

ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONU ETKİSİNE MARUZ AYNI ORANDA SİLİS DUMANI VE UÇUCU KÜL İÇEREN HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İlhami DEMİR

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE
ildemir@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 08.12.2009; Kabul/Accepted: 24.03.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, çimento yerine aynı oranlarda silis dumanı (SD) ve Uçucu kül (UK) içeren karışımların Alkali-silika reaksiyonu (ASR) etkisi araştırılmıştır. ASR nedeniyle oluşan genleşmenin kontrol altına alınması için kullanılan SD ve UK'nın genleşme ve mekanik özellikleri üzerine etkisi belirlenmiştir. Araştırmada, SD ve UK % 0, 5,0, 10,0, 15,0 ve 20,0 oranlarında çimento yerine ikame edilmiştir. Agrega ve çimento karışımlarının reaktifliğini belirlemek için ASTM C 1260 deney standardı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, ASR etkisinde bırakılan örneklerin morfolojisi ve kimyasal kompozisyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji yayıcı X-ışını analizörü (EDX) kullanılarak incelenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, 14 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek boy uzamasının kontrol harç çubuklarında %0,34, ortalama olarak en düşük boy uzamasının ise %20 SD ikamesi yapılan harç çubuklarında %0,04 olduğu gözlenmiştir. ASR etkisine maruz kalan harçlarda en az dayanım kaybı %20 SD ikamesi yapılan harçlarda olmuştur. ASR etkisinde bırakılan % 0-20 ikameli SD'li harçlar UK'lı harçlara göre %18 daha iyi eğilme dayanımına ve basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. SEM görüntüsünde ASR çatlaklarının yoğun ve geniş çatlaklı olduğu bölgelerde yapılan EDX'lerde kalsiyum oranı yüksek silis oranı düşük oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alkali-silika reaksiyonu, Silis dumanı, Uçucu kül, Basınç ve Eğilme dayanımı.

THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALKALI-SILICA REACTIVE MORTARS CONTAINING SAME AMOUNTS OF SILICA FUME AND FLY ASH

ABSTRACT

In this study, the Alkali silica reaction (ASR) effects on the mortars containing the same proportions of silica fume (SF) and fly ash (FA) instead of cement were investigated. SF and FA, used to control the expansion caused by ASR, were seen to have effects on the expansion and mechanical properties. In the study, SF and FA were substituted for cement in the proportions of 0.5.0%, 10.0%, 15.0% and 20.0%. ASTM C 1260 standard was used to determine the reactivity of aggregates and cement mixtures. In this experimental study, the morphology and chemical composition of the samples exposed to the effects of ASR were analyzed by using a scanning electron microscope (SEM) and Energy Dispersive X-ray (EDX).

The results of 14-day experimental measurement showed that the average maximum length of extended control mortar bars was observed to be 0.34% while the lowest average 20% increase of the length SF replace was seen to be 0.04% in the mortar bar. The least strength loss in the mortars exposed to ASR was in those which had 20% SF substitution. Exposed to the effects of ASR, the mortars with 0%-20% SF substitution had a 18% better flexural strength and compressive strength compared to the mortars with FA. As observed on the SEM images, EDX done on the dense and wide ASR cracked areas showed high calcium and low silica percentage.

Keywords: Alkali silica reaction (ASR), Silica fume (SF), fly ash (FA), Compressive and Flexural strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alkali-silika reaksiyonu (ASR), beton agregalarında bulunan reaktif silis ile betonun boşluklarında eriyik halde bulunan hidrosil iyonlarının reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genişleyen bir jelin oluşmasına neden olur. Beton içerisinde şişme sebebiyle meydana gelen bu hacim artışı çekme gerilmelerinin doğmasına sebep olarak betonda çatlamlara yol açar[1].

ASR portland çimentosundaki alkali hidroksitlerle agregada mevcut bazı mineraller (opal, çört, kalsedon, trimit, kristobalit ve kuvars gibi) arasında oluşan bir reaksiyondur [2].

ASR'nin oluşumu için, agregada 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. Aşağıda ASR oluşum mekanizması verilmiştir.

— 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 anlamına gelmez. Servis ömrü boyunca kuru kalan bir betonda ASR ciddi bir tehlike olmayabilir. Bağlı nem oranı % 80'in üstünde olan betonlarda ASR oluşmaktadır. Düşük su/çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir yolla beton geçirimsizliği azalır, 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 reaktiflik göstermektedir. Ayrıca sık kuruma-ıslanma tekrarı betonda alkali taşınmasını kolaylaştırmakta ve alkalilerin kuruma bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır [3].

Mineral katkıların kullanımı harç ve beton basınç dayanımını, boşluk yapısını ve permabiliteyi zamanla iyileştirir [4,5]. Çünkü mineral katkıları sayesinde hidrasyonun gelişimi ile toplam boşluk azalır [6]. UK (uçucu kül) ve SD (silis dumanı) gibi mineral katkıların da ASR gelişmelerini azalttıkları bilinmektedir [7,8].

Massazza [9] silis dumanının davranışının fizyokimyasal olduğunu ifade etmiştir. Fiziksel aşama çimento pastasının özellikle de geçiş bölgesinin boşluk yapısının iyileştirilmesidir. Kimyasal aşama puzolanik reaksiyon sonucu zayıf "calcium hydroxide kristal"lerinin güçlü "calcium silicate hydrate jel"lerine dönüşümüdür. Silis dumanını bu etkiler

sonucu basınç ve eğilme dayanımları ile dayanıklılıkta önemli iyileşmeler sağlar.

Puzolanlar çimento harcının kirecini tutarak ortamın pH derecesini indirir ve silisin çözünürlüğünü azaltarak ASR'ünü ve jel oluşumunu önler. Puzolanların ASR için bir diğer faydası ise sağladıkları geçirimsizliktir [2].

ASR'nin farklı mineral katkıları ile azaltılması yönünde geçmişte çalışmalar bulunmakla birlikte günümüzde de yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada; reaktif agregada tozlarının ASR'deki gelişmeyi %35-%95 oranında azalttığı belirtilmiştir. Bu azaltmada silisli kalker tozunun daha etkili olduğu açıklanmıştır [10].

Yapılan başka bir çalışmada ise; mineralojik kökeni farklı agregalar ile betonlar üretilerek ASR etkisine maruz bırakılmıştır. Hazırlanan betonların reaktif agregada özellikleri ve miktarı ile taze betondaki çökme mesafesi, hava içeriği ve sıcaklığı ASR gelişmesine bağlı olarak betonların basınç dayanımlarını etkilemiştir. [11].

Genellikle mineral katkıların ASR üzerindeki etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan deney metodları ASTM C441, ASTM C227, ASTM C1260 ve ASTM C1293'dür. Fakat bunlar arasında en güvenilir olarak kabul edilen hızlandırılmış harç çubuğu metodu ASTM C1260 ve beton prizma metodu ASTM C1293'dür [8].

Bu araştırmanın amacı; ASR'den etkilenen çimento yerine aynı oranda ikame edilen UK ve SD ikameli harçların doğrusal boy uzamaları ile mekanik davranışlarının etkisini analiz etmektir. Çalışmada, çimento yerine aynı oranda ikame edilen UK ve SD'li harç çubukları ASTM C 1260 standardına uygun olarak 14 gün Alkali-Silika Reaksiyonu etkisinde bırakılmış boy uzamaları kaydedilmiştir. Katkı tipine ve oranına göre boy değişimleri, eğilme ve basınç dayanımları incelenmiştir. Böylece ASR'den etkilenen çimento harçlarının doğrusal boy uzaması ile mekanik davranışları karşılaştırılmıştır. Ayrıca zarar gören harçların Elektron Tarayıcı Mikroskopla mikro yapısal özellikleri analiz edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Çalışmada SD ve UK kullanımının reaksiyona etkisinin araştırmada izlenebilmesi amacıyla ön deneylerde standart sınır değer üzerinde bir genişleme gösteren Şavşat/Artvin/Türkiye'den alınan kırmataş agregası kullanılmıştır. Çimento olarak CEM I 42,5R çimentosu, su, Antalya Etibank Elektrometalürji Tesislerinden sağlanan SD (silis dumanı) ve F sınıfı UK (uçucu kül) kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan agregaya ait kimyasal analiz ve petrografik özellikler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde yapılmış olup Tablo 1'de, granülometrisi ise Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. Agreganın kimyasal ve mineralojik özellikleri (Chemical and mineralogical properties of aggregate).

Kimyasal özellikler		Mineralojik özellikler	
Bileşim	(%)	Bileşim	(%)
Na ₂ O	2,5	Kuvars	15
MgO	1,3	Plajiyoklaz	65
Al ₂ O ₃	13,2	Ortoklaz	5
SiO ₂	68,1	Epidot	5
P ₂ O ₅	0,1	Klorit	4
K ₂ O	1,9	Kalsit	3
CaO	3,9	Amfibol	1
TiO ₂	0,5	Opal	Min %2
MnO	0,1		
Fe ₂ O ₃	4,2		

Tablo 2. Kullanılan agreganın granülometrisi (Granular distribution data of the used aggregate)

Elek boyutları	İki elek arasında kalan malzeme (%)
4,75 mm (No:4) – 2,36 mm (No: 8)	10
2,36 mm (No:8) – 1,18 mm (No: 16)	25
1,18 mm (No: 16) – 600 µm (No: 30)	25
600 µm (No: 30) – 300 µm (No: 50)	25
300 µm (No: 50) – 150 µm (No: 100)	15

Araştırmada kullanılan çimento, SD ve UK'ün kimyasal ve fiziksel özellikleri Baştaş Ankara çimento fabrikası laboratuvarlarında yaptırılarak Tablo 3'de verilmiştir.

2.2. Metot (Method)

Agregalarında bulunabilen aktif silisin zararlı etkilerini ortaya koymak amacıyla, ASTM C 1260'e göre hızlandırılmış harç çubuğu deney metodu uygulanmıştır [12]. Bu metot, kür şartlarını ağırlaştırarak reaksiyonu hızlandırmakta ve agregaların reaktivitesinin 16 gün içinde tespitine olanak vermektedir. ASTM C 1260 Standardında belirtilen gradasyondaki çimentonun kütlece 2,25 katı (990 gr) agrega ve su (206,8 gr) /çimento (440 gr) oranı 0,47 olan harç karışımı hazırlanmıştır. 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen harç örnekleri 24 saat sonra kalıplardan alınarak ilk boyları ölçülmüştür. Kalıp sökümünden itibaren 1 gün süreyle 80 °C derece suda bekletilerek boy ölçümleri alınan örnekler, takip eden 14 gün boyunca 80 °C derece 1N

Tablo 3. Çimento, SD ve UK'nın kimyasal ve fiziksel özellikleri (Physical and chemical properties of cement, silica fume and fly ash)

Kimyasal bileşim (%)	CEM I 42,5 R	SD	UK
SiO ₂	20,03	82,61	53,29
Al ₂ O ₃	5,17	0,71	22,4
Fe ₂ O ₃	3,53	0,92	7,97
CaO	62,03	1,29	2,05
MgO	2,35	1,75	2,12
Na ₂ O	0,6	0,30	0,29
K ₂ O	0,78	1,36	3,64
SO ₃	2,61	0,38	0,20
Özgül ağırlık	3,04	2,37	1,96
Özgül yüzey BET (cm ² /g)	3280	200.000	2200
Na ₂ O+0,658xK ₂ O	1,11	1,19	2,685
Priz başlama (dak)	145		
Priz sonu (dak)	180		
Hacimsel genleşme (mm)	2		

NaOH (900 ml. saf suya 40 gr sodyum hidroksit) çözeltisinde bekletilir ve periyodik ölçümleri alınmıştır.

Deneyel çalışmada Tablo 4'de görüldüğü gibi kontrol örneği ile birlikte (%0), %5, %10, %15 ve %20 SD ve UK katkılı toplam 15 (3x5) farklı örnek üretilmiştir.

ASR için kullandığımız agrega, su ve çimento miktarı %50 artırılarak, çimentonun 2,25 katı (1485 gr) agrega ve su (310,2 gr) /çimento (660 gr) oranı 0,47 olan harç karışımı hazırlanmıştır. Üretilen harçlar 40x40x160 mm boyutundaki çelik kalıplara dökülerek sarsma tablasında sıkıştırılmıştır. Harç numuneleri kalıp içinde 20±1 °C sıcaklık ve %50–60 bağıl nem ortamında 24 saat bekletildikten sonra çıkarılmış ve 15 adedi ASR'ye maruz bırakılmış, 15 adedi ise 28 gün süreyle 20±3 °C sıcaklıkta su kürü uygulanmıştır.

Hazırlanan 40x40x160 mm boyutlu prizmatik numunelere TS EN 196-1'e göre önce eğilme testi uygulanmıştır. Her karışımdan üçer adet alınan standart harç prizmalarına eğilme testi uygulandıktan sonra ortalarından kırılmaları sonucu altı adet 40x40x80mm boyutunda prizma numuneler meydana gelmiştir. Bu 6 adet yarım prizmatik numuneye TS EN 196-1'e göre basınç testi uygulanıp aritmetik ortalaması basınç gerilmesi değeri olarak kaydedilmiştir.

Mikroyapısal analizleri için ASR ortamında bekletilen örneklerin X- ışını kırınımı (XRD) ve taramalı JSM 5600 marka elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

Tablo 4. UK ve SD ikameli Harç örneklerin karışım miktarları (Fly ash and silica fume mortar samples with a mixture of replacement amounts)

Malzemeler (gr)	UK0	UK5	UK10	UK15	UK20	Malzemeler (gr)	SD0	SD5	SD10	SD15	SD20
Çimento	440	418	396	374	352	Çimento	440	418	396	374	352
UK	0	22	44	66	88	SD	0	22	44	66	88
Agrega	990	990	990	990	990	Agrega	990	990	990	990	990
Su	206,8	206,8	206,8	206,8	206,8	Su	206,8	206,8	206,8	206,8	206,8

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Alkali-Silika Reaksiyonu Etkisinde UK ve SD ikameli Harç Çubuklarının Boy Uzaması (Elongation of FA and SF Replaced Mortar Bars at The Effect of ASR)

Deneyde kullanılan CEM I 42,5 çimentosunun eşdeğer alkali değeri % 1,11 olup, diğer özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

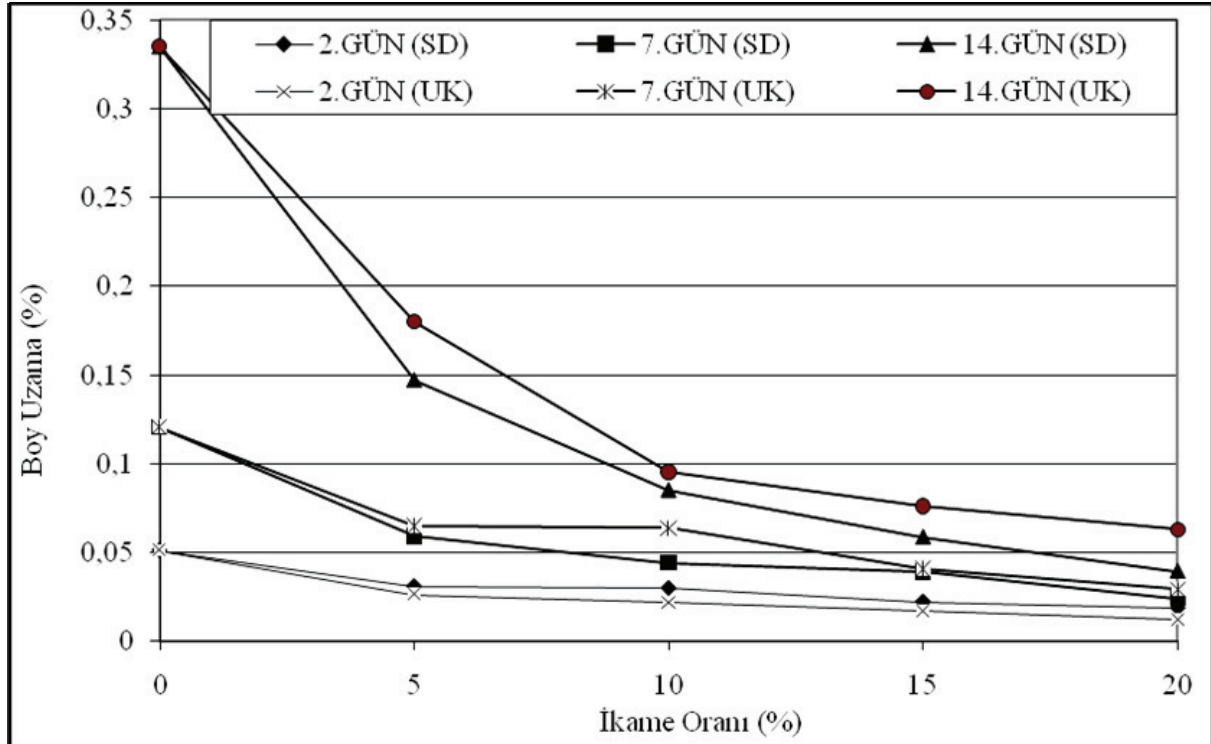
Çimento yerine farklı oranlarda UK ve SD kullanılmıştır. Deneyler, en az üç örnek üzerinde tekrarlanmış olup, elde edilen zamana bağlı genişleme değerleri; 2, 7 ve 14 günlük dönemler halinde Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi; 2 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek boy uzama oranının UK ve SD ikamesi yapılmayan kontrol harç (ikamesiz) çubuklarında %0,05, ortalama olarak en düşük boy uzama oranının ise %20 UK ikamesi yapılan UK20 harç çubuklarında %0,013 olduğu belirlenmiştir. 2 günlük ölçümlerde UK'nın daha etkili olduğunu söyleyebiliriz.

7 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek boy uzama oranının kontrol harç çubuklarında %0,12, ortalama olarak en düşük boy uzamasının ise %20 SD ikamesi yapılan SD20 harç çubuklarında %0,02 olduğu görülmüştür. Şekil 1'de görüldüğü gibi, SD20 ve UK20 örneklerinin boy uzamaları birbirlerine çok yakındır.

14 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek boy uzama oranının kontrol harç çubuklarında %0,34 olarak görülmüştür. Ortalama olarak en düşük boy uzama oranı ise %20 SD ikamesi yapılan SD20 harç çubuklarında %0,04 ve %20 UK ikamesi yapılan UK20 harç çubuklarında %0,06 olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak çalışmada bulunan boy uzamaları literatürle uygun bulunmuştur [13- 15].

ASTM C 1260'a göre; %0,1 zararsız agregalar için boy uzama limiti, %0,1-%0,2 arası kontrollü bölge (zararlı zararsız bölge), %0,2'den fazla boy uzaması ASR açısından Zararlı bölgeyi oluşturmaktadır. ASTM C 1260'a göre; UK0 ve SD0 (kontrol çubukları) %0,34 boy uzaması ile ASR açısından zararlı agregalar sınıfına girmekte, %5 UK ve SD ikamesi yapılan



Şekil 1. Çimento yerine UK ve SD ikamesinin harç çubuklarının boy uzamasına etkisi (Effect of the use of FA and SF in replacement for cement on the elongation of mortar bars)

harçlarda boy uzaması ile kontrollü bölge (zararlı zararsız agrega sınıfına girmekte, %10 ve daha fazla UK ve SD ikamesi yapılan harçlarda boy uzaması ile zararsız sınıfına girmekte olduğu görülmüştür.

Boy uzamaların sınır değeri olan %0.1'in altına çekilebilmesi ancak %10 UK ve %10 SD kullanımıyla gerçekleşmiştir. Çimento yerine %5 UK ve SD kullanımı genleşmeyi azalttığı fakat sınır boy uzama değerini yine aştığı görülmüştür.

3.2. ASR Etkisinde UK ve SD ikameli Harçların Eğilme ve Basınç Dayanımları (Flexural and Compressive strength of Mortar Bars With FA and SF Replacement Under the Effect of ASR)

ASR etkisinin harçlarda oluşturacağı mekanik dayanım kaybını belirlemek amacıyla 28 gün su küründe bekletilen kontrol örnekleri ve ASR etkisinde kalmış harçlara eğilme ve basınç testleri uygulanmış, bulunan eğilme dayanımı değerleri Şekil 2'de verilmiştir.

UK ve SD ikameli harçların eğilme dayanımlarının verildiği Şekil 2'ye göre; ASR etkisine maruz kalmış harçların UK ikame oranı %15'e kadar arttıkça eğilme dayanımı artmakta fakat %15'den sonra ise eğilme dayanımı düşmektedir. Su küründe 28 gün bekletilen harç çubuklarının ise; %0 UK ikamesine göre, UK ikame artışına bağlı olarak eğilme dayanımında dayanım kaybı gözlenmiştir.

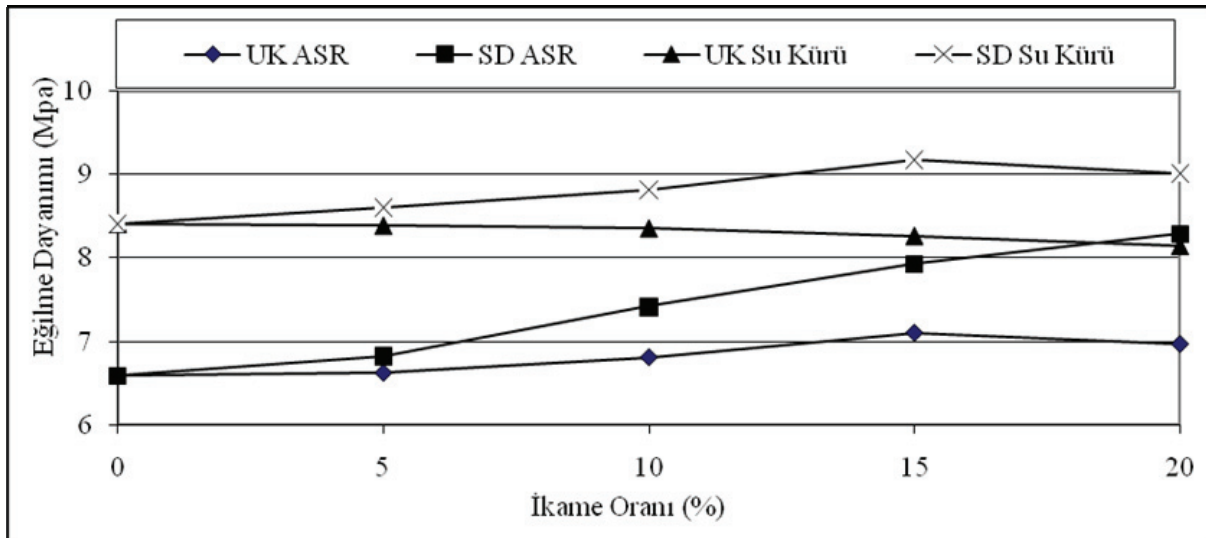
28 gün su küründe bırakılan ikamesiz (kontrol) harçlara göre; ASR etkisinde bırakılan UK ikameli harçlarda oluşan en yüksek eğilme dayanım kaybı %0 UK ve %5 UK ikamesi yapılan UK0 ve UK5 harçlarda %22, en düşük eğilme dayanım kaybı %15 UK ikamesi yapılan UK15 harçlarında %15 olduğu belirlenmiştir. Su kürü uygulanan UK'lü harçlar ASR'ye maruz kalan harçlara göre yaklaşık %14-21 oranında eğilme dayanımında artış göstermiştir.

SD ikameli harçların eğilme dayanımlarının verildiği Şekil 2'ye göre; ASR etkisine maruz kalmış harçların SD ikame oranı %20'ye kadar arttıkça eğilme dayanımı artmakta olduğu görülmektedir. Su küründe tutulan harç çubuklarında ise %15'e kadar SD ikame oranı eğilme dayanımını arttırmış fakat %15'den sonra eğilme dayanımını düşürmüştür.

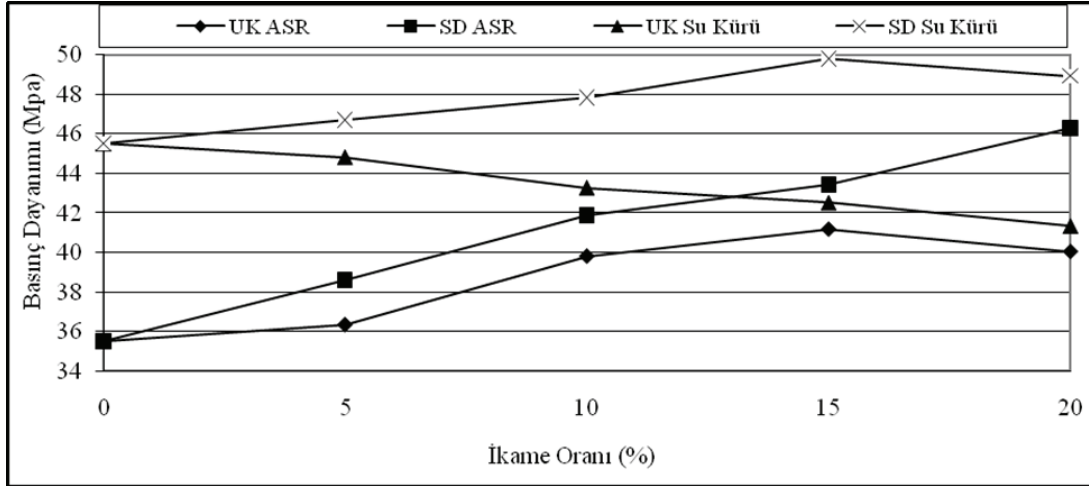
28 gün su küründe bırakılan ikamesiz (kontrol) harçlara göre; SD ikameli harçlarda oluşan en yüksek eğilme dayanım kaybı kontrol (SD0) harçlarda %22, en düşük eğilme dayanım kaybı %20 SD ikamesi yapılan SD20 harçlarında %2 olduğu belirlenmiştir. Bu durumun %20'ye kadar SD ikamesi yapılmış harçlarda ASR etkisinde eğilme dayanım kaybını önlediğini söyleyebiliriz.

Bu sonuçlara göre; ASR etkisine maruz kalan harçlarda en az eğilme dayanım kaybı %20 SD ikamesi yapılan harçlarda görülmüştür. 14 gün ASR etkisinde kalan UK ikameli harçlarda en yüksek eğilme dayanımı %15 UK için 7,1 MPa olmuştur. Bu ikame %8 eğilme dayanım artışı sağlamıştır. Aynı şekilde 14 gün ASR etkisinde kalan SD ikameli harçlarda en yüksek eğilme dayanımı %20 SD için 8,3 MPa olmuştur. Bu ikame %26 eğilme dayanım artışı sağlamıştır. Bu sonuç ASR etkisinde kalarak en yüksek eğilme dayanımı sağlayan SD ve UK ikameli harçlarda; %20 SD ikameli harçların %15 UK ikameli harçlara göre %18 daha iyi eğilme dayanımına sahip olduğunu göstermektedir.

UK ikameli harçların basınç dayanımları incelendiğinde (Şekil 3), ASR etkisine maruz kalmış harçların UK ikame oranı %15'e kadar arttıkça basınç dayanımı artmakta fakat %15'den sonra ise basınç dayanımı düşmektedir. Su küründe 28 gün bekletilen harç çubuklarının ise UK ikame oranı arttıkça basınç dayanım kaybı olduğu görülmektedir.



Şekil 2. ASR etkisi ve su küründe bırakılan çimento yerine UK ve SD ikameli harçların eğilme dayanımı (Flexural strength of mortar bars with FA and SF replacement under ASR and water cure)



Şekil 3. ASR etkisi ve su küründe bırakılan çimento yerine UK ve SD ikameli harçların basınç dayanımı (Compressive strength of mortar bars with FA and SF replacement under ASR and water cure)

28 gün su küründe bırakılan ikamesiz (kontrol) harçlara göre; ASR etkisinde bırakılan UK ikameli harçlarda oluşan en yüksek basınç dayanım kaybı kontrol (UK0) ve %5 UK ikamesi yapılan UK5 harçlarda %22, en düşük basınç dayanım kaybı %20 UK ikamesi yapılan UK20 harçlarında %10 olduğu belirlenmiştir. Su küründe bekletilen UK ikameli harçlar ASR'una bırakılan harçlara göre yaklaşık %12-%20 oranında basınç dayanımında artış göstermiştir.

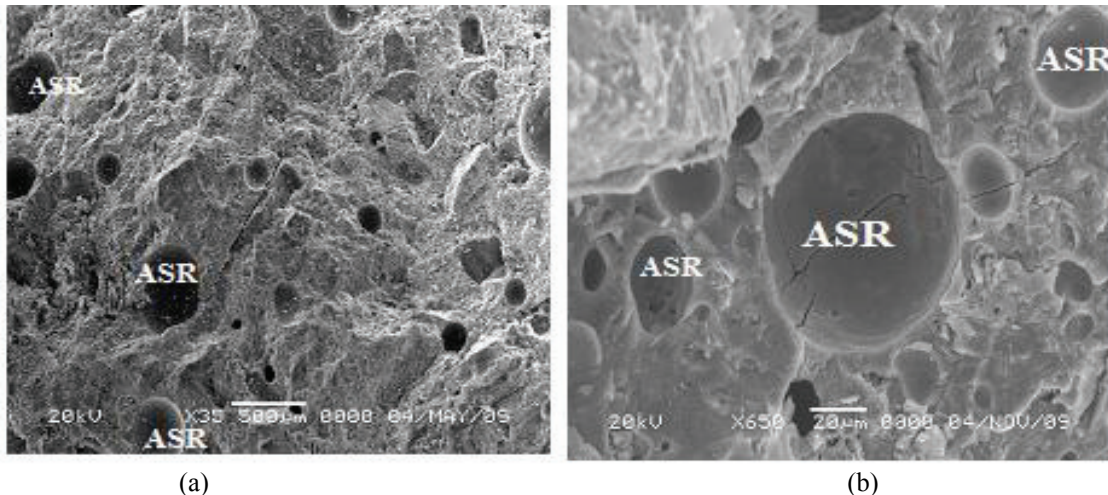
SD ikameli harçların basınç dayanımları incelendiğinde (Şekil 3), ASR etkisine maruz kalmış harçların SD ikame oranı %20'ye kadar arttıkça basınç dayanımı artmakta olduğu görülmektedir. Su küründe tutulan harçlarda ise %15'e kadar SD ikamesi basınç dayanımında artış sağlamış, %15'den sonra düşüş eğilimi göstermiştir.

14 gün ASR etkisinde kalan SD ikameli harçlarda oluşan en yüksek basınç dayanım kaybı 35 MPa dayanımı ile kontrol SD0 (%0 SD) harçlarında %22, en düşük basınç dayanım kaybı 46 MPa dayanımı ile %20 SD ikamesi yapılan SD20 harçlarında %6 olduğu belirlenmiştir.

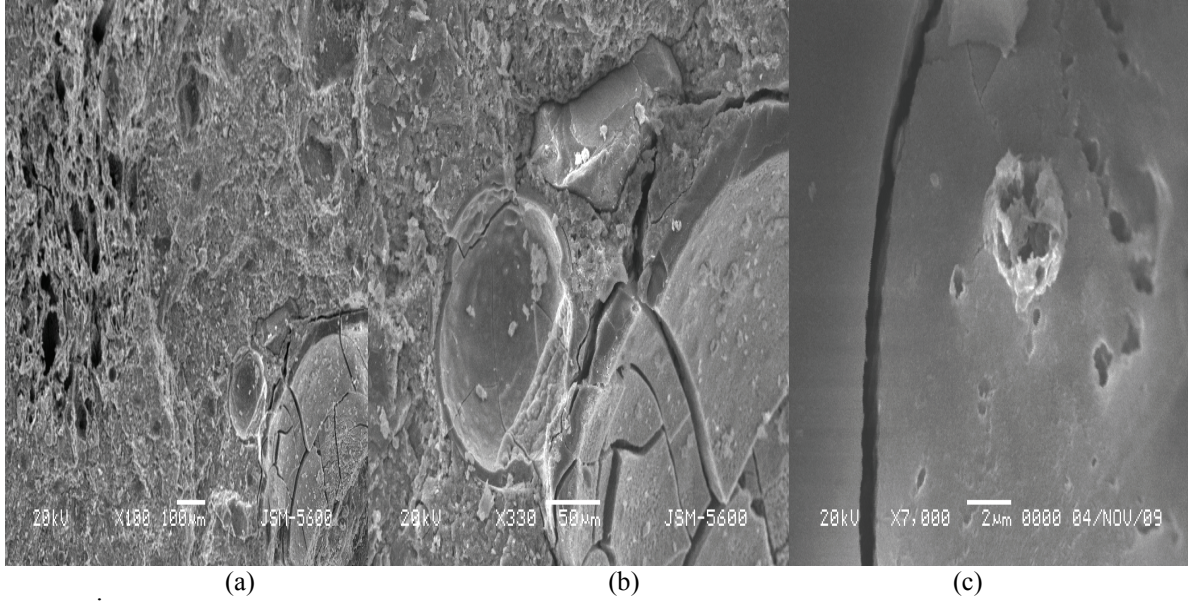
Bu sonuçlara göre; ASR etkisinde kalan UK ve SD ikameli harçların basınç dayanımında artış %20 UK ikamesinde %12 basınç dayanımı ise 40 MPa, %20 SD ikamesinde ise %30 basınç dayanımı ise 46 MPa olmuştur. Bu durum ASR etkisinde kalan SD ikamesinin UK ikamesine göre %18 daha iyi basınç dayanımına sahip olduğunu göstermektedir.

ASR etkisinde kalan SD ikameli harçlarda SD ikame oranı arttırıldıkça dayanım kaybı oranı azalmıştır. %20'ye kadar yapılan incelemede SD ikame oranı artması harçların mekanik özelliklerini olumlu etkilenmiştir.

UK ikameli 14 gün ASR etkisine maruz kalmış harçların basınç ve eğilme dayanımları UK ikameli 28 gün normal su küründe bırakılan harçların basınç ve eğilme dayanımlarına göre düşük çıkmıştır. Fakat ASR etkisine karşı UK ikame oranı %15'e kadar arttırılması dayanım kaybı oranını azaltmıştır. ASR etkisinde %20'ye kadar yapılan ikame oranında UK'ün %15'e kadar arttırılması harçların mekanik özelliklerini olumlu etkilemiştir.



Şekil 4. İkamesiz kontrol örneklerinin SEM görüntüsü (SEM image of the control samples without replacement)



Şekil 5. İkamesiz kontrol örneklerinin 35x(a) , 100x(b) ve 7000x(c) büyütülmüş SEM görüntüsü (SEM image of control samples without replacement, 35x(a), 100x(b) and 7000x(c) magnified)

En az boy uzamasını %20 SD ikameli örnekler verdiği gibi en iyi basınç ve eğilme dayanımını %20 SD ikameli harç örnekleri vermiştir. Bu durum ASR'de SD ikamesinin UK'le göre boşluk doldurucu etkisinin ve puzolanik aktivitesinin daha etkili olduğunu göstermiştir.

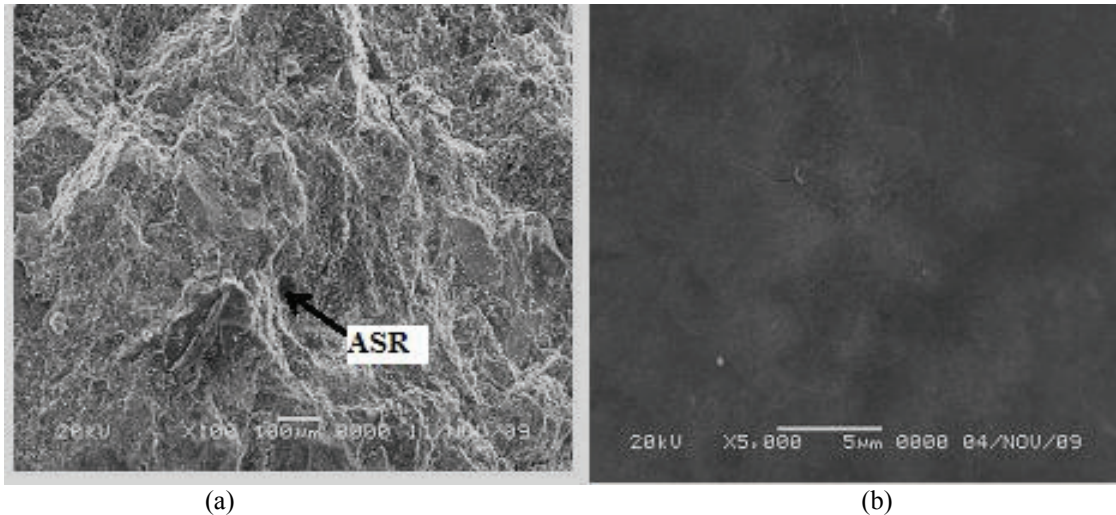
3.3. ASR Etkisinde UK ve SD İkameli Harç Çubuklarının Mikroyapısal Özellikleri (Microstructural properties of FA and SF replaced Mortar Bars at The Effect of ASR)

Tarayıcı Elektron mikroskopu ile harç örneklerin farklı yerlerinden alınan SEM görüntüleri yardımı harçların mikroyapı analizleri yapılmıştır. SEM görüntülerinde ASR ürünlerinin genellikle boşluklarda, agregaların çatlakları ve agrega-çimento hamuru arasında yer aldığı görülmüştür. Farklı

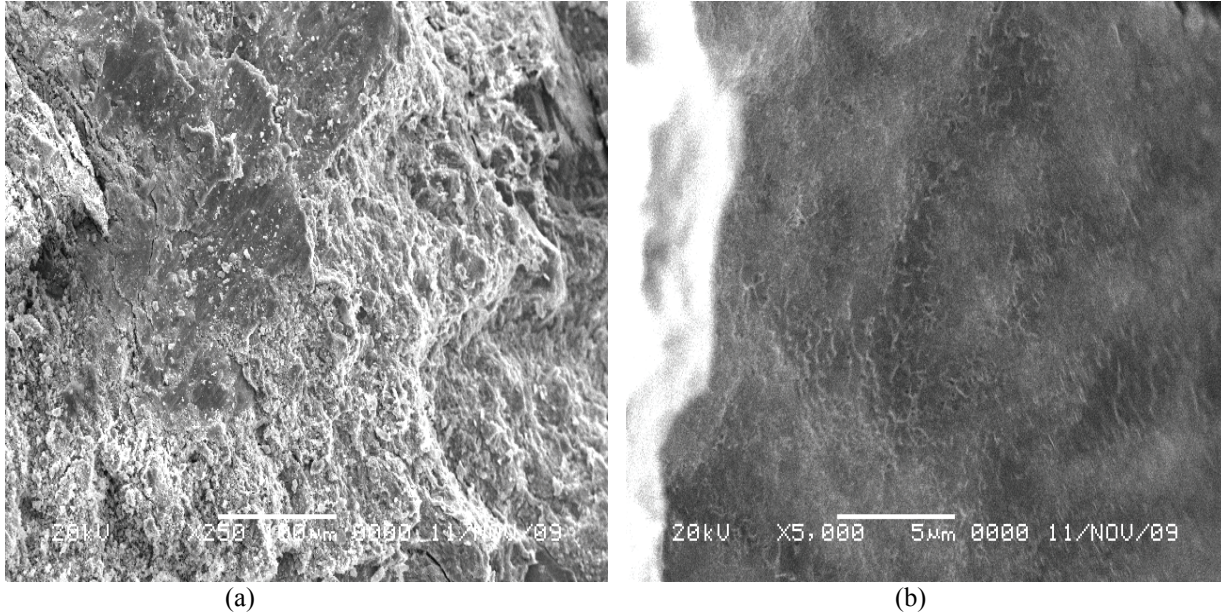
morfolojik yapıya sahip olan masif ASR ürünleri yaklaşık 100 veya daha büyük görüntülerde net olarak görülebilmektedir.

Şekil 4. ve Şekil 5'e göre; kontrol (ikamesiz) harç çubuklarında ASR ürünlerine sıkça rastlanmıştır. ASR çatlakları genellikle büzülme şekline oluşmuştur. Çatlamlar genellikle boşluklu yapıda başlayarak boşluk etrafında yayılmışlardır. 35 ve 250 büyütmelerde ASR'nin boşluklu yapıları görülmektedir. 500 büyütmeden sonra ASR büzülme çatlakları şeklini almakta, 5000 büyütmeden sonra ASR agrega çimento hamuru arasındaki jelleri iğnemi veya otsu şeklinde oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4'de görüldüğü gibi kontrol örneklerinde ASR ürünlerine sıklıkla rastlanmaktadır. ASR sonucu oluşan çatlaklar 35 büyütmede boşluk şeklinde



Şekil 6. %20 UK İkameli örneklerinin SEM görüntüsü (20% FA with replaced SEM image of the samples)



Şekil 7. %20 SD ikameli örneklerinin SEM görüntüsü (20% SF with replaced SEM image of the samples)

oluştugu görülmüştür (Şekil 4a). 500 büyütmeden sonra ise çatlaklar net olarak görülebilmektedir (Şekil 4b). ASR ürünleri, 650 büyütmeli (Şekil 4b) görüntüsünde daha net belirgindir. ASR ürünlerinin masif jel yapıda olduğu ve büzülme çatlakları içerdiği, çatlakların genellikle boşluklu yapıdan başlayarak boşluk etrafında da yayıldığı görülmektedir.

Harç çubuklarında ASR çatlaklarının yoğun olduğu bölgelerde Ca, ASR çatlaklarının olmadığı bölgelerde ise Si oranı yüksek çıkmıştır. ASR çatlakları daha ziyade agrega çimento hamurunun olduğu bölgelerde 1-2μm boyutlarında yoğunlaşmıştır (Şekil 4a-4b). ASR 7000 büyütmede ise mısır patlağı görülmüş (Şekil 5c), 15000 büyütmede ise mısır patlağının etrafında ise harita şeklinde ASR çatlakları oluşmuştur.

ASR ikamesiz harç çubuklarında 400 μm ile 500 μm çapındaki masif ürün yapraklanma şeklinde başlamış ve agregayı tahrip etme etkisi göstermiştir (Şekil 5a ve Şekil 5b). Şekil 5c'de ise kristalin içerisinde mısır patlağı ve patlağın kenarlarında ASR çatlakları gözlenmiştir.

16 günde %20 UK ikameli örneklerde ASR ürünü çok az oluşmuştur. Çatlaklar 1μm altında görülmüştür. %5-20 arasında UK ikameli örneklerde ikame oranına bağlı olarak ASR ürünlerine rastlanmıştır (Şekil 6a ve Şekil 6b). UK ikame oranının artırılması ASR ürünlerini azaltmıştır.

16 günde %20 SD ikameli örneklerde ASR ürünlerine çok az rastlanmıştır (Şekil 7a ve Şekil 7b). %5-10 arasında SD ikameli örneklerde ikame oranına bağlı olarak ASR ürünlerine rastlanmıştır. SD ikame oranını %15-20'ye artırılan örneklerde ASR ürünlerine çok az rastlanmıştır (Şekil 7a ve Şekil 7b).

%20 UK ikameli örnekler ile %20 SD ikameli örneklerin morfolojik yapıları birbirlerine benzerlikleri vardır. Fakat UK ikameli örneklerde SD ikameli örneklere göre ASR ürünlerine biraz daha fazla rastlanmıştır.

EDX'lerine bakıldığı zaman kimyasal bakımdan ASR çatlaklı olanlar ile ASR çatlaklı olmayanlar homojen yapı göstermemiştir. Fakat çatlaklı olanlar kendi aralarında homojenlik, çatlaksız olanlar kendi aralarında homojenlik göstermiştir. SD ve UK ikame oranının artırılması ASR ürünlerini azaltmıştır.

SEM ve EDX çalışmasında silis oranı yüksek olan örneklerde çatlak çok az görülmüştür. ASR çatlaklarının yoğun ve geniş çatlakları olduğu bölgelerde yapılan EDX'larda kalsiyum oranını yüksek silis oranının düşük olduğu gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İki aşamalı harçların ASR çalışmanın veri değerlendirilmesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

ASR etkisinde bırakılan harçlarda;

- %10 UK ve SD kullanımı ASR' unda boy uzamayı ASTM C 1260-07'de belirtilen sınır değer altına düşürmüştür.
- En düşük boy uzamasını %20 SD ikameli harç çubukları vermiştir.
- UK ikameli harçlarda en iyi eğilme ve basınç dayanımını %15 UK ikameli harçlar vermiştir. %15 UK ikamesinden daha fazla ikame oranı dayanımı düşürmüştür.
- SD ikameli harçlarda en iyi dayanımını %20 SD ikameli harçlar vermiştir.
- 14 gün ASR etkisine maruz kalmış UK ve SD ikameli harçların dayanımları 28 gün su

küründe bırakılan harçların dayanımlarına göre düşük çıkmıştır.

- ASR etkisinde %20'ye kadar SD ikame oranı arttırılması harçların mekanik özelliklerini olumlu etkilemiştir.
- ASR etkisinde %20'ye kadar yapılan ikame oranında UK'ün %15'e kadar arttırılması harçların mekanik dayanımlarını arttırmıştır.
- En iyi dayanımları %20 SD ikameli harç örnekleri verdiği gibi en az boy uzamasını da %20 SD ikameli örnekler vermiştir.
- SD ve UK ikamesi arttıkça boy uzamaların azalmakta olduğu görülmüştür.
- UK ikame oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımlarının artmadığı belirlenmiştir.
- Yapılan SEM ve EDX çalışmasında silis oranı yüksek olan örneklerde ASR çatlakları çok az görülmüştür.
- ASR çatlaklarının yoğun ve geniş çatlakları olduğu bölgelerde yapılan EDX'larda kalsiyum oranını yüksek silis oranının düşük olduğu gözlenmiştir.
- ASR etkisinde kalan harçlarda, SD ve UK'nın tane boyutu, şekli, morfolojisi mekanik özellikleri etkilemiştir.
- 14 gün ASR etkisinde kalan %15 UK ikameli harç çubuklarının boy uzaması %0,08, %20 UK ikameli harç çubuklarının boy uzaması %0,06 olduğu görülmüştür.
- 14 gün ASR etkisinde kalan %15 UK ikameli harçların eğilme dayanımı 7,1 MPa, basınç dayanımı 41. MPa, %20 UK ikameli harçlarının eğilme dayanımı 7 MPa, basınç dayanımı 40 MPa'dır. Burada görüldüğü gibi %15 UK ikamesinin boy uzaması büyük olmasına rağmen dayanımı %20 UK harçlara göre daha yüksektir.
- 14 gün ASR etkisinde kalan SD ikameli harçlarda; en düşük boy uzaması %20 SD ikameli harç çubuklarında %0,04 olarak bulunmuştur. %20 SD ikameli harçların eğilme dayanımı 8,3 MPa basınç dayanımı ise 46 MPa'dır
- Bu veriler ASR için optimum ikame miktarı sadece boy uzamasına göre değil mekanik dayanımlarında göz önüne alınarak saptanması gerektiğini göstermektedir.

Bu sonuçlara göre ASR için optimum oranı UK için %15, SD için ise %20 olmuştur. Ayrıca UK ve SD çimentodaki alkali oranında azalma sağlaması ile birlikte alkali ürünlerinin hapsolmesini sağladığını söyleyebiliriz.

Sonuç olarak reaktif agregaların ASR genişlemesini ve mekanik dayanımlarını, çimento yerine ikame edilen UK ve SD oranı önemli ölçüde etkilemektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ramyar, K., Dönmez, H. Andiç, Ö., Araştırma Raporu, "Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkıları Yardımı İle Kontrol Altına Alınması", **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği**, Çimento Endüstrisi-Üniversite İşbirliği Araştırma Projesi Raporları, Rapor No:9,Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2002.
2. Malvar, L.J., Cline, G.D., Burke, D.F., Rollings, R., Sherman, T.W. and Grene, J., "Alkali-Silica Reaction Mitigation" State-Of-The-Art and Recommendations, **ACI Materials Journal**, Vol. **99**, No. 5, pp.480-489, Sept-Oct, 2002.
3. Neville, A.M., "Properties of Concrete", **John Wiley & Sons Inc.**, New York, U.S.A, 1997.
4. Bagel, L., "Strength and pore structure of ternary blended cement mortars containing blast furnace slag and silica fume", **Cement and Concrete Research**, 28 (7):1011-1022, 1998.
5. Taban, S., Şimşek, O., "Zeolitik Tüf Katkı Oranı ve Deniz Suyunun Çimentonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisi", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 24, No 1, 145-153, 2009.
6. Dongxue, L., Xinhua, F., Xuequan, W. and Mingshu, T., "Durability study of steel slag cement", **Cement and Concrete Research**, 27 (7): 983-987, 1997.
7. Monterio, P.J.M. Wang, K., Sposito G., Dos Santos, M.C., de Andrade W.P., "Influence of Mineral Admixtures on the Alkali-Aggregate Reaction", **Cement and Concrete Research**, Vol.27, No.12, pp. 1989-1909, 1997.
8. Ramlochan, T., Thomas, M.,Gruber K.A., "The Effect of Metakaolin on Alkali-Silica Reaction 'n Concrete", **Cement and Concrete Research**, 30, pp. 1139-1150, 2000.
9. Massazza, F., "Evaluation of cements and cementations systems: history and prospects", **Proceedings of the second international symposium on cement and concrete technology in the 2000s**. Istanbul; p. 3-28, 2000.
10. Cyr, M., Carles-Gibergues, A., Moisson, M., Ringot, E., "mechanism of ASR reduction by reactive aggregate powders", **Advances in Cement Research**, 21, pp 147-158, 2009.
11. Giaccio, G., Zerbino, R., Ponce, J.M., Batic, O.R., "Mechanical behavior of concretes damaged by alkali-silica reaction", **Cement and Concrete Research**, 38: pp. 993-1004, 2008.
12. ASTM C1260-07,. "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-bar method)", **Annual book of ASTM standards**, Philadelphia, USA, 2007.
13. Bektas, F., Turanlı, L., Topal,T., Goncuoğlu. M.C., "Alkali reactivity of mortars containing chert and incorporating moderate-calcium fly ash", **Cement and Concrete Research**, 34,,pp. 2209-2214, 2004.

14. Fernandez-Jimenez, A., Garcia-Lodeiro, I., Palomo, A., “Durability of alkali-activated fly ash cementations materials” **Advances In Geopolymer Science & Technology**, 42: pp. 3055–3065, 2007.
15. Yazıcı, H., Tosun., K., Baradan, B., “Mineral Katkıların Birlikte Kullanımının ASR Genleşmesine Etkisi”, **Çimento ve Beton Dünyası**, 54, say.60-69, 2005.