

BETON AGREGASI OLARAK KULLANILACAK BAZALTLARIN ALKALİ-SİLİS REAKSİYONU YÖNÜNDE İNCELENMESİ

EVALUATION OF BASALT AS CONCRETE AGGREGATES FROM THE POINT OF ALKALI-SILICA REACTIVITY

Mustafa KORKANÇ¹ ve Atiye TUĞRUL²

¹ Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 51100 / Niğde

² İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320 / Avcılar, İstanbul

ÖZ: Bazaltlar beton agregası olarak kullanıldıklarında, alkali-silis reaksiyonu oluşturabilen potansiyel kayalar arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, farklı bileşim ve dokusal özelliklere sahip bazaltlar reaktivite açısından değerlendirilmiştir. Araştırmalar için Orta Anadolu'da yaygın olarak gözlenen Niğde yöresi bazaltları seçilmiştir. Bazaltlar, bölgede beton agregası olarak yaygın bir kullanıma sahiptir. Araştırmaların üzerinde gerçekleştirildiği bazaltlar, Alt Kuvaterner yaşlı Melendiz volkanitleri ile Kuvaterner yaşlı Karataş volkanitleri ve İğredağ bazaltlarıdır. Bu kayalar öncelikle petrografik ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Alkali-silis reaksiyonunun etkilerini belirlemek amacıyla da petrografik ve hızlandırılmış harç çubuğu deney yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre, incelenen bazaltlar arasında asit-ortaç karakterli olanlar ile matriksi volkan camından oluşanlar, potansiyel olarak yavaş reaktif agrega özelliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, Alkali-silis Reaksiyonu, Niğde

ABSTRACT: Basaltic rocks are potential rocks from the point of alkali-silica reaction used as concrete aggregates. The objective of this study is to determine reactivity of the basalts in different composition and texture. The study was carried out on Niğde basalts that are widespread in the Middle Anatolian Region of Turkey. They form the major source of concrete aggregates. Early Quaternary Melendiz Volcanites, Quaternary Karataş volcanites and İğredağ basalts were selected around the Niğde Region, and the experimental studies were conducted on these rocks. The basalts were firstly classified according to their petrographical and chemical composition. Petrographic techniques and accelerated mortar bar test were then used to evaluate the potential alkali reactivity of the basalt aggregates. The basalts having acidic-intermediate character and matrix that is composed of volcanic glass are potentially suitable for alkali-aggregate reaction.

Key Words: Basalt, Alkali-silica reaction, Niğde

GİRİŞ

Alkali-silis reaksiyonu; agregalarda bulunabilen aktif silisin, çimentoda bulunan alkali maddeler (Na_2O ve K_2O) ile bir reaksiyon oluşturması ve bunun sonucunda genleşebilme kabiliyetine sahip bir jelin meydana gelmesidir. Bu jelin, su emdikçe hacminin daha çok artması nedeniyle, olayın daha belirgin ve zararlı olması kaçınılmaz olarak bilinmektedir (Postacıoğlu, 1987). Beton içerisinde reaksiyon sonucu oluşan mikroçatlaklar zamanla büyüyerek betonda önemli oranda dayanım kaybı meydana getirmektedir (Fookes, 1980; Postacıoğlu, 1987; Wakizaka, 1998). Belirli kökenli agregalar, reaksiyon yapabilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu cins bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkahidroksit ile kuvvetli kimyasal reaksiyona girer ve önce berrak,

çoğunlukla yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkalisilikat çözeltisini meydana getirmektedir. Agreganın alkaliye duyarlı bileşenleri bu sırada yumuşar ve çözünür. Reaksiyon süresi ve şiddeti; özellikle agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğüne ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözültideki alkahidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır. Bu nedenle, alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir (Fookes, 1980).

Alkali-silis reaksiyonu ile ilgili olarak günümüze kadar oldukça önemli araştırmalar yapılmıştır (Fookes, 1980; Gillott, 1975; Hobbs, 1990; Grattan-Bellew, 1987; Wakizaka vd. 1987; Wakizaka vd. 1989; Wakizaka, 1998; (Wakizaka, 2000). Bazı tip agregaların çimento içinde bulunan alkali ile birleşerek genleşen bir

jel meydana getirdiği ilk kez, Stanton (1940) tarafından açıklanmıştır. Konu ile ilgili ayrıntılı araştırmalara göre; reaksiyon oluşumunda etkili olan mineraller; opal (Stanton, 1941), kalsedon ve volkan camı (Stanton, 1941; Rhoades, 1942), kriptonkristalin kuvars (Stanton vd. 1942), tridimit (Hornibrook vd. 1943), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952; Mielenz, 1954) ile basınç etkisinde kalmış kuvarstır (Gogte, 1973). Marfil ve Maiza (2001), bazaltlarda aktif silis ve volkan camı içeriğinin fazla olması nedeniyle tehlikeli reaksiyonların geliştiğini belirtmişlerdir. Wakizaka (2000), sakıncalı reaksiyon oluşturan ürünler arasında; andezit, riyolit, tüf, dasit, bazalt, şeyl, çört ve bazı kumtaşlarının olduklarını belirtmiştir. Volkanik kayalardaki reaksiyonu; kristobalit, tridimit ve volkanik camın kontrol ettiğini, sedimanter ve metamorfik kayalarda ise, kristalizasyon ve kuvars içeriğinin etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Fookes (1980), çimento içindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonun genleşmesine ve çatlamasına neden olan agregalara örnek olarak; çörtlü veya silisleşmiş kireçtaşı ve çamurtaşları ile bazı asit veya asit-ortaç karakterli volkanik kayaları göstermiştir. Araştırmacı ayrıca, ağırlıkça % 0.25 inden fazla opal, % 5 inden fazla kalsedon, % 3 ünden fazla camsı maddeler içeren agregalar, kriptonkristalin asidik-ortaç volkanik kayalar veya tüflerin betonda düşük alkali içerikli çimento kullanılmamış ise zararlı reaksiyonlara neden olabileceğini ifade etmiştir. Wakizaka (1998) ise, volkanik kayalarda bulunan volkan camının alkali-silis reaksiyonunun oluşumunda oldukça etkili olduğunu belirtmiştir. Agregada bileşiminin yanısıra alkali-silis reaksiyonunun meydana gelmesinde çevre şartlarının da önemli etkileri bulunmaktadır. Zararlı alkali-silis reaksiyonu, sıcaklığın yaklaşık +10°C ile +60°C arasında bulunması halinde meydana gelmektedir. Bunun dışında, ortamın porozitesi ve yeterli nemin bulunması halinde alkali-silis reaksiyonundan dolayı hasar meydana gelebilmektedir (Smith ve Collis, 2001).

Alkali-agrega reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla bir çok standart geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; BS 7943 (1999); BS 812: Part 123 (1999); TS 2517 (1977); ASTM C 289 (1994); ASTM C 295 (1994); ASTM C-1260 (1994) ve CSA A23.2-94 (1994)'dir.

Bu çalışmada beton ve yol agregası olarak yaygın kullanıma sahip bazaltların, alkali-silis reaksiyonu yönünden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bilindiği gibi bazaltlar, oldukça değişken bileşim ve dokusal özellikler sunmaktadır. Günümüze kadar

yapılan çalışmalarda bazaltlarda gözlenen bileşim ve dokusal değişimin, alkali-silis reaksiyonunun gelişimi açısından ayrıntılı değerlendirilmesi yapılmamıştır. Bu araştırmada; petrografik yöntem (ASTM C 289, 1994) ve harç çubuğu (ASTM C-1260, 1994; CSA, A23.2-94, 1994) deney yöntemleri kullanılmıştır.

Bazaltların Jeolojik Özellikleri

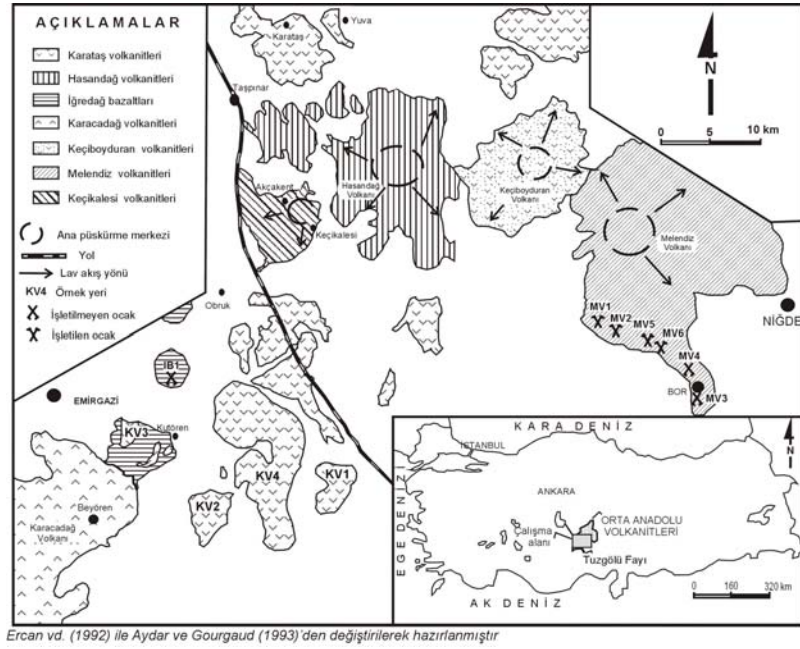
Çalışma alanı, birçok volkanik kompleksin ve farklı ürünlerinin gözlemlendiği oldukça geniş bir alandır (Şekil 1). Bu alan içinde farklı dönemlerde faaliyet gösteren Karacadağ, Hasandağ, Keçikalesi, Keçiboyduran ve Melendiz Volkanik Kompleksleri yer almaktadır. Bu komplekslerin dışında ve onlara yakın konumda oluşmuş, bazik karakterli Karataş volkanitleri ve İğredağ bazaltları ile farklı monojenik (ikincil) püskürmeler bulunmaktadır.

Bölgedeki Kuvaterner öncesi volkanizma ürünleri genelde asidik bileşimlidir. Bu volkanizmaların son ürünleri ise ortaç ve genellikle bazik bileşimlidir (Ercan vd. 1992; Aydar ve Gourgau, 1993). Asidik bileşimli olan lavların kolay ayrışabilir olmaları ve alkali-agrega reaksiyonuna neden olabilmeleri nedeniyle betonda agrega olarak kullanılmaları uygun değildir. Bu yüzden, araştırmalar için bölgedeki bazik bileşimli İğredağ bazaltları, Karataş volkanitleri ile Melendiz volkanitlerinin içerisinde gözlenen bazaltik lavlar seçilmiştir (Şekil 1). Seçilen bu bazaltlar, yakın alanlarda bileşim ve dokusal özellikleri çok sık değişim göstermesinden dolayı 11 farklı lokasyondan örnekleme yapılmıştır (Çizelge 1). Bunlar; Melendiz volkanitlerine ait MV1, MV2, MV3, MV4, MV5 ve MV6, Karataş volkanitlerine ait KV1, KV2, KV3 ve KV4 ile İğredağ bazaltlarına ait IB1 örnekleridir.

Bazaltların Petrografik Özellikleri

Bazaltlar üzerinde yapılan petrografik araştırmalar sonucunda, bazaltların; mineralojik bileşim, doku, boşluk, kristal boyutları, tane-matriks oranları, ikinci mineral ile opak mineral içerikleri belirlenmiştir.

Melendiz volkanitlerinden derlenen MV1, MV2, MV5 ve MV6 örnekleri fenokristal oranı, boşluk ve opak mineral içeriklerine göre ayrılmışlardır. Bu örnekler, andezit-bazalt arası bileşim sunmakta olup, az oranda olivin, klinopiroksen ve plajyoklas fenokristalleri içermektedir. Bu örneklerin matriksi ise mikrolitik plajyoklastan oluşmuştur. Kayada pilotaksitik doku egemendir (Şekil 2a). MV3 ve MV4 örnekleri, olivin bazalt karakterinde olup, boşluklu ve Melendiz volkanitlerinin en genç lavlarını oluşturmaktadır.



Ercau vd. (1992) ile Aydar ve Gourgaud (1993) den değiştirilerek hazırlanmıştır

şekil 1. Örnek lokasyon haritası

Figure 1. Map showing location of the samples

Opak mineral içerikleri Melendiz volkanitlerine ait diğer örneklere oranla oldukça yüksek değerdedir. İri olivin ve az oranda plajioklas fenokristalleri, mikrolitik plajioklas hamurla çevrelenmiştir (şekil 2b).

Karataş volkanitlerine ait KV1, KV2 ve KV4 örnekler olivin bazalt, KV3 ise bazaltik andezit karakterindedir. KV4 örneğinin opak mineral içeriği diğerlerine oranla daha fazladır. Bu örnekler, olivin ve klinopiroksen ile opak mineral içeriklerinin değişimine göre ayrılmıştır. KV1, KV2 ve KV4 örneklerinde olivin ve piroksen fenokristalleri gözlenmektedir. Opak mineral oranı %3-5 civarındadır. Matriks oranı tane oranından fazladır. Kayada porfirik ve pilotaksitik doku

egemen olup, boşluk oranı % 1-3 civarındadır (şekil 2c). KV3 örneğinde matriksin tamamına yakını volkanik camdan oluşmuştur. Fenokristal olarak porfirik plajioklas (andezin), az oranda klinopiroksen (ojit) kristalleri içermektedir. Matriks oranı tane oranına hemen hemen eşit durumdadır. Opak mineral oranı % 1 civarındadır. Kaya andezit-bazalt arası bileşime sahip olup, hyaloporfirik ve pilotaksitik dokuludur (şekil 2d).

İğredağ bazaltları, fenokristal olarak olivin ve piroksenden oluşmuştur. Matriks, mikrolitik plajioklas ve çok az oranda volkan camından oluşmuştur. Opak mineral içeriği % 2-3 ve boşluk oranı %1-2 dolayındadır. Poiklitik ve intersertal doku egemendir.

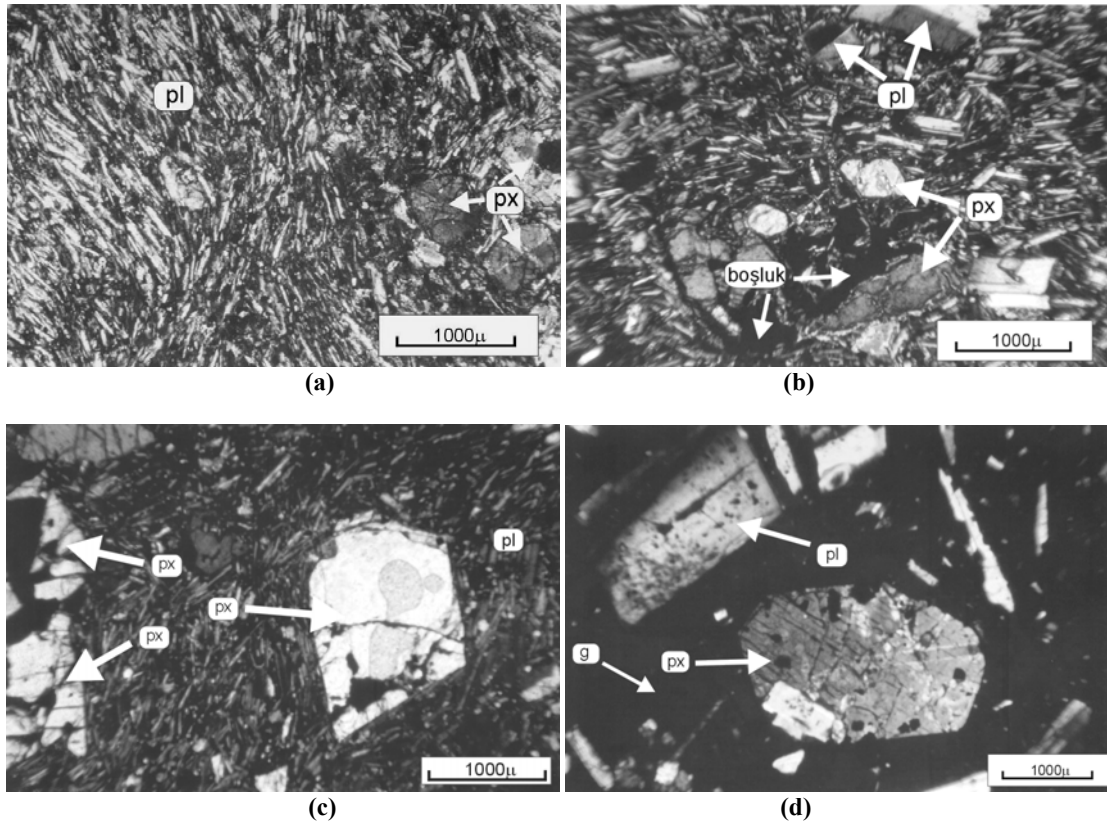
Çizelge 1. Bazaltların jeolojik ve petrografik özellikleri

Table 1. Geological and petrographical characteristics of the basalts

Örnek kodu	Formasyon	Örnek yeri	Kayaç adı*	Göreceli mineral içeriği	Yaş
MV1	Melendiz volkanitleri	Bor kuzeyi	Bazalt	plg>ol>op>sm>px	Alt Pliyosen-Pleyistosen
MV2	Melendiz volkanitleri	Bor kuzeyi	Bazalt	plg>px>sm>op	Alt Pliyosen- Pleyistosen
MV3	Melendiz volkanitleri	Bor (Kayabaşı)	Olivin bazalt	plg>ol>op>sm	Alt Pliyosen- Pleyistosen
MV4	Melendiz volkanitleri	Bor (Mezarlık)	Olivin bazalt	plg>px>ol>op>sm	Alt Pliyosen- Pleyistosen
MV5	Melendiz volkanitleri	Bor kuzeyi	Bazalt	plg>ol>sm>op	Alt Pliyosen- Pleyistosen
MV6	Melendiz volkanitleri	Bor kuzeyi	Bazalt	plg>px>sm>op	Alt Pliyosen- Pleyistosen
KV1	Karataş volkanitleri	Kütören doğusu	Olivin bazalt	plg>ol>op>px	Üst Kuvaterner
KV2	Karataş volkanitleri	Kütören güneyi	Olivin bazalt	plg>ol>op>px>sm	Üst Kuvaterner
KV3	Karataş volkanitleri	Kütören batısı	Bazaltik andezit	plg>g>ol>op	Üst Kuvaterner
KV4	Karataş volkanitleri	Kütören doğusu	Olivin bazalt	plg>ol>op>sm	Üst Kuvaterner
IB1	İğredağ bazaltları	İğredağ taş ocağı	Olivin bazalt	plg>ol>px>op	Alt Kuvaterner

* Streckeisen (1976)'ya göre adlandırılmıştır

(plg.: plajioklas px: piroksen, ol: olivin, g: volkanik cam, sm: ikincil mineral, op: opak mineral)



Şekil 2. Bazalt örneklerine ait incekesit fotoğrafları **a)** Bazalt. Plajyoklas mikrokristallerinden oluşmuş matriks içinde görülen piroksenler (MV6) **b)** Olivin bazalt. Plajyoklas ve boşlukların egemen olduğu matriks içindeki olivin ve plajyoklas fenokristalleri (MV3), **c)** Olivin bazalt. Plajyoklastan oluşan matriks içinde görülen klinopiroksen (ojit) fenokristalleri (KV2), **d)** Bazaltik andezit. Volkanik camdan oluşan matriks içindeki plajyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri (KV3).

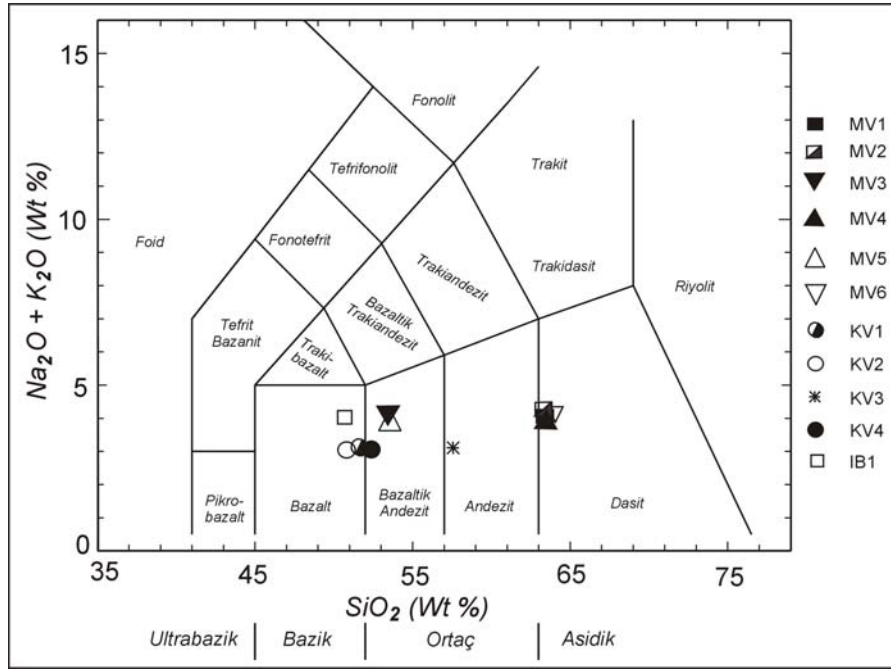
Figure 2. Photomicrographs of **a)** Basalt. Pyroxene in a matrix formed by plagioclase microcrysts (MV6) **b)** Olivine basalt. Olivine and plagioclase phenocrysts in a matrix formed by an abundance of plagioclase and pores. (MV3) **c)** Olivine basalt. Clinopyroxene (augite) phenocrysts in a matrix formed by an abundance of plagioclase (KV2) **d)** Basaltic andesite. Plagioclase and clinopyroxene phenocrysts in a matrix composed of volcanic glass (KV3)

Bazaltların Kimyasal Özellikleri

Araştırmaların üzerinde gerçekleştirildiği, Melendiz volkanitleri, Karataş volkanitleri ve İğredağ bazaltlarına ait örneklerin kimyasal bileşimlerini belirlemek amacıyla, değişik alanlardan taze örnekler derlenmiştir. Bu örnekler üzerinde, ICP-AES yöntemi ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiş ve bunlara ait ana element oksit içerikleri Çizelge 2’de sunulmuştur. Bu çizelgede görüldüğü gibi bazaltlar; % 49.06 - 60.97 arasında değişen miktarda SiO_2 içermektedirler. Al_2O_3 miktarı % 15.48 - 20.37 arasında değişim göstermektedir. Toplam Fe_2O_3 oranı, Melendiz volkanitlerinin MV3 ve MV4 fasiyesleri dışındaki örneklerde düşük olup, % 5.40 – 9.16 arasındadır. MgO

% 2.67- 9.31, CaO % 7.09 - 11.02 arasında değişim sunmaktadır. Na_2O % 2.97 – 3.83 ve K_2O % 0.67 – 1.81 arasında değişen değerlere sahiptir. TiO_2 % 0.69 – 1.54, P_2O_5 % 0.14 – 0.56 değerleri arasındadır. MnO değerleri düşük olup % 0.08 – 0.15 arasında bulunmaktadır. Cr_2O_3 oldukça düşük olup, % <0.001 – 0.049 arasındadır. Ateşte kayıp değerleri ise % <0.1 – 1.2 arasında değişmektedir.

Bazaltlar, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ve SiO_2 içeriklerine göre, Le Maitre vd. (1989) sınıflaması kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu sınıflamaya göre, Melendiz volkanitleri; bazaltik andezit ve andezit, dasit, Karataş volkanitleri; çoğunlukla bazalt, bazaltik andezit ve andezit, İğredağ bazaltları ise bazalt karakterindedir (Şekil 3).



Şekil 3. Bazaltların Le Maitre vd. (1989)'a göre sınıflandırılması
Figure 3. Classification of the basalts according to Le Maitre et al. (1989)

Katayama vd. (1989)'a göre, bazaltlardaki SiO_2 içeriği % 50'den fazla olduğunda, alkali-silis reaktivitesi açısından andezit gibi davranmakta ve potansiyel reaktif agrega özelliği gösterebilmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi örneklenen bazaltların bir kısmı % 50'den fazla SiO_2 içeriğine sahiptir. Bu nedenle incelenen bazaltlar alkali reaktivitesi açısından oldukça önemlidir. İncelenen bazaltlardan MV3, MV4, KV1, KV2, KV4 ve IB1 örnekleri bazik, diğer örnekler ise asit ve/veya ortaç karakter sunmaktadır (Şekil 3).

Bazaltların Alkali-Silis Reaksiyonu Yönünden Değerlendirilmesi

Petrografik Yöntem

Bazalt agregalarında alkali-silis reaksiyonuna yol açabilen minerallerin varlığı ve oranları; ince kesitler üzerinde, ASTM C 295, (1994) yöntemine uygun olarak araştırılmıştır. Yapılan incelemelerde; bazaltlarda alkali-silis reaktivitesi oluşturabilecek kuvars polimorflarına rastlanmamış olup, KV3 fasiyesine ait örneklerin hamurunun volkan camından oluştuğu saptanmıştır.

Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi

Bazalt agregalarında bulunabilen aktif silisin zararlı etkilerini ortaya koymak amacıyla, ASTM C 1260 (1994) ve CSA A23.2-94 (1994)'e göre hızlandırılmış harç çubuğu deney metodu uygulanmıştır. Deneyle, bazalt agregalarının çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genişlemesine bağlı olarak boy uzamaları belirlenmiştir. Deneyde kullanılan Portland çimentosunun (PÇ 42.5) eşdeğer alkali değeri % 1.015 olup, diğer özellikleri Çizelge 3'te sunulmuştur. Deneyler, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış olup, elde edilen genişleme oranları; 7, 14 ve 21 günlük dönemler halinde Çizelge 4'de sunulmuştur. Bu çizelgede görüldüğü gibi 7 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek genişlemenin MV5 örneğinde (% 0.073), ortalama en düşük genişlemenin ise KV1 örneğinde (% 0.006) olduğu belirlenmiştir. 14 ve 21 günlük genişleme oranları için, ortalama en yüksek ve en düşük değerler yine aynı fasiyeslerden elde edilmiştir.

Çizelge 2. Bazaltların kimyasal bileşimi
Table 2. Chemical composition of the basalts

Ana element oksit (%)	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6	KV1	KV2	KV3	KV4	IB1
SiO ₂ (%)	60.97	60.92	51.19	51.07	60.89	60.97	49.17	48.36	54.36	49.06	49.69
Al ₂ O ₃ (%)	17.01	16.99	17.14	17.02	16.9	16.79	15.91	16.05	20.37	16.65	15.48
Fe ₂ O ₃ (%)	5.48	5.5	8.13	8.06	5.41	5.4	8.74	8.49	7.04	9.16	8.21
MgO (%)	2.96	2.67	6.5	6.61	3.23	2.98	9.31	9.12	2.67	7.96	9.14
CaO (%)	7.09	7.12	9.12	9.08	7.17	7.29	10.7	10.69	8.96	9.52	11.02
Na ₂ O (%)	3.27	3.3	3.83	3.83	3.23	3.26	3.33	3.34	2.97	3.41	3.05
K ₂ O (%)	1.21	1.21	1.61	1.63	1.28	1.18	0.68	0.67	1.81	0.89	1
TiO ₂ (%)	0.7	0.7	1.31	1.3	0.69	0.7	1.12	1.29	0.71	1.54	1.01
P ₂ O ₅ (%)	0.14	0.14	0.56	0.56	0.14	0.15	0.36	0.32	0.17	0.36	0.35
MnO (%)	0.09	0.08	0.13	0.13	0.08	0.08	0.15	0.14	0.12	0.15	0.14
Cr ₂ O ₃ (%)	0.009	0.007	0.025	0.026	0.008	0.006	0.048	0.049	< 0.001	0.031	0.055
A.K. (1000°C) (%)	0.6	1.2	0.1	0.2	0.7	0.9	< 0.1	1	0.6	0.8	0.4
Toplam (%)	99.63	99.94	99.83	99.69	99.83	99.81	99.57	99.67	99.9	99.67	99.72

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan Portland çimentosunun (PÇ 42.5) özellikleri
Table 3. Properties of Portland cement (PC 42.5) used in experiments

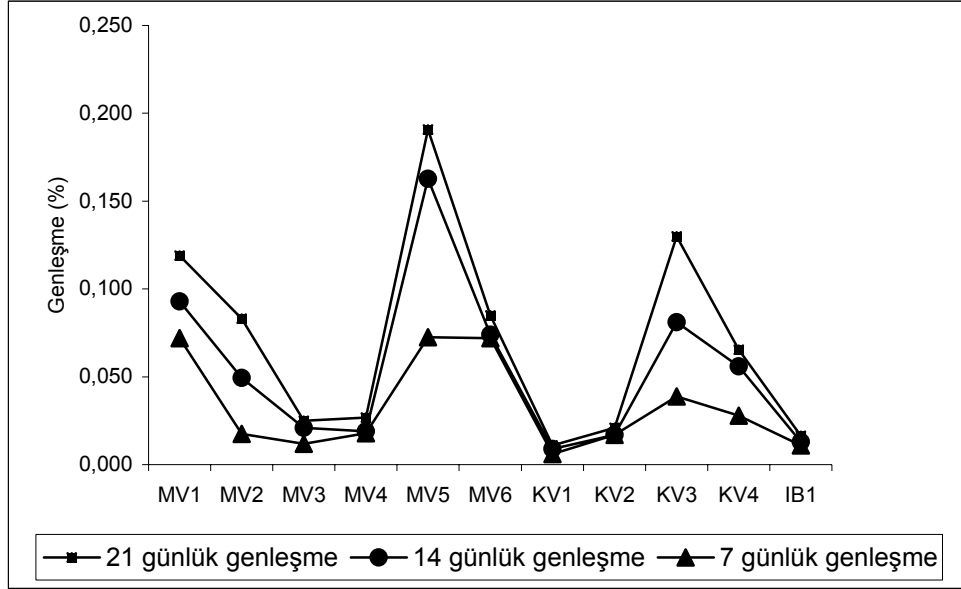
Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
SiO ₂ (%)	19.75	Priz başlangıcı	01:55 (Sa:dak.)	Basınç dayanımı (MPa)	
Al ₂ O ₃ (%)	5.00				
Fe ₂ O ₃ (%)	4.07	Priz bitişi	03:05 (Sa:dak.)	1. gün	17.5
CaO (%)	64.07				
MgO (%)	1.94	45 mikron (%)	3.5	7. gün	39.3
Na ₂ O (%)	0.64	90 mikron (%)	0.1		
K ₂ O (%)	0.57	Bleyn (cm ² /gr)	3887	28. gün	49.2
Ateşte kayıp (%)	3.28	Hacim genişmesi (mm)	5		

Çizelge 4. Hızlandırılmış alkali-silis reaksiyon deneyi sonuçları
Table 4. Results of the accelareted alkali-aggregate reaction tests

Örnek kodu	7 günlük genişleme			14 günlük genişleme			21 günlük genişleme		
	Min.	Max.	Ortalama	Min.	Max.	Ortalama	Min.	Max.	Ortalama
MV1	0.005	0.123	0.072	0.062	0.128	0.093	0.068	0.159	0.119
MV2	0.008	0.025	0.018	0.040	0.057	0.049	0.076	0.093	0.083
MV3	0.006	0.017	0.012	0.010	0.038	0.021	0.015	0.042	0.025
MV4	0.009	0.030	0.018	0.009	0.031	0.019	0.010	0.039	0.027
MV5	0.053	0.088	0.073	0.157	0.170	0.163	0.181	0.205	0.191
MV6	0.027	0.110	0.072	0.030	0.110	0.074	0.027	0.116	0.085
KV1	0.002	0.010	0.006	0.005	0.012	0.009	0.006	0.016	0.011
KV2	0.005	0.029	0.017	0.006	0.029	0.017	0.074	0.035	0.021
KV3	0.030	0.047	0.039	0.076	0.087	0.081	0.124	0.134	0.130
KV4	0.017	0.039	0.028	0.045	0.068	0.056	0.054	0.077	0.065
IB1	0.007	0.019	0.011	0.009	0.021	0.013	0.011	0.021	0.016

İnceleme alanında yer alan bazalt agregaları ile yapılan alkali-silis reaksiyonu deneylerinden elde edilen verilere göre, SiO₂ bakımından zengin Melendiz volkanitlerine ait MV1, MV5 ve MV6 örnekleri ile

Karataş volkanitlerine ait matriksinin tamamı volkan camından oluşan KV3 örneklerinde diğer örneklerle nazaran daha yüksek oranlarda genleşmeler meydana gelmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. 7, 14 ve 21 günlük genleşme değerlerinin değişimi
Figure 4. Changes in expansion values at 7, 14 and 21 days

ASTM C-1260 (1994)'e göre, 14 günlük maksimum genleşme oranları dikkate alındığında, Melendiz volkanitlerine ait asit-ortaç karakterli MV1, MV5 ve MV6 örneklerinde % 0.1'den yüksek genleşmeler gözlenmiştir. Bu örneklerin 14 günlük genleşme oranları % 0.10 ile 0.20 arasında olup, standartta yer alan limit değerlendirmeye göre, reaksiyon açısından zararlı veya zararsız olabilmektedir. Bu nedenle, harç çubuklarının 28 günlük komparatör okumaları da yapılmıştır. MV5 örneğinin ortalama 28 günlük genleşmesi % 0.2 ye yakın olup, diğerleri daha düşüktür. Belirtilen bu agregalar, alkali reaksiyonu açısından potansiyel olarak yavaş reaksiyon gösteren agregalar olarak değerlendirilmiştir.

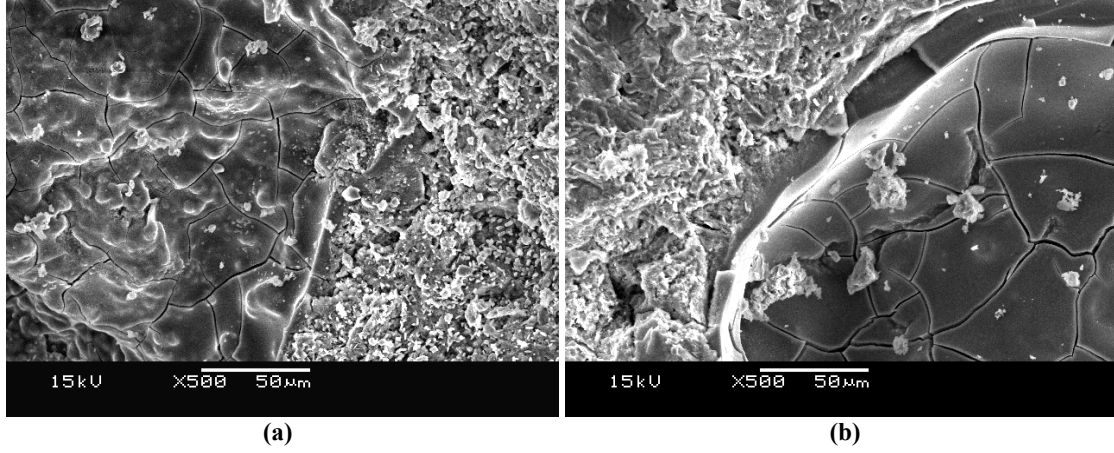
Alkali-silis reaksiyonunun etkilerini belirlemede kullanılan ve benzer deney yöntemlerinden birisi olan, CSA, A23.2-94 (1994)'de ise 21 günlük genleşme oranları dikkate alınmaktadır. Bu standartta yer alan 21 günlük genleşmelerin % 0.1'den fazla olması durumunda agregalar, reaksiyon açısından sakıncalı olarak değerlendirilmektedir. MV1, MV5, MV6 ve KV3 örnekleri, standartta belirtilen kullanım limitlerine göre, potansiyel olarak yavaş reaksiyon gösteren agregalar olarak değerlendirilmiştir. Bunların dışında yer alan ve özellikle olivin bazalt karakterli agregalarda ise limit değerlerden oldukça düşük genleşmeler ölçülmüş olup, sakıncasız agregalardır.

SEM İncelemeleri

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde kullanılan örneklerin alkali-silis reaksiyonu etkilerini gözlemlemek amacıyla SEM (taramalı elektron mikroskobu) incelemeleri de yapılmıştır. Bu incelemelerde; asit-ortaç karakter sunan MV5, MV6 ile volkanik cam matriksli KV3 örnekleriyle yapılan harçta, reaksiyon sonucu, agregaya yüzeyinde ince bir jel tabakasının oluştuğu ve bu jelde ağısı mikroçatlakların meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5a, 5b). Reaksiyon sonucu gelişen mikroçatlaklar, agregaya yüzeyinde veya agregaya-çimento ara yüzeyinde meydana gelmiştir. Bu çatlaklar, çimento sınırına kadar devam etmekte olup, betonun bütün alanında etkili olmamıştır. Bu örneklerdeki reaksiyon oluşumunda, volkan camı içeriğinin yüksek değerlerde olmasının yanı sıra kimyasal bileşiminin de etkin olduğu düşünülmektedir.

SONUÇLAR

Bu araştırma kapsamında, 11 farklı bazalt değerlendirilmiştir. Bunlar, petrografik özelliklerine göre; bazalt, olivin bazalt ve bazalt-andezit arası bileşime sahiptir. Farklı bileşime sahip bazaltlar arasında harç çubuğu deneyinden elde edilen genleşme oranları dikkate alındığında, olivin bazaltlar, diğer örneklerle oranla en düşük genleşmelerin gözlemlendiği bazaltlar olmuştur.



Şekil 5. Alkali-silika reaksiyonu sonucu oluşan jelde meydana gelen genişleme çatlaklarının SEM görünümü
a) MV6, b) KV3

Figure 5. SEM photomicrographs showing expansion cracks in alkali silica gel a) (MV6) b) (KV3).

Bazalt agregaları ile yapılan alkali-silis reaksiyon deneylerinde, asit-ortaç karakter sunan bazaltlar ile matriksinin tamamı volkan camından oluşan bazaltik andezitler; yapılan araştırma ve gözlemlere göre, potansiyel olarak düşük reaktivite gösteren agregalardır. Bu tür bazaltların beton agregası olarak kullanılması durumunda; düşük alkaliniteye sahip çimentoların ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$ değeri % 0.60'dan düşük) kullanılması veya beton içerisine puzulanik maddelerin katılması uygun olacaktır.

SUMMARY

Alkali-silica reaction is the most common form of alkali-aggregate reaction. Basalts are potential rocks for alkali-silica reaction. They have variable composition and texture depending on character of volcanism. Basalts of different compositions and textures were not correlated before, from the point of alkali-silica reaction. The aim of this study is to evaluate aggregate constituents, especially the presence of deleterious components and find main causes of the AAR based on the petrographic studies on the basalt aggregates and also to determine the reactivity of the basalts by means of accelerated mortar bar tests. To identify the reactivity of basalt aggregates, the study was carried out in Niğde Region of Turkey. Early Quaternary Melendiz Volcanites, Quaternary Karataş volcanites and İğredağ basalts were selected around the Niğde Region, and the experimental studies were conducted on these rocks. The samples were collected as being representative of eleven different basalts type. The basalts were firstly classified according to their petrographical and chemical composition.

Petrographical studies indicate that most of the basalts are basalt, olivine basalts and basaltic andesite. Minerals of the basalt aggregates and their percentage were determined by using point counter under optical microscope. The effect of aggregate composition on the expansion of mortar bars, due to alkali-silica reaction, was evaluated by mortar bars made with basalts having different composition and texture. SEM studies were conducted to evaluate microcracking, characteristics of the aggregate-cement interface, and the development of reaction products.

The reactivity of basalts is controlled by the presence of volcanic glass, alteration minerals and the SiO_2 content more than 50%. Quartz polymorphs that cause to alkali-silica reaction were not observed in the studied basalts. Alkali-aggregate reaction gel was identified by SEM observations as the major reaction product. The gel occurred at the aggregate surface and aggregate-cement interface. According to the results obtained from the alkali-aggregate reaction test, the expansion rates were not too high. The basalts having acidic-intermediate character or volcanic glass in their matrix show expansion generally more than 0.10% after the test, and they are potentially alkali-aggregate reactive according to the standard values. The others show a little expansion after the test. This is may be due to the basalt aggregates are insufficiently reactive, the amount of reaction products are not enough to cause expansion or not sufficiently expansive.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Proje No. 27/08092002.

KAYNAKLAR

- ASTM C 289, 1994**, Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method). Annual Book of ASTM Standards, ASTM Publication.
- ASTM C 295, 1994**, Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. Annual Book of ASTM Standards, ASTM Publication.
- ASTM C1260-94, 1994**, Standard method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (mortar bar method), Annual Book of ASTM Standards.
- Aydar, E., Gourgaud, A., 1993**, Hasandağı strato-volkanında magma odalarının gelişimi ve hakim petrojenetik süreçler, Hacettepe Yerbilimleri Dergisi, (16), 101-113.
- BS 812 Part 123, 1999**, Method for the determination of alkali - silica reactivity : Concrete prism method, British Standards Institution.
- BS 7943, 1999**, Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity, British Standards Institution.
- CSA, A23.2-94, 1994**, Test method for detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars. Methods of Test for Concrete. Canadian Standards Association, Ontario, Canada. 236-242.
- Ercan, T., Tokel, S., Matsuda, J., Ul, T., Notsu, K., Fujitani, T., 1992**, New geochemical isotopic and radiometric data of the Quaternary volcanism of Hasandağı-Karacadağ (Central Anatolia) TJK Bülteni, 7, 8-21.
- Fookes, P.G., 1980**, An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. Quarterly Journal of Engineering Geology, 123, 207-229.
- Gillott, J. E., 1975**, Alkali-aggregate reactions in concrete, Engineering Geology, 9, 303-326.
- Gogte, B.S., 1973**, An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions. Eng. Geol. 7, pp. 135-153.
- Grattan-Bellew, P.E., 1987**, Concrete alkali-aggregate reactions, Noyes Publications, Park Ridge, pp. 331-335.
- Hobbs, D. W., 1990**, Cracking and expansion due to the alkali-silica reaction: its effect on concrete, Structural Engineering Review, 2, 65-79.
- Hornibrook, F.B., Insley, H., Schuman, L., 1943**, Report on committee C-1 on cement (appendix). Proc. Am. Soc. Test. Mater. 43, p. 218.
- Katayama, T., St John, D.A., Futagawa, T., 1989**, The petrographic comparison of rocks from Japan and New Zealand - potential reactivity related to interstitial glass and silica minerals. In K. Okada, S. Nishibayashi, & M. Kawamura (Eds.), 8th International conference (on) alkali-aggregate reaction, 537-541, London.
- Landgren, R., and Sweet, S., 1952**, Investigation of durability of Wyoming aggregates. Proc. Highway Res. Board 31, pp. 202-217.
- Le Maitre, R.W., Bateman P., Dudek A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen, A., Woolley, A.R., Zanettin B., 1989**, A classification of igneous rocks and glossary of terms, Blackwell, Oxford.
- Marfil S. A., and Maiza, P. J., 2001**, Deteriorated pavements due to the alkali-silica reaction: A petrographic study of three cases in Argentina, Cem. Concr. Res. 31 (7) 1017-1021.
- Mielenz, R.C., 1954**, Petrographic examination of concrete aggregate. Proc. Am. Soc. Test. Mater. 54, pp. 1188-1218.
- Postacioğlu, B., 1987**, Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 404 s.
- Rhoades, R., 1942**, Discussion of a paper by Stanton, Porter, Meder and Nicol, California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. J. Am. Concrete Inst. Proc. 38, 236:7-236:11.
- Smith, M. R., and Collis, L., 2001**, (eds.), Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction purposes, Geological Society, Engineering Geology Special Publication 17, London.
- Stanton T.E., 1941**, Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, discussions. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 67, 1402-1418
- Stanton, T.E., 1940**, Influence of cement and aggregate on concrete expansion. Eng. News Record February 1, 59-61.
- Stanton, T.E., Porter, O.J., Medar, L.C., Nicol, A., 1942**, California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. J. Am. Concrete Inst. 13, 209-236.
- Streckeisen, A., 1976**, To each plutonic rock its proper name, Earth.Sci.Rev., 12, 1-33.
- TS 2517, 1977**, Alkali agregre reaktivitesinin kimyasal yolla tayini, Türk Standartları Enst.
- Wakizaka, Y., 1998**, Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution. J. Res., Public Works Res. Inst. 34 - 146.
- Wakizaka, Y., 2000**, Alkali-silica reactivity of Japanese rocks, Engineering Geology, 56 (1-2) 211-221.
- Wakizaka, Y., Morita, S. Kawano, H., 1987**, Relationships between mineral assemblages of rocks and their alkali reactivities. CAJ Rev. 292-295.
- Wakizaka, Y., Morita, S., Kawano, H. Ichikawa, K., 1989**, Mineralogical interpretations of dissolved silica and reduction in alkalinity of the chemical method. In: Proc. 8th Int. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, pp. 519-524.

Yayına Geliş - Received : 11.10.04

Yayına Kabul - Accepted : 16.12.04