	%65=273	189	1047	712
4= MK-UK-YFC	%5=21	0	%20=84	%10=42	%65=273	189	1047	712
5=MK-SD-UK-YFC	%5=21	%5=21	%20=84	%5=21	%65=273	189	1047	712
6=MK-SD-UK-YFC	%5=21	%5=21	%12=52	%13=52	%65=273	189	1047	712

Beton prizmalar, 40\*40\*160 mm kalıplara, 420kg/m<sup>3</sup> çimento, yüksek alkali içeren agrega (kum) %60 ve aktif silis içermeyen 1 nolu mıcır %40 ve karışım suyu su/çimento oranı 0,45 olan, farklı mineral katkıli beton karışımı ile hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Beton karışım hesabına göre numune karışım oran ve miktarları çizelge 4’de görülmektedir. Bu üretilen numunelere ait alkali silika reaksiyonu genleşme değerleri çizelge’5 de ve grafiği şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 5. Beton Prizmalara ait Alkali Silika Reaksiyonu Genleşme Sonuçları.

	14 gün.	28 gün.	90 gün.	180 gün.
1= Referans Numune	0,0622	0,075	0,1049	0,1169
2 = SD-UK-YFC	0,0431	0,0659	0,068	0,0749
3= SD-UK-YFC	0,0257	0,0307	0,0339	0,0392
4= MK-UK-YFC	0,0245	0,0392	0,0415	0,044
5=MK-SD-UK-YFC	0,0212	0,027	0,0348	0,0395
6=MK-SD-UK-YFC	0,0198	0,0298	0,0298	0,0333

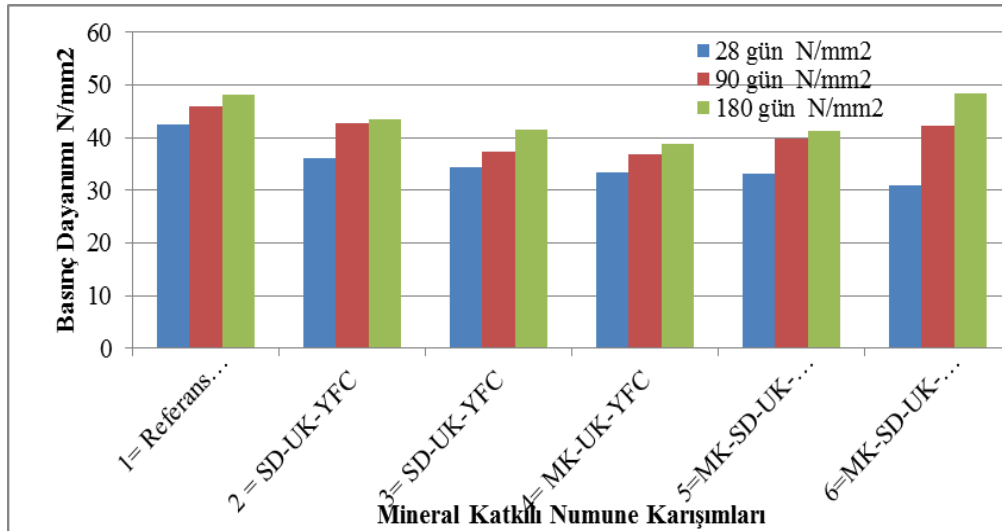


Şekil 2. Beton Prizmalara ait Alkali Silika Reaksiyonu Genleşme Sonuçları Grafiği.

10\*10\*10 cm beton küp numuneler üzerinde yapılan 28-90 ve 180 günlük basınç dayanımları çizelge 6’da grafiği ise şekil 3’de görülmektedir. (TS EN 12390-3, 2010)

Çizelge 6. Mineral Katkılı Karışimli Betonlara ait Basınç Dayanımları.

	28 gün N/mm2	90 gün N/mm2	180 gün N/mm2
1= Referans Numune	42,59	45,97	48,12
2= SD-UK-YFC	36,12	42,77	43,57
3= SD-UK-YFC	34,35	37,41	41,4
4= MK-UK-YFC	33,42	36,75	38,87
5= MK-SD-UK-YFC	33,04	39,7	41,19
6= MK-SD-UK-YFC	30,84	42,26	48,44



Şekil 3. Mineral Katkılı Karışımli Betonlara ait Basınç Dayanımları Grafiği.

Mineral katkı ile hazırlanan beton numunelerinde 180 günlük basınç dayanımları sonuçlarına göre ciddi derecede dayanımın arttığı gözlenmiştir. Basınç dayanımı artış oranlarının yorumlanması çizelge 7'de yapılmıştır.

#### 4. Sonuç ve Değerlendirme

Deneyisel çalışmada farklı mineral katkı oranlarında hazırlanan numuneler üzerinde alkali silika reaksiyonu (ASR) etkinliği hızlandırılmış beton prizma deneyi gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış beton prizma deneyine göre; numuneler 60°C sıcaklıkta % 100 bağıl nem ortamında 180 gün deneye tabii tutulmuş olup, 180 gün sonunda oluşan genişlemenin %0,04 aşmaması durumunda mineral katkıların alkali silika reaksiyonunu (ASR) azaltmaktadır. Deney sonuçlarına bakıldığında 3,5 ve 6 nolu hazırlanan beton prizma numunelerinde standart değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Mineral katkı karışımları ile yapılan beton prizma deneyi genişleme sonuçlarına bakıldığında alkali silika reaksiyonunun azaldığı fakat yeterli olmadığı gözlenmiştir. Mineral katkı oranları ile agrega miktarlarının yeniden hesaplanması sonrasında daha etkili sonuçlar alınabileceği gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre aktif silis içermeyen agreganın oranının artırılmasında fayda olacaktır.

28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımı sonuçlarının yorumlanması çizelge 7'de yer almaktadır.

Çizelge 7. Basınç Dayanımı Sonuçlarının Yorumlanması.

1= Referans Numune	Basınç dayanımı % 88 oranında artış göstermiştir. Ayrıca 28 günlük dayanımda CEM-I çimento dayanımını sağlamıştır.
2= SD-UK-YFC	Basınç dayanımı % 84 oranında artış göstermiştir. Silis dumanı % 10 alınmış olup dayanım ciddi oranda artmıştır.
3= SD-UK-YFC	Basınç dayanımı % 82 oranında artış göstermiştir
4= MK-UK-YFC	Basınç dayanımı % 86 oranında artış göstermiştir
5= MK-SD-UK-YFC	Basınç dayanımı % 80 oranında artış göstermiştir
6= MK-SD-UK-YFC	Basınç dayanımı % 64 oranında artış göstermiştir. Uçucu kül ve Yüksek fırın cürufu % 12.5 alınmış, Silis dumanı ve Metakaolin % 5 oranında katılmış olan bu grup betonlarda karışım oranlarından kaynaklanan dayanım düşüklüğü görülmüştür.



## 5. Sonuçlar

Beton prizma numunelerinde yapılan alkali silika reaksiyonu deney sonuçlarına bakıldığında 3,5 ve 6 nolu hazırlanan numunelerde genleşmenin standart değerlerin altında kaldığı fakat yeterli olmadığı kanaatine varılmıştır.

Alkali silika reaksiyonu genleşme değerlerine göre, mineral katkı oranları ile agrega miktarlarının yeniden hesaplanması sonrasında daha etkili sonuçlar alınabileceği ayrıca aktif silis içermeyen agrega oranının artırılması faydalı olacaktır.

Çizelge 7'de yer alan beton basınç dayanımlarına göre beton numunelerin yeterli dayanıma sahip oldukları gözlenmiştir.

Mineral katkıların beton basınç dayanımını olumlu etkilediği bu çalışmamızda da ispatlanmıştır. 180 günlük beton basınç dayanımları 28 günlük değerlere nazaran ortalama % 80 civarında artmıştır.

Elde edilen beton basınç dayanımları açısından görünürde sakınca olmamasına rağmen alkali silika reaksiyonu açısından betonda ilerleyen süreç de hasar oluşması kaçınılmazdır.

Beton ve betonarme elemanlarda dayanımı olumsuz etkileyen alkali silika reaksiyonu yönünden tüm bölgelerde beton agregaları üzerinde ciddi çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Alkali silika reaksiyonu oluşumunu engellemek üzere beton üretiminde kullanılacak agregaların aktif silis içermemesi ve çimentonun alkali içermemesi önerilmektedir.

## 6. Kaynakça

ASTM C1293-08b., (2015), Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM C295 / C295M-12., (2012), Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM C-618 - 12a., (2012), Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken PA. [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM C-289-94., (1994), Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standards, Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4 (2): 157-163.

ASTM C1260., (2014), Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA. [www.astm.org](http://www.astm.org).

Berube, M.A., Duchesne, J., (1992), Evaluation of test methods used for assesing the effectiveness of mineral admixtures in suppressing expansion due to alkali-aggregate reaction, Proceedings, 4th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, Turkey, ACI SP-132, American Concrete Institute, Detroit : 549-575.

CSA A23.2-14A., (2000), Potential Expansivity of Aggregates (Procedure for Length Change Due to Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Prisms), CSA A23.2-00: Methods of Test for Concrete. Canadian Standards Association, Mississauga, On. Canada :207-216.

Farny, J. A., Kosmatka, S. H., (1997), Diagnosis and control of alkali aggregate reactions in concrete, Concrete Information, Portland Cement Association, 23 p.

Grosbois, M., Fontaine E., (2000), Evaluation of the potential alkalireactivity of concrete aggregates: performance of testing methods and a producer's point of view, Proc. 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Quebec, (1406):267-277.

Ideker, J.H., East, B.L., Folliard, K.J., Thomas, M.D.A. and Fournier, B., (2010), The current state of the accelerated concrete prism test, Proceedings of the 13th International Conference on AAR, June 16-20, Trondheim, Norway, : 119-129.

Lane, D.S., Ozyildirim, C., (1999), Preventive measures for alkali-silica reactions (binary and ternary systems), Cement and Concrete Research, (29): 1281-1288.

Lindgård, J., Nixon, P.J., Borchers, I., Schouenborg, B., Wigum, B.J., Haugen, M. and Åkesson, U., (2010), The EU "PARTNER" Project - European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates, Final results and recommendations, Cement and Concrete Research. Vol. (40): 611-635.

Lindgård, J., Thomas, M.D.A., Sellevold, E.J., Pedersen, B., Andiç-Çakır, Ö., Justnes, H., and Rønning, T.F., (2013a), Alkali-silica reaction (ASR) - performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on alkali leaching and prism expansion, Cement and Concrete Research, Vol. (53): 68-90.

Mather, B., (1999), How to make concrete that will not suffer deleterious alkali-silica reactions, Cement and Concrete Research, Vol. (29): 1277-1280.

Murdock, K.J. and Blanchette, A., (1994), Rapid evaluation of alkali aggregate reactivity using a 60°C concrete prism test, Proceedings of the 3rd Canmet- ACI International Conference on Durability of Concrete, Nice, France, : 57-78.

Nixon, P., Sims, I., (2000), Universally accepted testing procedures for AAR the progress of RILEM Technical Committee 106, Proc. 11th International Conference, on Alkali-Aggregate Reaction, Quebec, (1406):435-444.

Ranc, R. and Debray, L., (1992), Reference test methods and a performance criterion for concrete structures, Proceedings of the 9th International Conference on AAR in concrete, London, UK, : 119-129.

RILEM Technical Committee 106, Proc. 11th International Conference, on Alkali-Aggregate Reaction, Quebec, (1406):435-444.

Rivard, P., Bérubé, M.A., Ollivier, J.P. and Ballivy, G., (2003), Alkali mass balance during the accelerated concrete prism test for alkali-aggregate reactivity, Cement and Concrete Research. Vol. (33): 1147-1153.

TÇMB, (2011), Mikroskop İncelemeleri ve Mineralojik Analiz Eğitimi Notları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.

Thomas, M.D.A., Hooton, R.D., Rogers, C.A., (1997), Prevention of damage due to alkali-aggregate reaction (AAR) in concrete construction-Canadian approach, Cement, Concrete and Aggregates, vol.19, (1): 26-30.

Touma, W.E., Fowler, D.W., Carrasquillo, R.L., Folliard, K.J. and Nelson, N.R., (2001), Characterizing alkali-silica reactivity of aggregates using ASTM C1293, ASTM C1260 and their modifications, Transportation Research Record, 1757 (01-3019): 157-165.

TS 2517., (1977), Chemical Test for Potential Reactivity of Alkali Aggregates, Turkish Standards Institute, Ankara.

TS EN 197-1., (2012), "Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri" Türk standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206:2013+A1., (2017), Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 802., (1985), Beton Karışımı Hesapları, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3., (2010), Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.

Yüksel, C., Mardanı, A., Beglarıgale, A., Yazıcı, H., Ramyar, K., Çakır,Ö.A., (2017), Bazalt ve Atık Cam Agraalı Betonlarda Alkali Silis Reaksiyonu Genleşmeleri ve Alkali Sızıntısı Seviyeleri, İMO Teknik Dergi, Yazı (477): 7865-7882.