

Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe Civarı Kırmataşlarının Alkali Silika Reaksiyonu Açısından İncelenmesi

Metin ARSLAN , Saniye TABAN

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe civarına ait kayalardan üretilen kırmataşların alkali-silika reaksiyonuna ilişkin özelliklerini belirlemektir. Kırmataş örnekleri üzerinde alkali-silika reaksiyonunu belirlemek için kimyasal analiz ve hızlandırılmış harç çubuk deneyleri yapılmıştır. Verilerin istatistik analizleri yapılarak bulgular standart değerlerle karşılaştırılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları ilgili standarda göre zararsız bölgede yer almıştır. Hızlandırılmış harç çubuk deneyinden elde edilen 14 ve 28 günlük boy değişim değerlerinin, alkali-silika reaksiyonu için standartta öngörülen % 0.1 ve % 0.2 genişleme sınırının altında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, araştırma bölgesinden elde edilecek kırmataşların alkali-silika reaksiyonu açısından zararsız olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alkali silika reaksiyonu, kırmataş, harç çubuğu

Investigation of Crushed Stones Around Çetinkalesi Hill In Ermenek Region According to Alkali Silica Reaction

ABSTRACT

The goal of this study is to determine the characteristics of crushed stones that are produced from rocks belonging to Çetinkalesi Hill in Ermenek Region. Chemical analyses and accelerated mortar bar experiments are carried out on crushed stones samples in order to determine alkali-silica reaction. By applying statistical analyses on dates, they are compared with standard values. The results of chemical analyse are found in the harmless range of concerned standards. By using mortar bar experiments, 14 and 28 days expansion variation values are measured. It is recognised that the values are below the limits 0.1 % and 0.2 % of the standard required for alkali-silica reaction. In conclusion, it is shown that the crushed aggregates found are harmless and reliable with respect to alkali-silica reaction.

Key words: Alkali silica reaction, aggregate, mortar bar

1. GİRİŞ

Betonarme veya beton yapı elemanlarının zamanla bozulup işlevlerini beklenen servis ömürlerine ulaşmadan yitirmelerine birçok faktör sebep olabilir. Bu faktörler arasında beton bileşimini oluşturan malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanan iç etkiler ve çevreden kaynaklanan dış etkiler önemli yere sahiptir. Beton bileşimini oluşturan malzemelerin kendi aralarında veya çevreden gelen bazı zararlı maddelerle kimyasal reaksiyonlara girebildiği, böylece beton hacim sabitliğinin bozulması nedeniyle yapı elemanının zarar gördüğü bilinmektedir (1).

Betonarme yapılarda mekanik etkiler dışında bozulma süreçlerine etki eden önemli faktörlerden birisi, ortamda su veya nemin bulunmasıdır. Su zararlı maddeleri betonun içine taşır ve aynı zamanda kimyasal

reaksiyonların başlamasına, ilerlemesine neden olur. Örneğin boşluk çözeltisindeki OH⁻ iyonları, agregalardaki aktif silika ile reaksiyona girerek jel oluşturur. Bu jelin hacmi bünyesine su aldıkça arttığından, suyla temas eden elemanlarda reaksiyon daha belirgin hale gelmektedir (2).

Alkali - agregat reaksiyonu, betondaki agreganın çeşitli bileşenlerinin çimento alkalileri ile reaksiyona girmesi olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde iki çeşit alkali-agrega reaksiyonu (AAR) bilinmektedir. Bunlar alkali-silika reaksiyonu (ASR) ve alkali-karbonat (AKR) reaksiyonudur. Alkali-silika reaksiyonu daha yaygın olarak görülmektedir. Reaksiyonlar sonunda oluşan su emme özelliği olan jel şişerek genişlemektedir. Reaksiyonun bu özelliğinden dolayı beton bünyesinde 0,1-11 MPa'ya ulaşan çekme gerilmeleri oluştuğu ileri sürülmektedir (3,4).

1920'li ve 1930'lu yıllarda ABD'de, Kaliforniya'daki beton yapılarda nedeni belirlenemeyen çatlak oluşumlarına bağlı yıkımlar rapor edilmiştir. Bu raporlarda beton malzeme standartlara uygun olmasına

Makale 16.10.2008 tarihinde gelmiş 17.07.2009 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.
M. ARSLAN , S. TABAN, Gazi Ünivresitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü
e-posta : marslan@gazi.edu.tr, saniyetablean@mynet.com
Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.3. 185-193

rağmen, yapım yılından birkaç yıl sonra çatlaklar oluştuğu açıklanmıştır. Genellikle harita çatlağı şeklinde görülen çatlaklarda jel çıkışı ve patlamalar görülmüştür. Stanton, 1940 yılında bu tür çatlakların (daha sonra alkali-silika reaksiyonu olarak adlandırılan) kimyasal bir reaksiyonun sonucu olduğunu açıklamıştır (5).

Alkali-silika reaksiyonu, çimento içerisindeki sodyum ve potasyum gibi alkali metaller ile aktif silis bileşenleri içeren agregalar arasındaki kimyasal bir reaksiyondur. Silikanın en fazla reaktif formları opal, kalsedon ve tridimittir. Bu reaktif malzemeler; opalin veya kalsedonik çörtler, silisli kireçtaşı, riyolit, riyolitik tuf, dasit, dasit-tuf, andesit, andezit-tuf ve fillit içerisinde görülür (6).

Bazı çimentoların içinde fazla miktarda bulunan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler beton gözenek suyunda çözülerek sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) oluştururlar ve aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerek, zamanla betonu çatlatan bir jel oluşumuna sebep olurlar (7). ASR'nin oluşturduğu reaksiyon ürünleri aşırı derecede su emme özelliği olan ürünlerdir. Su emme özelliği olan bu ürünler, suyu emdikçe şişip betonda içsel çekme gerilmeleri oluşturarak betonun genişmesine ve agregaya ile onu çevreleyen çimento pastasının çatlamasına neden olurlar (8). Bazı durumlarda betondaki hacimce genişleme miktarı %2-3 oranına kadar ulaşır. ASR de diğer alkali-agrega reaksiyonları gibi birçok faktörün etkisi altındadır. ASR diğer reaksiyonlar gibi yavaş ilerleyen bir reaksiyon olduğu için, genişleme nedeniyle betonun iç yapısında oluşan hasar (çatlak) birkaç yıl sonra görünür hale gelmektedir (9). ASR'nin betonda meydana getirdiği çatlakların yüzeye yansması harita şekilli çatlaklar biçimindedir (10).

ASR ile ilgili silisin reaksiyon potansiyeli, oluşumlarının tanımlanması ve belirlenmesi karmaşık ve zor bir işlemdir. Silisli bileşenlerin yapısı ve dokusu genellikle amorf, kriptokristalli, mikrokristalli ve kristalli olarak tanımlanır. Silika mineralleri büyük oranda normal hava sıcaklığında kararlı olmayan polimorfik oluşumlara sahiptir. Bileşiminde silika bulunan ve en yaygın olan mineraller kuvars, tridimit, kristobalit, opal ve kalsedon gruplarıdır (11). Değişik silis minerallerinin reaktiviteleri kristal yapıdaki silika miktarına bağlıdır. Opal düzensiz kristal yapısına sahiptir ve en yüksek reaktiviteye sahip silika içerir. Diğer taraftan doğal halde (dengede) bulunan kuvars, çok düzenli bir kristal yapısına sahiptir ve normal olarak reaktif değildir. Camlar, mikrokristalli ve kriptokristalli kuvarlar, deforme olmuş kuvarlar, kalsedon, tridimit, kristobalit gibi diğer silika oluşumları orta derecede reaktivite gösterirler (12).

X-ray analizi, elektron mikroskobu ve diğer cihazların kullanımıyla desteklenen, petrografik incelemeler ve ince kesit çalışmaları, agregaya minerallerinin belirlenmesinde yeterli bilgi sağlayabilir. Agreganın porozitesi, tane boyu dağılımı, beton içinde

reaktif parçacık miktarı ve çevre koşulları alkali-agrega reaksiyonu sonucu ortaya çıkan genişlemeler üzerinde önemli etkiye sahiptir (13,14).

Laboratuvar koşullarında 20 °C'de zeolitizasyon olmuş perlit içeren harcın alkali-silika reaksiyonu genişmesi uzun süreli ve etkili bir şekilde LiOH ile yavaşlatılabilir. Bu etki Li/(Na+K) molar oranının artmasıyla daha da artar. Harç dayanımı LiOH eklendiğinde azalmaktadır. Alkali-silika reaksiyonu hızını azaltmak için lityum bileşenleri ilavesinin etkili olduğu görülmüştür (15).

Alkali-silika reaksiyonunu önlemede diğer mekanik yaklaşım ise mikrofiber çeliklerin etkisinin araştırılmasıdır. Alkali-silika reaksiyonu üzerine mikrofiber çeliklerin etkisi sabit çapta payrex çubuk, kırılmış opal ve iki çeşit reaktif agregaya kullanılarak incelenmiştir. Mikrofiber çelik ile desteklenmiş harçlardaki çatlaklar, mikrofiber çelik ile desteklenmemiş harçlara göre daha azdır (16).

Beton dayanıklılığı üzerine yapılan laboratuvar çalışmalarında, portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu kül üçlü karışımı içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre, alkali-silika reaktivitesi kontrolünde yüksek CaO uçucu külün genellikle daha az etkili olduğu, ASR yüzünden oluşan genişlemeyi uçucu kül ile kontrol etmek için % 60 seviyesine kadar ikame ihtiyacı doğduğu fakat nispeten küçük seviyelerde silis dumanı (%3-%6) ve orta seviyede yüksek CaO uçucu kül (%20-%30) ASR yüzünden oluşan genişlemeyi azaltmada daha etkili olduğu açıklanmaktadır (17).

Çimento ve beton sistemlerine doğal puzolanların ilave edilmesi betonun işlenebilirlik, geçirimsizlik, geç yaşlardaki dayanım gibi özelliklerini geliştirmekte, alkali-agrega reaksiyonu ve sülfat etkisinden kaynaklı dış etmenlere karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. Doğal zeolit katkısı içeren betonlar üzerinde yapılan çalışmalar da, betonun basınç dayanımının arttığını ve alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu genişlemelerin önlendiği tespit edilmiştir (18).

Amerika'da yapılan bir laboratuvar çalışmasında, klorid penetrasyonuna karşı direnç sağlamak ve ASR yüzünden oluşan genişmeleri azaltmak için yüksek reaktivite metakaolin içeren betonun uzun süreli performansı değerlendirilmiştir. Reaktif agregaya içeren beton prizmalar üzerindeki genişleme testleri %15 yüksek reaktivite metakaolin ile çimento ikamesi, ASR yüzünden oluşan zararlı genişmeleri önleyebileceğini göstermektedir (19).

2. MATERYAL VE METOT

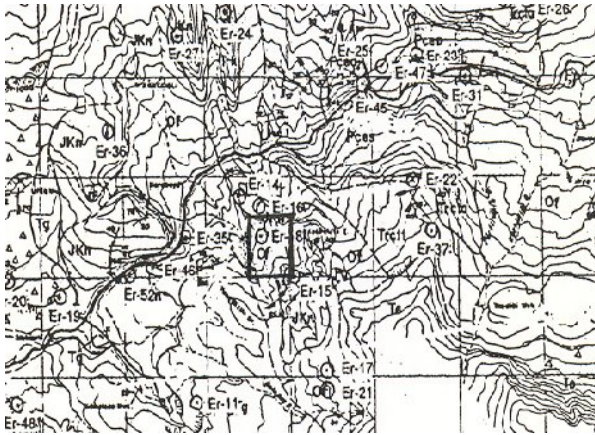
2.1. Materyal

Bu çalışmada; kırmataş, çimento ve karışım suyu kullanılmıştır.

2.1.1. Kırmataş

Kırmataşlar Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe civarına ait kaya örneklerinden elde edilmiştir. Şekil

1’de verilen 1/5.000 ölçekli topografik haritada ‘Of’ simgesi ile çalışma alanı görülmektedir.



□ Çalışma alanı Ölçek 1/5.000

Şekil 1. Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe ve Sazak Deresi Bölgesi Topografik Haritası (20)

Kırmataş örnekleri (Şekil 2’de yer bulduru haritası verilen) kırmataş yığınını temsil edecek şekilde “TS 707; Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi” nde belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanmıştır (21).



Şekil 2. Ermenek Havzası (Ermenek Barajı) yer bulduru (22)

Ermenek havzasının jeolojisi Şekil 3’de görüldüğü gibi genel tektonik ve stratigrafik yapısı iki ana birim altında gruplanmıştır. Bu gruplar Bolkar Dağı ve Bozkır Birliğidir. Bolkar Dağı Birliği; fliş sedimanlarından (kumtaşı ve şeyl ardalanması), Bozkır Birliği ise; Triyas sedimanları, ince tabakalı kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşmaktadır (23).

İSİMLER	SİSTEM	ALT SİSTEM	FORMASYON	KAYITURU	AÇIKLAMALAR	
SENOZOİK	TERS YER	GUATERNER	ALJAZON	[Symbol]	Kuvaterner alüvyon alanı ve peze çökeli. AĞSAL UYUSUZLUK	
			KITASAL HEDJER	[Symbol]	İps. şeyl, kumtaşı ve kili kireçtaşı	
		EGSEN	DÜZCECENELT İNHOZUÇU	HOZLOMEREA	[Symbol]	Büyük çöl, marn kumtaşı ve kili kireçtaşı. Çapraz tabakalı kumtaşı. Taban konglomera AĞSAL UYUSUZLUK
				KIRIK İLİMİS İHH İYESI	[Symbol]	Kumtaşı içinde Eol var grubu kumtaşı kireçtaşı olistolitleri.
				ŞAN-TEPE İYİSİ	[Symbol]	Kırmızı ve yeşil çapraz tabakalı kumtaşı olistolitleri.
				FATRA İYİSİ	[Symbol]	Kırmızı ve yeşil çapraz tabakalı kumtaşı olistolitleri.
				ÖZÜS ÖTESİ	[Symbol]	Konglomeralı kireçtaşı, şimal olarak konglomera yağı çöpleri.
				BÖŞMEKÇİ ÖTESİ	[Symbol]	Pestel kireçtaşı gel stiyi.
				İLİMİS İYİSİ	[Symbol]	Bendilik erandülük volka filler, şimalinde ve güneyinde baklanı ile birlikte şeyl ve kumtaşı ile erandülük dağları ile birlikte yerleşmiştir.
				İLİMİS İYİSİ	[Symbol]	Büyük pelagik kireçtaşı ve şeyl ile birlikte şimalinde ve güneyinde erandülük çöpleri.
MESOZOİK	KREYSE	ÜST KREYSE	DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
			DEDE İYİSİ	[Symbol]	Avak, şimal tabakalı, şimalde kumtaşı ve şeyl. AĞSAL UYUSUZLUK	
PALEOZÖİK	TİRYAS-İLİMİS	FOLKAR DAĞI	FOLKAR DAĞI	[Symbol]	Ölçüsel kumtaşı kireçtaşı.	

Şekil 3. Ermenek Havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti(23)

Ermenek Havzasından alınan kaya örnekleri üzerinde ince kesit alınması yöntemi ile petrografik incelemeler yapılmıştır. Kayaç incekesiti polarizan mikroskopla incelenerek, içerdiği mineral yapısı hakkında bilgi edinilmiş ve kayacın türü belirlenmiştir. Petrografik incelemeler sonucunda, kaya örneği tane boyunun 0.14-0.68 mm arasında değişen kısmen yuvarlaklaşmış taneler halinde kuvars, daha az miktarda çört, feldispat ve eser miktarda mika, kloritten ibaret olduğu görülmüştür. Kripto ve mikrokristalin kalsit ile bağlanmıştır. Kayacın ‘Kalsit Çimentolu Kumtaşı’ olduğu belirlenmiştir.

2.1.2. Çimento

Çalışmada; Tablo 1’de kimyasal özellikleri verilen Set Çimento Güvercinlik Ankara tesislerinden temin edilen CEM I PÇ 42,5R çimentosu (TS EN 197-1’e uygun) kullanılmıştır

Tablo 1. Çimento kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (24)

Kimyasal özellikler	(%)	TS EN 197-1 sınırları (%)	Fiziksel özellikler	Özellikler	TS EN 197-1 sınırları
Silisyum oksit (SiO ₂)	20,35		Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,10	
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	5,98		Özgül yüzey (cm ² /g)	3200	En az 2800
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3,06		Hacim genişmesi (mm)	3	En çok 10
Kalsiyum oksit (CaO)	63,35		Priz Başlangıcı (dak)	200	En az 60
Magnezyum oksit (MgO)	1,89	En çok 5,0	Priz sonu (dak)	310	En çok 600
Sodyum oksit (Na ₂ O)	0,58		Mekanik özellikler	Özellikler	TS EN 197-1 sınırları
Potasyum oksit (K ₂ O)	0,88		Basınç dayanımı 2 günlük	22,9	En az 20
SO ₃	2,89	En çok 3,5	Basınç dayanımı 7 günlük	47,2	En az 31,5
Kızdırma kaybı	0,50	En çok 4,0	Basınç dayanımı 28 günlük	57,0	En az 42,5
Çözünmeyen kalıntı	0,52	En çok 1,0			

2.2. Metot

Agrega örnekleri üzerinde, alkali-silika reaksiyonunu belirlemek için kimyasal analiz (ASTM C-289 ve TS 2517) ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri (ASTM C-1260-94) yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde istatistik analizler gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması

Kimyasal analiz örnekleri ASTM C-289 ve TS 2517 standartlarında belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanmıştır. 50 ve 100 nolu elekler arasında kalan malzemeden “çeyrekleme yöntemi” kullanılarak alınan örnek akar saf su altında yıkanarak toz ve ince parçalardan arınması sağlanmıştır. Yıkanan malzeme 24 saat süreyle 105 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur.

Kırma taş harç çubukları (ASTM C-227) ve (ASTM C-1260)’da belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanmıştır. Harç karışımları için 8-16-30-50 ve 100 no’lu eleklerden elenen agregalar Tablo 2’de verilen karışım miktarlarında kullanılmıştır (25, 26).



Resim 1. Harç çubukları

Tablo 2. Harç çubukları malzeme karışım miktarları (25, 26)

Malzeme Türü	Elek Serisi					S/Ç	Su (ml)	Çimento (gr)
	No:8	No:16	No:30	No:50	No:100			
	%10	%25	%25	%25	%15			
Kırma taş agregası	100 gr	250 gr	250 gr	250 gr	150 gr	0,5	222	444

Ermek Havzası Çetinkalesi Tepe civarından alınan kaya örneklerinden elde edilen kırma taşlar üzerine uygulanan hızlandırılmış harç çubuğu deneyi için toplam 15 adet harç çubuğu Resim 1’de görüldüğü gibi üretilmiştir. Harç çubuklarının üretiminde, 25x25x285 mm boyutlarında, plastik kalıplar kullanılmıştır. Kalıplara yerleştirilen harç şişlenerek sıkıştırılmıştır. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında 23 ± 1,7 °C’ de 24 saat bekletilmiştir

2.2.2. Kimyasal metotla alkali-silika reaksiyonu tayini

2.2.2.1. Çözünmüş silisin tayini “Kolorimetrik metot”

ASTM C-289 “Standart test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)” ve TS 2517 “Alkali agregata reaktivitesinin kimyasal yolla tayini” standartlarına göre; çözünen silis konsantrasyonu (2.1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır;

$$S_c = \left(20 \times \frac{100}{V} \right) \times C \quad (2.1)$$

Eşitlikte;

S_c : Orijinal süzüntüdeki silis konsantrasyonu (mmol/litre),

V : 200 ml.'lik çözeltilerden çekilen örnek hacmi (ml),

C : Kolorimetrede ölçülen çözeltilerin silis

konsantrasyonu (mmol/litre)

olarak gösterilmektedir (27, 28).

2.2.2.2. Alkali azalmasının tayini "Titrasyon metodu"

Alkali azalması (2.2) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır;

$$R_c = \frac{20N}{V_1} (V_3 - V_2) \times 1000 \quad (2.2)$$

Eşitlikte;

R_c : Alkali azalması (mmol/litre),

N : Hidroklorik asidin normalitesi,

V_1 : 200 ml.'lik çözeltilerden çekilen örnek hacmi (ml),

V_2 : Örnek için sarf edilen hidroklorik asit hacmi (ml),

V_3 : Tanık örnek için sarf edilen hidroklorik asit hacmi (ml),

olarak gösterilmektedir (27, 28).

2.2.3. Hızlandırılmış harç çubuğu deney yöntemi ile alkali-silika reaksiyonu tayini

Hızlandırılmış deney yöntemi ile alkali-silika reaktivitesi tayini ASTM C-1260-94 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Birim boy değişim yüzdelere belirlemek için (2.3) eşitliği kullanılmıştır.

$$\%L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

Eşitlikte;

$\%L$: Boy değişim yüzdesi,

ΔL : Örneğin boy değişimi (mm),

L : Örneğin ilk uzunluğu (mm),

olarak gösterilmektedir (26).

ASTM C -1260'a göre boy değişimindeki verilerin değerlendirilmesine ilişkin sınır değerler Tablo 3.'de verilmiştir.

Tablo 3. Hızlandırılmış harç çubuk metodu (ASTM C -1260) sınır değerleri (26)

Boy değişimi (%)	< 0,1	0.1-0.2	>0.2
14 gün sonra ölçülen boy değişimi yöntemi ile alkali-silika reaksiyonu	Zararsız	28. gün sonunda tekrar okuma yapılmalıdır	Potansiyel olarak zararlı seviyede

2.2.4. İstatistik metodlar

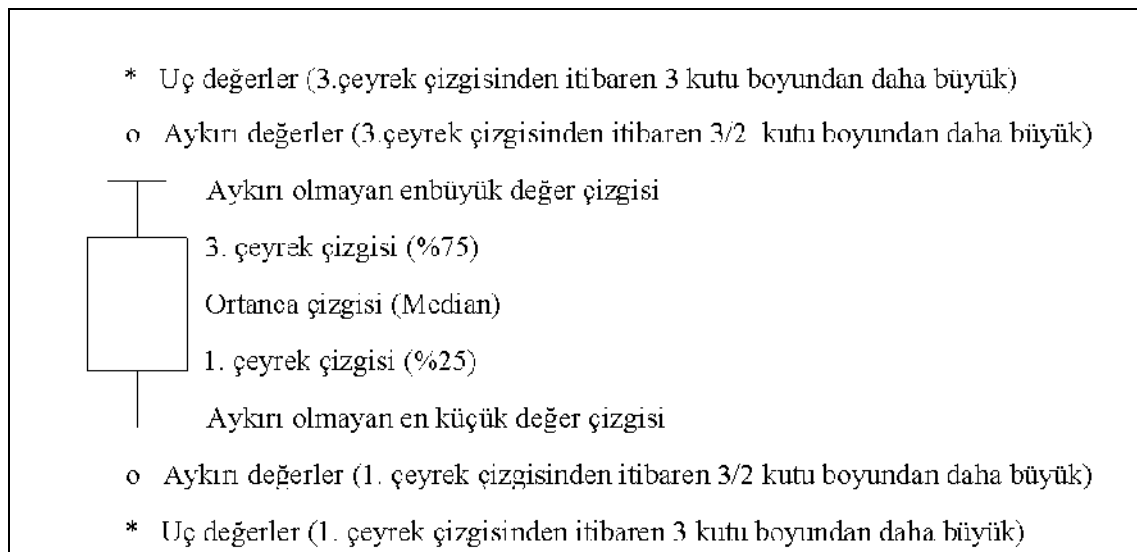
Hızlandırılmış harç çubuk metodu deney sonuçlarından dört gözleme ait istatistik veriler elde edilmiştir. Gözlemler arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenmiştir. Varyans analizinde 'gruplar arasında fark yoktur' kararına varılırken, yanılmış olma olasılığı (anlamlılık düzeyi) $\alpha = 0,05$ olarak (1.tip hata) kabul edilmiştir. Hızlandırılmış harç çubuk metodu verilerinin zamana ilişkin regresyon analizleri gerçekleştirilerek regresyon modeli serpm diyagramı ve regresyon grafiği çizilmiştir. Ayrıca boyca değişim verilerinin dağılımlarını ve gözlemler arasında dağılım farklılıklarını göstermek amacıyla kutu grafikleri çizilmiştir (29). Tablo 4'de standart bir kutu grafiğinin yapısı ve özellikleri görülmektedir.

Tablo 4'de verilen standart kutu grafiğinde;

- Ortanca çizgisi ile merkezi eğilimler arasındaki ilişki; ortanca çizgisi kutunun ekseninde ise dağılımın normal, ortanca çizgisi 1. çeyrek çizgisine daha yakın ise dağılımın pozitif yönde çarpık, ortanca çizgisi 3 çeyrek çizgisine daha yakın ise dağılımın negatif yönde çarpık olduğu durumlar şeklinde ifade edilebilmektedir.

- Kutunun boyu ile verilerin yayılma veya değişkenliği (gözlemlerin %50' sinin değerleri kutu içerisinde yer almakta ise bu durum kutu boyunun uzun

Tablo 4. Standart bir kutu grafiğinin (boxplot) yapısı ve özellikleri



olmasını veya değişkenliğin fazla olduğunu ifade etmektedir (30).

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

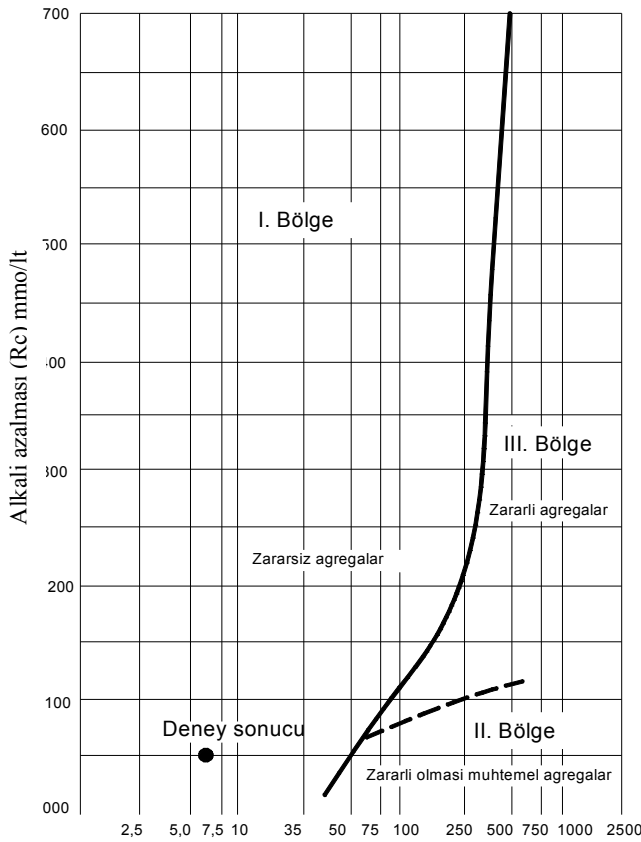
3.1. Kimyasal analizle alkali-silika reaksiyonu

Kırmetaş örnekleri kimyasal analiz sonuçlarına göre, alkali azalmasının 50 mmol/Lt, çözünen silika içeriğinin 6,0 mmol/Lt olduğu, kalsiyum karbonat (CaCO₃) miktarının ise % 99,56 olduğu Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 5. Kırmetaş örneği kimyasal analiz verileri

Kırmetaş alındığı yer	R _c alkali azalması (mmol/Lt)	S _c çözünen silika (mmol/Lt)	CaCO ₃ (%)
Ermenek Havzası	50	6,0	99,56

ASTM C-289 “Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) ve TS 2517 “Alkali Silika Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini” standartlarına göre alkali azalması (R_c) ve çözünmüş silis (S_c) değerleri kullanılarak Şekil 4’deki grafik yardımı ile söz konusu kırmetaşın yeri belirlenmiştir. Kırmetaş örneği, alkali silika reaktivitesi bakımından standartlarda belirtilen “Zararsız agregalar”ın tanımlandığı I. Bölge içerisinde yer aldığı Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Çözünen silika ve alkalinite azalma verilerinin ASTM C 289’a göre (Chemical Method) grafiği

3.2. Hızlandırılmış harç çubuğu deney metodu ile alkali-silika reaksiyonu

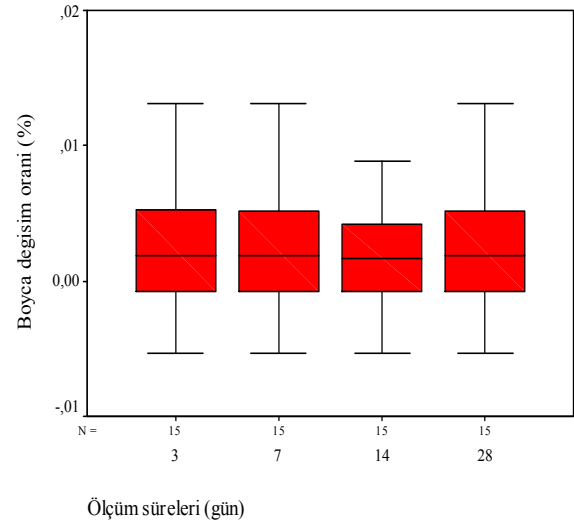
Harç çubuklarının boy değişimi oranlarına ilişkin açıklayıcı istatistikler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Harç çubuklarının 3,7,14 ve 28 günlük boy değişim oranlarına ilişkin açıklayıcı istatistikleri

Deney süreleri (gün)	Örnek sayısı (adet)	Art. ort. (%)	Standart sapma	Min. (%)	Maks. (%)
3	15	0.002	0.00521	-0.0053	0.0131
7	15	0.002	0.00521	-0.0053	0.0131
14	15	0.001	0.00427	-0.0053	0.0089
28	15	0.002	0.00521	-0.0053	0.0131

Harç çubuklarının 3 günlük ölçümlerde % 0.002, 7 günlük ölçümlerde %0.002, 14 günlük ölçümlerde %0.001 ve 28 günlük ölçümlerde %0.002 oranında boy değişimine uğradığı Tablo 6’da görülmektedir.

Harç çubuklarının 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişim verilerinin dağılımları ve ortanca çizgileri Şekil 5’de görülmektedir. 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişim verileri dağılımının hafif ölçüde pozitif yönde çarpık olmakla beraber normal dağılıma yakın olduğu, uç ve aykırı değerler içermediği görülmektedir. Bu bakımdan boyca değişim verilerinin normale yakın bir dağılım gösterdiği ve deneysel verilerin güvenilir olduğu kabul edilebilir.



Şekil 5. Harç çubuklarının 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişimlerine ilişkin kutu grafiği

Varyans analizi sonuçlarından gruplar arasında $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyine göre farklılık olmadığı görülmüştür. Gruplar arasında anlamlı fark olmadığından Tablo 7’de görüldüğü gibi çoklu karşılaştırma yapılmamıştır.

Tablo 7. Harç çubuklarının 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişim değerleri varyans analiz tablosu

Varyansın kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F-Testi	Anlamlılık düzeyi (α)
Gruplar arası	3	0.000007	0.000002	0.096	0.962
Gruplar içi	56	0.001397	0.000024		
Toplam	59	0.001405			

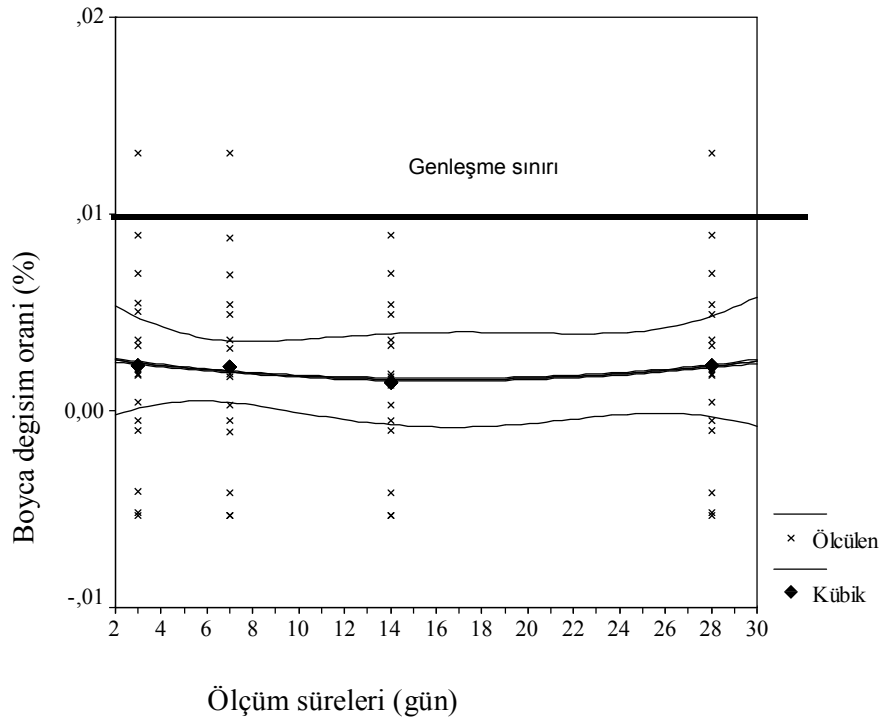
Harç çubuklarının 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişimlerine ilişkin regresyon analizi grafiği Şekil 6'da görülmektedir.

Regresyon modeli kübik olup, regresyon formülü $y=0.0020+0.0002x-0.00002x^2+0.0000006x^3$ olarak belirlenmiştir.

Harç çubuğu örneklerinin 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişimlerinde zamana bağlı olarak önemli bir fark görülmemiştir. Fakat, harç çubuklarının 14 günlük boy

Ayrıca, harç çubuğu örneklerinin 28 günlük boy uzama değerlerinin ASTM C-1260 "Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)" standardında belirtilen "Genleşme Sınırını, (% 0,2)"yi aşmadığı Şekil 6'da görülmektedir

ASTM C-1260 "Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)" (Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi) sonucunda; 14 ve 28 günlük boy değişim değerlerinin, alkali- silika



Şekil 6. Harç çubuklarının 3, 7, 14 ve 28 günlük boy değişimlerine ilişkin regresyon analiz grafiği

değişimlerinde 7 günlük boy değişimlerine göre çok az miktarda bir azalma buna karşın 28 günlük boy değişimlerinin 14 günlük boy değişimlerine göre ise çok az miktarda bir artış olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Diğer taraftan varyans analizi sonuçlarına göre bu farklılıkların anlamlı olmadığı hatırlanırsa bu artışın istatistik açıdan önemsiz olduğu söylenebilir.

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)" aşmadığı Şekil 6'da görülmektedir.

reaksiyonundan kaynaklanan genleşmelerin %0,1'lik ve %0,2'lik genleşme sınırının altında kaldığı için kırmataşların alkali-silika reaksiyonu açısından zararsız olduğu söylenebilir.

Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonucunda elde edilen verilerin boyca uzama verilerinin normal dağılım göstermesi ve ASTM C-1260 standardında öngörülen genleşme sınırlarını aşmaması örneklenen alan kırmataşlarının alkali-silika reaksiyonu bakımından zararsız olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe civarından alınan kaya örneklerine ait kırmataşlar üzerinde alkali-silika reaksiyonunu belirlemek amacı ile kimyasal analiz ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Veriler üzerinde istatistikî analizler yapılarak bulgular standart değerlerle karşılaştırılmıştır. Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe civarından alınan kaya örneklerine ait kırmataşların;

- Petrografik incelemeler sonucunda, kaya örneği tane boyunun 0.14-0.68 mm arasında değişen kısmen yuvarlaklaşmış taneler halinde kuvars, daha az miktarda çört, feldispat ve eser miktarda mika ve kloritten ibaret olduğu görülmüştür. Kripto ve mikrokristalin kalsit ile bağlandığı, Kayacın 'Kalsit Çimentolu Kumtaşı' olduğu,

- Kimyasal analiz sonuçlarına göre; alkali azalmasının 50 mmol/lit, çözünen silika içeriğinin 6,0 mmol/lit olduğu, kalsiyum karbonat (CaCO₃) miktarının % 99,56 olduğu ve ASTM C-289 "Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) standardına göre alkali silika reaksiyonu bakımından "Zararsız Agregalar" sınıfında olduğu,

- Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonuçlarına göre, 3 günlük örneklerin % 0.002, 7 günlük örneklerin %0.002, 14 günlük örneklerin %0.001 ve 28 günlük örneklerin %0.002 oranında boy değişimine uğradığı ve bu değerlerin ASTM C-1260 "Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates" standardında belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, kırmataş örneklerinin temsil ettiği bölge kayaçlarından elde edilecek kırmataşların alkali-silika reaksiyonu açısından zararsız olduğu anlaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Tosun, K., Yazıcı, H., Baradan, B., "Uçucu Kül ve Silika Tozunun Alkali - Silika Reaksiyonuna Etkisinin İncelenmesi", Ankara, *Türkiye İnşaat Mühendisliği, XVI. Teknik Kongre Bildirileri*, 188-203 (2001).
2. Ahmed, T., Burley, E., Rigden, S., Abu-Tair, A., "The Effect of Alkali Reactivity on the Mechanical Properties of Concrete", *Construction and Building Materials*, 17: 123-144 (2003).
3. "Swelling Properties of Synthetic Alkali-Silica Gel", *Journal of the American Ceramic Society - Struble and Diamond*, 64 (11): 5 (1996).
4. Ramachandran, V.S., "Concrete Admixture Handbook", *Science and Technology, Second Edition*, USA, (1995).
5. Bektaş, F., "Preventive Measures Against Alkali-Silica Reaction", MSc Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara, 1-87 (2002).
6. Kosmatha, S.H., Panarese, W.C., "Design and Control of Concrete Mixture", *Portland Cement Association*, USA, 40-75 (1998).
7. Neville, A. M., "Properties of Concrete", *Longman Scientific & Technical*, England, 155-166 (1981).
8. Farny, J. A., Kosmatka, S. H., "Betonda Alkali Agregat Reaksiyonunun Teşhis ve Kontrolü", Çeviren: Kalmış, M.,

- Güngör, N., Eribol, S., *American Concrete Pavement Association (ACPA)*, 1-26 (1998).
9. Diamond, S., Barneyback, R. S. Jr., Stuble, L.J., "On the Physics and Chemistry of Alkali-Silica Reactions", Proceedings of the Fifth Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Pretoria, South Africa, *National Building Research Institute*, 1-11 (1981).
 10. Binal, A., "Beton Agregalarında, Alkali Silika Reaksiyonu Etkisinin Belirlenmesi İçin Harç Prizması Deneyi Tasarımı ve Uygulaması", Doktora Tezi, *H. Ü. Jeoloji Mühendisliği*, Beytepe-ANKARA, 1-216 (2002).
 11. Ineson, P.R., "Siliceous Components in Aggregates", *Cement and Concrete Composites*, 12 (3): 185-190 (1990).
 12. Wen, H.X., "Alkali Aggregate Reaction in Concrete, Lecture Notes", Hong Kong, *Civil Engng. Dept., Hong Kong Univ.*, 1-55 (1998).
 13. Swamy, R.N., "Alkali-Aggregate Reaction in Concrete; Material and Structural Implications", Ottawa Canada, *Sciences in Concrete Technology, Energy, Mines and Resources*, 533-581 (1992).
 14. Tordoff, M.A., "Assesment of Prestressed Concrete Bridges Suffering from Alkali-Silica Reaction", *Cement and Concrete Composites*, 12 (3): 203-210 (1990).
 15. Mo, X., "Laboratory Study of LiOH in Inhibiting Alkali-Silica Reaction At 20 C : a Contribution", *Cement and Concrete Research*, (2007).
 16. Yi, C.K., Ostertag, C.P., "Mechanical Approach in Mitigating Alkali-Silica Reaction", *Cement and Concrete Research*, (2007).
 17. Thomas, M.D.A., "Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash Concrete", *Cement and Concrete Research*, 29: 1207-1214 (1999).
 18. Uzal, B., Bektaş, F., Turanlı, L., "Öğütülmüş Doğal Zeolitin Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi", 403-409, İMO, İstanbul Şubesi, (2007).
 19. Gruber, K.A., Ramlochan, T., Boddy, A., Hooton, R.D., Thomas, R.D.A., "Increasing Concrete Durability with High-Reactivity Metakaolin", *Cement and Concrete Composites*, 23: 479-484 (2001).
 20. "Ermenek Barajı ve Hidroelektrik Santrali Proje Raporu", Ankara, *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Electrowatt Engineering Ltd.Şti, Dolsar Mühendislik Ltd.Şti.*, 6-11(1999).
 21. TS 707 "Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi", Ankara, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1-9 (1980).
 22. E.İ.E., "Ermenek Barajı ve HES Jeoloji Raporu", Electrowatt Engineering Limited Şirketi, Zürih, Dolsar Mühendislik ve Limited Şirketi, c.1, Ankara, 69s, (1999).
 23. Demirel, İ.H., 1989. "Ermenek (Konya) Yöresinde Yer Alan Tersiyer Yaşlı İstifin Jeolojisi, Sedimantolojisi ve Bölgedeki Kömür Damarlarının Ayrıntılı İncelenmesi", *H.Ü. Fen Bil. Ens.* Doktora Tezi.
 24. TS EN 197-1, "Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5-20 (2002).
 25. ASTM C-227-97, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)", Annual Book of ASTM Standards,

- Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, *American Society for Testing and Materials*, 4 (2): 126-130 (1994).
26. ASTM C-1260-94, “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*, 4 (2): 650-653 (1994).
27. ASTM C-289-94 “Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)”, Annual Book of ASTM Standards, Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, *American Society for Testing and Materials*, 4 (2): 157-163 (1994).
28. TS 2517 “Alkali Agregre Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini”, Ankara, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1-8 (1977).
29. Ergün, M., “Bilimsel Araştırmalarda Bilgisayarla İstatistik Uygulamaları”, *Ocak Yayınları*, Ankara. (1995).
30. Norusis, M. J., “SPSS for Windows Base System Users Guide Release 6.0.” *Spss Inc.*, Chicago, (1993).