

PERLİT AGREGASININ PESİMUM REAKTİF AGREGA ORANININ FARKLI YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

H. Süleyman GÖKÇE* ve Osman ŞİMŞEK

* İnşaat Müh., Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye,
İnşaat Müh., Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye,
sgokce@bayburt.edu.tr, simsek@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 09.02.2010; Kabul/Accepted: 24.09.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, perlit agregasının en fazla boy değişimini veren reaktif agrega oranının tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı oranlardaki perlit agregasının reaktif olmayan kireçtaşı agregası ile alkali-silika reaksiyonu (ASR)'na ilişkin özellikleri belirlenmektedir. Perlit, kireçtaşı ve her ikisinin birlikte kullanıldığı örnekler üzerinde ASR'nu belirlemek için ASTM C 1260'a göre hızlandırılmış harç çubuk deneyi, Scanning Electron Microscope (SEM) ve Energy Dispersive X-ray (EDX) ile mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Karışımlar, Ankara Hasanoğlan bölgesinden temin edilen kireçtaşı agregasına Ankara Çubuk bölgesinden temin edilen perlit agregasının ağırlıkça %0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında yer değiştirilmesi ile hazırlanmıştır. 7 ayrı karışım için toplam 21 adet harç çubuğu üretilmiştir. Hızlandırılmış harç çubuk metoduna göre 3, 7, 10, 14, 21 ve 28 günlük boy değişim değerleri ölçülmüştür. En fazla boy değişimi veren örneklerin morfolojisi ve kimyasal kompozisyonu SEM ve EDX ile yapılmıştır. Boy değişiminin artması ile çatlak yoğunluğu ve Ca oranının arttığı gözlenmiştir. 14 günlük boy değişim ortalamalarına göre, içerisinde %40 oranında perlit agregası içeren örnekler en fazla boy değişimine uğramış ve perlit agregasının pesimum reaktif agrega oranı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alkali silika reaksiyonu, pesimum reaktif agrega oranı, hızlandırılmış harç çubuğu metodu, mikro yapı

RESEARCH OF PESIMUM REACTIVE AGGREGATE RATIO OF THE PERLITE AGGREGATE WITH DIFFERENT METHODS

ABSTRACT

In this study, it is purposed to determine of reactive aggregate ratio of the perlite aggregate for given up the highest length change. For this purpose, properties of relate to alkali-silica reaction (ASR) of the perlite aggregate determined with non-reactive limestone aggregate. For the determination of ASR, according to ASTM C 1260 accelerated mortar bar method, for microstructure; Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-ray (EDX) analysis were carried out on the samples which are perlite, limestone and used both of them. Mixtures were prepared by weight at 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 100% ratios with usage of perlite aggregate that obtained from Ankara Çubuk region instead of limestone aggregate that obtained from Ankara Hasanoğlan region. 21 pieces of mortar bars were produced for 7 different mixtures. The length change values of the samples were measured on the 3, 7, 10, 14, 21 and 28-day according to the accelerated mortar bar method. Morphology and chemical composition of highest length changed samples were determined with SEM and EDX. Increase of fracture density and Ca ratio was observed in parallel with the increase of length change. According to average of 14 days length change, 40% perlite aggregated samples underwent highest length change and these samples were determined as pesimum reactive aggregate ratio of the perlite aggregate.

Keywords: Alkali silica reaction, pesimum reactive aggregate ratio, accelerated mortar bar method, micro structure

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alkali agrega reaksiyonu, betonda kullanılan çimentodan veya dış kaynaklardan gelen alkali hidroksitlerle, beton içindeki agregaların içerdiği reaktif bileşenler arasında meydana gelen bir kimyasal reaksiyondur. Günümüzde iki çeşit AAR bilinmektedir. Bunlar alkali-silika reaksiyonu (ASR) ve alkali-karbonat reaksiyonudur (AKR). ASR daha yaygın olarak görülmektedir. Reaksiyonlar sonunda oluşan su emme özelliği olan jel şişerek genişlemektedir. Reaksiyonun bu özelliğinden dolayı beton bünyesinde 0.1-11 MPa'a ulaşan çekme gerilmeleri oluştuğu ileri sürülmektedir [1-3].

Betonda oluşan içsel gerilmeler beton yapısını genişleterek çatlatır. Genleşme ve hasarlar beton içerisinde bulunan ve genişlemeye sebep olan reaktif agreganın miktarına göre değişmektedir. Beton üretiminde kullanılan reaktif olmayan agreganın yerine kullanılan reaktif agreganın miktarının toplam agregada artırılması ile boy değişimi her zaman artış göstermemektedir. Belirli bir reaktif agrega oranında beton daha fazla genişleyebilmektedir. Bu beton üretiminde kullanılan perlit gibi volkanik kökenli reaktif agregaların ASR açısından seyreltilmesi için kireçtaşı gibi reaktif olmayan agregalarla karıştırılmasının daha büyük hasarlara yol açabileceğini göstermektedir.

Bu durum çok fazla alkali-silika reaktivitesi gösteren agregalarda görülen ve literatürde çeşitli teorilerle açıklanan bir durumdur. En çok üzerinde durulan teori ise, tamamı çok fazla reaktiviteye sahip agregadan oluşan karışımda, alkali-silika sonucunda hızla ve çok miktarda oluşan jellerin, harcın gözenekli yapısını tıkaması ve alkali çözeltinin harc içerisinde girişini engellemesidir. Agregası harmanındaki reaktif agrega miktarı azaldıkça tıkanma oluşmamakta ve genişleme hızla devam etmektedir. Sonuç olarak en yüksek genişleme, belirli bir reaktif agrega oranında gerçekleşmektedir [4].

Betondaki en fazla genişlemenin hangi reaktif agrega oranında meydana geldiğini belirlemek için çeşitli reaktif agrega içeriklerinde hızlandırılmış harc çubuğu deneyleri yapılmıştır. ASTM C 1260 standardına uygun olarak gerçekleştirilen hızlandırılmış harc çubuğu deneylerinde en fazla boyca genişleme, reaktif agrega olarak opal yumrusu kullanılan harc çubuklarında meydana gelmiştir. Tüm agrega içinde opal yumrusu %20, çört %40, kalsedon yumrusu %50, andezit %80 ve bazalt %100 oranında bulunduğu, harc çubuklarında en yüksek boyca genişleme meydana gelmektedir [5].

Erzincan Mollaköy perlit agregasının % 5, 15, 25, 50, 100 oranlarında bulunduğu reaktif olmayan kireçtaşı ile karışımlarının ASTM C 1260 göre yapılan 14 günlük ASR genişmelerinde % 15 perlit içeren agrega karışımlarında %100 perlit içeren karışımlara göre 6 kat daha fazla genişleme olduğu tespit edilmiştir [6].

Ankara Çubuk'tan bölgesinden temin edilen ham perlit agregası, pesimum reaktif agrega oranının tespiti için % 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında toplam agrega karışımını oluşturacak şekilde reaktif olmayan kireçtaşı agregası ile birlikte kullanılıp, alkali-silika genişmeleri ASTM C 1260'a göre belirlenmiştir [7]. Bunun yanında SEM ve EDX ile mikro yapısal olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu araştırmada; perlit ve kireçtaşı kırmataş agregaları, çimento olarak CEM I 42,5 R tipi çimento, karışım suyu olarak şebeke suyu ve 25x25x285 mm boyutlarında metal harc çubuk kalıbı, saf su ve 1N NaOH (Sodyum hidroksit) çözeltisi kullanılmıştır.

2.1.1. Agregası (Aggregate)

Perlit agregası kırılmış ve tasnif edilmiş olarak Pertaş Perlit A.Ş.'nin Ankara Çubuk'taki işletmesinden temin edilmiştir [8]. Kireçtaşı (KT) agregası, Ankara Elmadağ Hasanoğlu mevkiindeki ocaktan kırma agrega olarak temin edilmiştir. Agregalara ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Agregaların TS EN 1097-6'ya göre agrega özgül ağırlık ve su emme değerleri belirlenmiştir [9].

2.1.2. Çimento (Cement)

Çalışmada; Tablo 2'de kimyasal özellikleri verilen Set Çimento Ankara tesislerinden temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento TS EN 197-1'e uygun kullanılmıştır [10].

2.2. Metot (Method)

Agregası örnekleri üzerinde, alkali-silika reaksiyonunun belirlenmesi için hızlandırılmış harc çubuğu deneyleri ASTM C-1260'a göre yapılmıştır [7]. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde istatistik analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca gerekli görülen numunelerden SEM görüntüleri ve EDX analizleri alınmıştır.

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

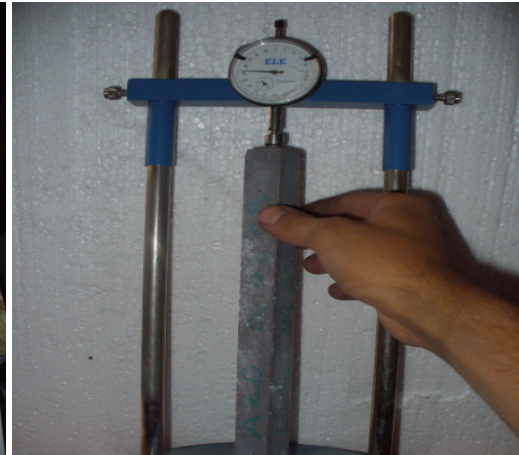
Bileşen, %	SiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Kız. Kaybı	Su emme	Yoğunluk g/cm ³
Perlit	71,36	13,72	3,31	1,58	-	1,24	-	8,23	2,5	1,25	2,301
Kireçtaşı	0,649	0,209	0,032	61,8	0,028	0,001	0,091	0,007	37,73	0,56	2,680

Tablo 2. Çimento kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (Chemical, physical and mechanical properties of cement)

Kimyasal özellikler, %		Fiziksel Özellikleri			
SiO ₂	20,35	Özgül yüzey, cm ² /g	3350		
Al ₂ O ₃	5,98	Genleşme, mm	2,0		
Fe ₂ O ₃	3,06	Su ihtiyacı, %	27,2		
CaO	63,35	Priz baş., dk.	106		
MgO	1,89	Priz sonu, dk.	189		
SO ₃	2,89	Özgül ağırlık, g/cm ³	3,1		
Na ₂ O	0,58	Mekanik Özellikleri MPa	Gün	Basınç	Eğilme
K ₂ O	0,88		7	39,8	7,3
Kız. Kaybı	0,50		28	51,9	10,1

Tablo 3. Harç çubuklarının agregası karışım miktarları, g (Aggregate mixing amounts of mortar bars, g)

Karışım	Elek Serisi, mm									
	2,36-4,75		1,18-2,36		0,600-1,18		0,300-0,600		0,150-0,300	
	%10	KT	%25	KT	%25	KT	%25	KT	%15	KT
P100	87	-	218	-	218	-	218	-	131	-
P50	44	50	107	125	107	125	107	125	66	75
P40	35	60	87	150	87	150	87	150	52	90
P30	26	70	65	175	65	175	65	175	39	105
P20	17	80	44	200	44	200	44	200	26	120
P10	9	90	22	225	22	225	22	225	13	135
P0	-	100	-	250	-	250	-	250	-	150

**Resim 1.** ASR tankı ve komparatör (ASR tank and comparatory)

2.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması (Preparation of experimental samples)

Kırmatas harç çubukları ASTM C-1260'da belirtilen esaslara uygun olarak 25x25x285 mm boyutlarında harç çubukları hazırlanmıştır. Harç çubuklarının üretilmesinde standartta belirtilen eleklerden elenen agregalar Tablo 3'de verilen karışım miktarları ağırlık (g) olarak kullanılmıştır [7]. Bütün karışımlarda s/ç oranı 0,47, çimento 444g, su ise 209 ml sabit olarak alınmıştır.

Normal agregası sınıfına giren kireçtaşı ile hazırlanan harç karışımlarının hesaplanması için bir değişiklik yapılmazken, hafif perlit agregası harç karışımlarının agregası miktarının hesaplanması ASTM C-1260'a göre aşağıdaki eşitlikte verildiği gibi değişiklik yapılmıştır [7].

$$Agregası oranı = 2,25xD/2,65$$

D: agregası yoğunluğu, g/cm³

Her bir karışımda 3 adet olmak üzere toplam 21 adet harç çubuğu üretilmiştir. Harç çubuklarının üretiminde, 25x25x285 mm boyutlarında, metal kalıplar kullanılmıştır. 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. Daha sonra 24 saat süre ile 80 °C' deki saf su içerisinde bekletilmiştir. Bu süre sonunda örnekler 80 °C' de bulunan 1 N NaOH çözeltisine ASR tankı içerisine daldırılmıştır. Bu tank içerisinde 3, 7, 10, 14, 21 ve 28. günlerde boy değişimleri komparatör ile ölçülmüştür. Resim 1' de örneklerin bekletildiği çözelti tankı ve örneklerinin boy ölçümlerinin yapıldığı komparatör verilmiştir.

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

Hızlandırılmış deney yöntemi ile alkali-silika reaktivitesi tayini ASTM C 1260 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Birim boy değişim yüzdeleri belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır [7].

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

Eşitlikte;

%L: Boy değişim yüzdesi

ΔL : Örneğin boy değişimi (mm)

L: Örneğin ilk uzunluğu (mm)

ASTM C 1260'a göre boy değişimindeki verilerin değerlendirilmesine ilişkin sınır değerler Tablo 4'de verilmiştir.

2.2.3. SEM görüntüleri ve EDX analizlerinin alınması (Take of SEM images and EDX analysis)

28 gün sonunda harç çubuklarından alınan kesitler üzerinde mikro-yapısal analizleri için X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı JSM 5600 marka elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

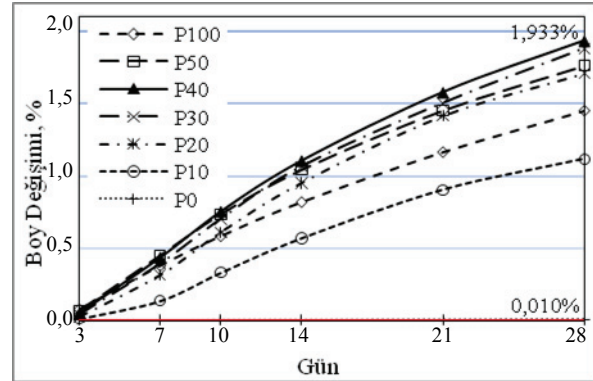
Hızlandırılmış harç çubuğu metodu ile ASR' yi belirlemek için alınan örneklerin 3, 7, 10, 14, 21, 28 günlük ortalama boy değişimleri Tablo 5' de % olarak verilmiştir. Ayrıca standart sapma, minimum ve maksimum boy değişimleri % olarak verilmiştir.

Ölçülen genleşme değerleri zamanın bir fonksiyonu olarak Şekil 1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere bütün karışımlarda genleşme değerleri zamanın bir fonksiyonu olarak artış göstermiştir. P40 karışımı en yüksek genleşme değerlerini vermiştir.

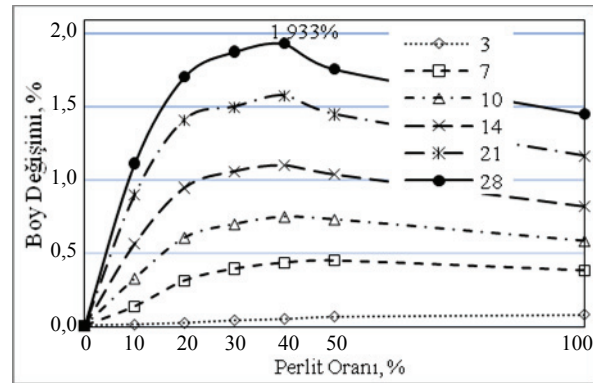
Genleşme değerleri, toplam agregası karışımında perlit oranının bir fonksiyonu olarak Şekil 2' de verilmiştir. Bu şekilde 3 günlük değerlerde P100 karışımının en yüksek boy değişimini verdiği, 7 günlük değerlerde P50 karışımının en yüksek boy değişimini verdiği ve diğer bütün karışımlarda P40 karışımı en yüksek boy değişimlerini verdiği görülmektedir.

Harç çubuğu örneklerinin 3, 7, 10, 14, 21 ve 28

günlük boy değişimlerinde zamana bağlı olarak önemli farklar görülmüştür. Harç çubuklarının 14 günlük boy değişimlerinde sadece perlitlen oluşan P100 örneklerine göre P50 örnekleri yaklaşık %27, P40 örnekleri %34, P30 örnekleri %29 ve P20 örnekleri ise %16 fazla genişlemiştir. P10 örnekleri % 31 ve tamamen reaktif olmayan kireçtaşından oluşan P0 örnekleri % 99 daha az genişlemiştir.



Şekil 1. Harç çubuklarının zaman bağlı boy değişimleri (The change length of mortar bars according to the time)



Şekil 2. Harç çubuklarının perlit oranına bağlı olarak boy değişimleri (The change length of mortar bars according to the perlitte ratio)

İçerisinde perlit agregası bulunan harç çubuğu örneklerinin 14 günlük boy uzama değerlerinin ASTM C-1260 "Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)" standardında belirtilen "Genleşme Sınırını, (% 0,1)" aşdığı görülmektedir.

Ankara Çubuk perlit agregasının yüksek alkali-silika reaktivitesi yüzünden, agreganın mineral katkıları ile birlikte kullanılmasının, betonda muhtemel bir alkali silika reaksiyonunun engellenmesi açısından önemlidir [11-13].

Tablo 4. Hızlandırılmış harç çubuk metodu (ASTM C -1260) sınır değerleri (The limit values of accelerated mortar bar 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 5. Harç çubuklarının boy değişim değerleri (The length change values of mortar bar)

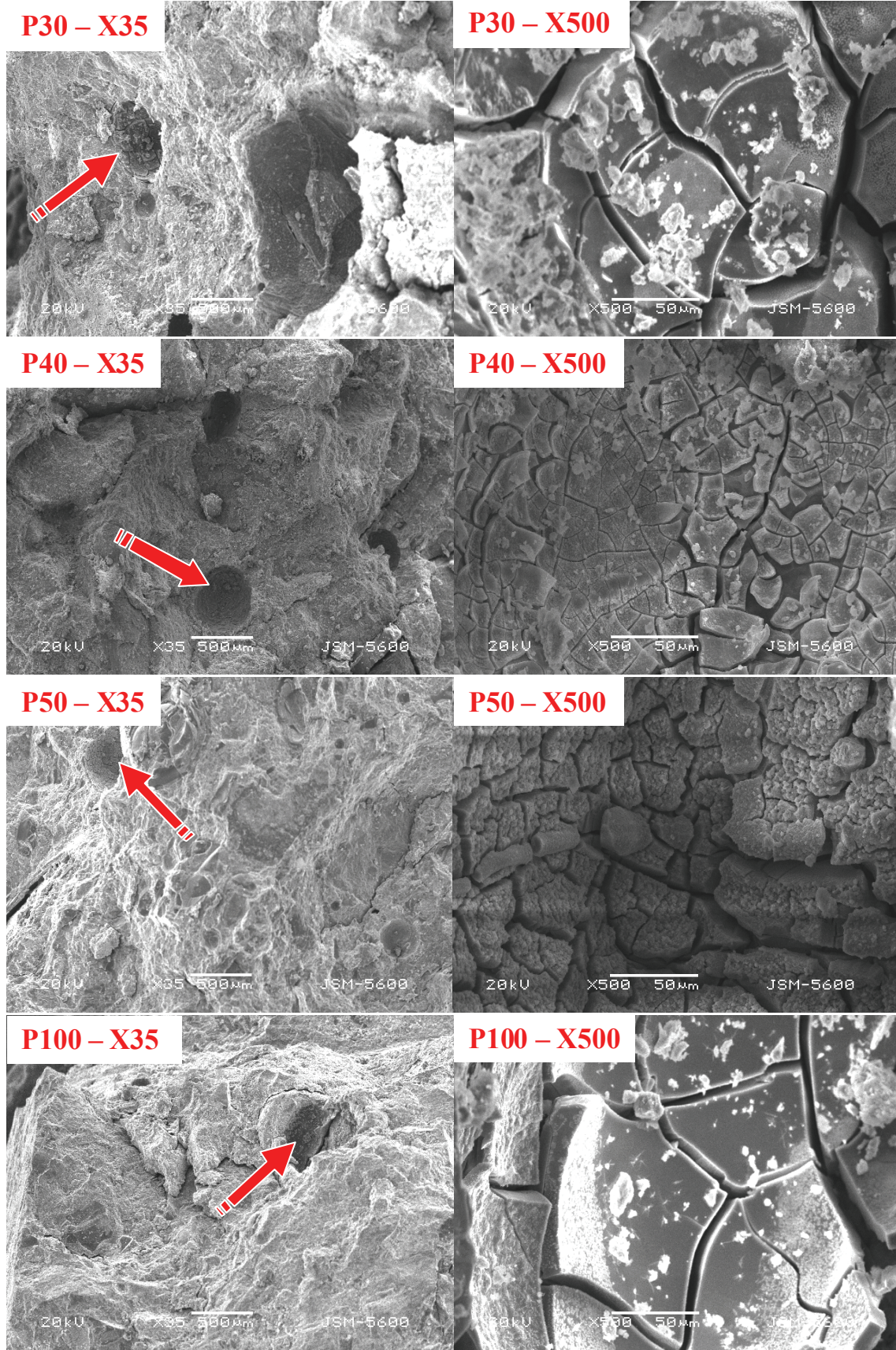
Karışım	Deney süreleri (gün)	Örnek sayısı (adet)	Art. ort.	Standart sapma	Min.	Maks.
P100	3	3	0,0841	0,000085	0,0761	0,0930
	7	3	0,3843	0,000243	0,3611	0,4095
	10	3	0,5882	0,000347	0,5554	0,6246
	14	3	0,8227	0,000474	0,7793	0,8733
	21	3	1,1671	0,000643	1,1077	1,2354
P50	28	3	1,4526	0,000756	1,3825	1,5326
	3	3	0,0706	0,000032	0,0670	0,0730
	7	3	0,4515	0,000073	0,4456	0,4596
	10	3	0,7351	0,000134	0,7270	0,7505
	14	3	1,0418	0,000241	1,0239	1,0691
P40	21	3	1,4508	0,000346	1,4242	1,4898
	28	3	1,7604	0,000440	1,7305	1,8109
	3	3	0,0538	0,000039	0,0509	0,0582
	7	3	0,4375	0,000240	0,4105	0,4565
	10	3	0,7544	0,000395	0,7088	0,7789
P30	14	3	1,1048	0,000537	1,0428	1,1379
	21	3	1,5780	0,000612	1,5077	1,6193
	28	3	1,9332	0,000717	1,8519	1,9874
	3	3	0,0446	0,000020	0,0432	0,0460
	7	3	0,3961	0,000074	0,3909	0,4014
P20	10	3	0,7035	0,000223	0,6877	0,7193
	14	3	1,0646	0,000427	1,0344	1,0947
	21	3	1,5021	0,001231	1,4151	1,5891
	28	3	1,8786	0,000516	1,8421	1,9151
	3	3	0,0256	0,000014	0,0246	0,0266
P10	7	3	0,3151	0,000031	0,3130	0,3172
	10	3	0,6112	0,000045	0,6082	0,6142
	14	3	0,9526	0,000084	0,9463	0,9589
	21	3	1,4151	0,000104	1,4073	1,4229
	28	3	1,7088	0,000163	1,6966	1,7210
P0	3	3	0,0137	0,000000	0,0137	0,0137
	7	3	0,1382	0,000020	0,1368	0,1396
	10	3	0,3316	0,000025	0,3298	0,3333
	14	3	0,5691	0,000030	0,5670	0,5712
	21	3	0,9039	0,000104	0,8965	0,9112
P0	28	3	1,1165	0,000079	1,1109	1,1221
	3	3	0,0063	0,000005	0,0060	0,0067
	7	3	0,0081	0,000007	0,0061	0,0069
	10	3	0,0070	0,000000	0,0070	0,0070
	14	3	0,0070	0,000000	0,0070	0,0070
P0	21	3	0,0074	0,000005	0,0071	0,0077
	28	3	0,0091	0,000000	0,0091	0,0091

Aynı zamanda en çok boy değişimi gösteren P30, P40, P50 ve P100 örneklerinden SEM altında alınan 35 ve 500 kat büyütülmüş görüntüleri Resim 2’de verilmiştir.

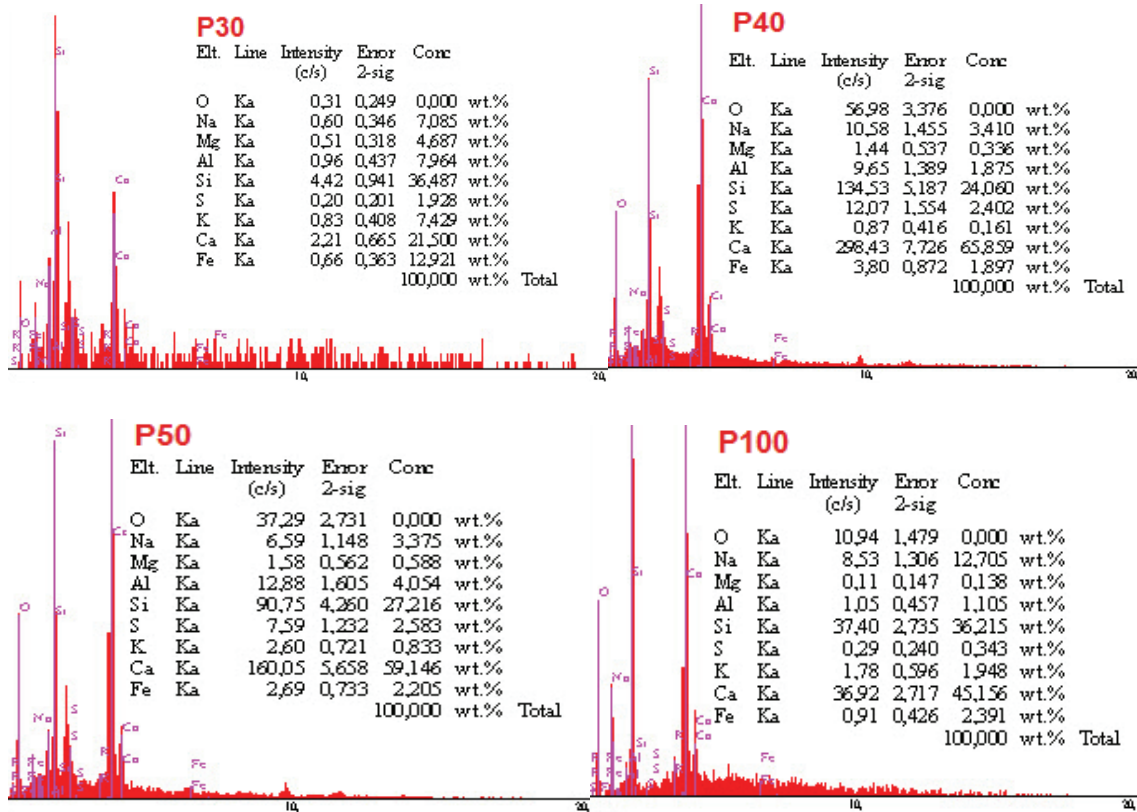
35 büyütme altında görülen çukurlar ASR’den kaynaklı çukurlardır. Resim 2’de 35 büyütmede ok ile işaretlenen çukurlara 500 büyütme ile bakılıp çatlak yapısı incelendiğinde, en fazla boy değişimini veren P40 örneğinde çatlaklarının genişliği daha az olduğu ama çatlak yoğunluğunun diğerlerine göre fazla olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu çukurlarda 35 büyütmede alınan EDX sonuçları Analiz 1’de verilmiştir.

Bu elde edilen EDX analizlerinden kimyasal kompozisyonlara bakıldığında pesimum karışım olan P40 örneğinin Ca miktarı % 65,9 bulunmuştur. Bu P30, P50 ve P100 örneklerinde elde edilen Ca miktarından daha fazladır. EDX sonuçları değerlendirildiğinde Ca miktarı artıkça genleşmenin arttığı söylenebilir.

Yapılan bir çalışmada harç çubuklarının ASR çatlaklarının yoğun olduğu bölgelerde Ca, çatlakların olmadığı bölgelerde Si oranı yüksek çıkmıştır [14]. Bu çalışmadaki EDX sonuçları bunu destekler nitelikte çıkmıştır.



Resim 2. 35 ve 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri (The SEM images of 35 and 500 times enlarged)



Analiz 1. 35 büyütmedeki EDX analizleri (The EDX analysis of 35 times enlarged)

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

PERTAŞ A.Ş.' den temin edilen Ankara Çubuk civarının kırma ham perlit agregasının, Ankara Hasanoğlan taş ocağından elde edilen reaktif olmayan kırma kireçtaşı agregası ile belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen ASR sonuçları şu şekilde yorumlanabilir:

İçerisinde perlit bulunan karışımların hepsinin ASTM C 1260' da verilen 14 günlük sınır değerlere göre çok yüksek derecede reaktiviteye sahip olduğu anlaşılmıştır.

Perlit agregası belirli oranlarda kireçtaşı ile karıştırılması ile en fazla genişmeyi %60'ı kireç taşı %40'ı perlit olan P40 karışımı vermiştir. Bu oran perlit agregasının pesimum reaktif agrega oranı olarak belirlenmiş ve perlit agregasının 14 günlük gerçek reaktivitesi bu karışımda elde edilen % 1,105 boy değişimi kabul edilmiştir. 28 gün sonunda perlit agregasının % 2 gibi yüksek bir boy değişimi verebileceği gözükmektedir.

Perlitin boy değişimiyle doğrusal ilişkili olarak, SEM altında görüldüğü üzere çatlak yapısındaki kırılma yoğunluğu artmıştır. Elde edilen bu artışla EDX sonuçlarındaki Ca miktarındaki artış benzerlik göstermektedir.

Perlit kırmataş örneklerinin temsil ettiği bölge kayaçlarından elde edilecek kırmataşların ASR açısından zararlı olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Struble, L.J., Diamond, S. "Swelling Properties of Synthetic Alkali-Silica Gel", **Journal of the American Ceramic Society**, 64(11); 611-655 1981.
2. Swamy, R.N., "The Alkali-Silica Reaction in Concrete", **Thomson Litho Ltd.**, Scotland, UK, 1990.
3. Ramachandran, V.S., "Concrete Admixture Handbook", Science and Technology, Second Edition, USA, 1995.
4. Bektaş, F., Turanlı, L., Topal, T., Göncüoğlu, M.C., "Alkali Reactivity of Mortars Containing Chert and Incorporating Moderate-Calcium Fly Ash", **Cement and Concrete Research**, 34, 2209-2214, 2004.
5. Binal, A., "Pesimum Reaktif Agregası İçeriğinin Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkisinin Deneysel Yöntemlerle Araştırılması", **İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi**, 17(2); 119-128, 2004.
6. 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.

7. 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, Philadelphia, PA, USA, **American Society for Testing and Materials**, 2007.
8. Gökçe, H.S., Durmuş, G. ve Şimşek, O., "Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Su/Çimento Üzerindeki Etkileri", **Politeknik Dergisi**, 13(1); 55-63, 2010.
9. 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.
10. TS EN 197-1, "Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2002.
11. Gökçe, H.S., Taban, S., Şimşek, O., "Zeolitik Tüf İkamesinin Farklı Agregalar Üzerinde Alkali-Silika Reaksiyonu Etkilerinin Belirlenmesi", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 25(4), 803-809, 2010.
12. Bektaş, F., Turanlı, L., Monterio, P.J.M., "Use of Perlite Powder to Suppress the Alkali-Silica Reaction", **Cement and Concrete Research**, 35, 2014-2017, 2005.
13. Gökçe, H.S., Cemalgil, S. "Alkali-Silika Reaksiyonunun Kontrol Altına Alınmasında Endüstriyel Atıkların ve Doğal Kaynakların Değerlendirilmesi", **Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)**, Ankara, Türkiye, 30-34, 2010.
14. Demir, İ., "Alkali-Silika Reaksiyonu Etkisinde Kalan Aynı Oranlardaki Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Harçların Mekanik Özellikleri" **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 25(4), 749-758, 2010.