

## Granitik Agregaların Alkali Silis Reaksiyonu Yönünden Değerlendirilmesi

*Evaluation of Alkali-Silica Reactivity of Granitic Aggregates*

**Nuray MANNASOĞLU, Murat YILMAZ, Atiye TUĞRUL**

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İSTANBUL*

Geliş (received) : 02 Mart (March) 2016  
Düzeltilme (revised) : 23 Mart (March) 2016  
Kabul (accepted) : 24 Mart (March) 2016

### ÖZ

Agrega, beton bileşiminde en çok kullanılan malzeme olduğundan, özellikleri betonun dayanıklılığını (durabilitesini) doğrudan etkilemektedir. Agreganın türü, mineralojisi, dokusu gibi jeolojik faktörler betonun dayanımında ve dayanıklılığında önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada; Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan granitik kayalar, betonda alkali silis reaksiyonu açısından incelenmiştir. Çalışma kapsamında; öncelikle granitik kayaların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiş, daha sonra bu granit örnekler üzerinde hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Oluşan alkali silis reaksiyonunun etkileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Elde edilen veriler, granitlerin beton agregası olarak kullanılması durumunda, örneklerin büyük çoğunluğunun alkali silis reaksiyonu açısından riskli olmadığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Agregası, Alkali-Silis Reaksiyonu, Granit, Türkiye.

### ABSTRACT

*Aggregate has widely used in concrete composition and its properties directly affects the durability of concrete. Geological factors such as aggregate type, mineralogy and texture have significant effects on concrete strength and durability. In this study, granitic rocks collected from different parts of Turkey, have been investigated from the point of alkali-silica reactions in concrete. Firstly, mineralogical, petrographic and chemical characteristics of granitic rocks were investigated. Then, accelerated mortar bar tests were performed on these granite samples. The effects of alkali-silica reactions were also investigated by scanning electron microscope (SEM). According to results obtained, granites, when used as concrete aggregate, are not generally found to be potentially dangerous for alkali-silica reactions.*

**Key Words:** Aggregate, Alkali-Silica Reaction, Granite, Turkey.

M. Yılmaz

E-posta: yilmazm@istanbul.edu.tr

## GİRİŞ

Alkali-silis reaksiyonu (ASR); reaktif silis formları içeren agregaların çimento ve/veya dış kaynaklardan gelen alkali oksitlerle reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda genleşebilme özelliğine sahip bir jelin meydana gelmesidir (Neville, 1981; Moranville-Regourd, 1997). Bu jel, su emdikçe hacmi daha çok artmakta, betonda çatlamlara neden olmakta (Nixon ve Page, 1987; Binal, 2008) ve bu çatlaklar betonun dayanımını önemli oranda düşürmektedir (Fookes, 1980; Struble ve Diamond, 1981; Wakizaka, 1998; Marzouk ve Langdon, 2003).

Reaksiyonun oluşabilmesi için, çimentodaki alkali içeriğinin, bir başka deyişle  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$  değerinin, % 0.60'ı ve ortamdaki nemin 20 °C sıcaklıkta % 85'i aşması gerekir (Arnould, 1997). Bu koşullardan herhangi biri olmazsa alkali-silis reaksiyonu nedeniyle bir genleşme de olmayacaktır. Bunun dışında ortamın gözenekliliği de reaksiyon açısından önemlidir (Swamy, 1992; Moranville-Regourd, 1997; Rivard vd., 2002).

Bazı agregalar kökenleri ile ilgili olarak reaksiyona girebilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu tür bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile güçlü bir kimyasal reaksiyona girer ve önce berrak, çoğunlukla yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkali silis çözeltisini meydana getirir (Ben Haha, 2006). Agreganın alkaliye duyarlı bileşenleri böylece yumuşar ve çözünür (Swamy, 1992). Reaksiyon süresi ve şiddeti, özellikle agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğüne ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır

(Hobbs ve Gutteridge, 1979; Stark vd., 1993; Gillott ve Rogers, 1994; Prince vd., 2001). Bu nedenle, alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir (Fookes, 1980; Swamy, 1992; Fournier ve Berube, 2000).

Agregayı oluşturan bileşenlerin tümü ve formu agreganın reaktifliğini belirler. Alkali-silis reaksiyonu ilk kez Stanton (1940) tarafından tanımlanmıştır. Reaksiyona neden olan mineraller; opal (McConnell vd., 1950; Ineson, 1990; Bell, 1998), kalsedon ve volkan camı (Rhoades, 1942; McConnell vd., 1950; Katayama ve Kaneshige, 1986; Ineson, 1990; Shrimmer vd., 2000), kriptokristalin kuvars (Stanton, 1940), tridimit (Hornibrook vd., 1943; McConnell vd., 1950; Ineson, 1990; Bell, 1998), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952; Mielenz, 1954; Ineson, 1990) ile basınç etkisinde kalmış çatlaklı kuvarstır (McConnell vd., 1950; Gogte, 1973; Bell, 1998). Genel olarak opal, çört ve kalsedon gibi aktif silisçe zengin kayaçların alkali-silis reaksiyonuna neden olmalarının yanı sıra, silisçe zengin kayaçların çoğu da bu reaksiyona neden olabilmektedir; (1) granit ve kuvarsit (Mullick vd., 1986); (2) fillit, kuvarsit ve gnays (Buck, 1986); (3) granodiyorit (Moranville-Regourd, 1997); (4) sedimanter agregalar (Shayan ve Lancucki, 1986); (5) çört ve silttaş (Joyce, 1996). Bu tür malzemeler, beton üretiminde kullanıldıklarında reaksiyon oluşturabilir. Alkali-silis reaksiyonu konusunda yapılan araştırmalarda, fillitler içerisinde bulunan hidromikanın (illit) alkali-silikat reaksiyonuna neden olduğu ifade edilmiştir (McConnell vd., 1950; Bell, 1998; Lorenzi vd., 2001). Alkali-agrega reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla birçok 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 (1994)'tür.

Bu araştırma kapsamında, Türkiye'nin değişik bölgelerinden alınan farklı doku ve bileşime sahip granitik kayaların, betonda alkali silis reaksiyonu açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın yapıldığı inceleme alanları; Marmara Bölgesi'nde yer alan Kırklareli-Balaban (KB), Çatalca-Şeytandere (CS), Gebze-Sancaktepe (GS), Armutlu-Fıstıklı (AF), Kapıdağ Yarımadası'nda bulunan Erdek (ER), Çanakkale-Kestanbol (CK), Ege Bölgesi'nde yer alan Bergama-Kozak (IB), Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Giresun-Bulancak (GV),

İç Anadolu Bölgesi'ndeki Aksaray-Yaylak Köyü (AY) ve Aksaray-Sipahi Köyü (AS) bölgelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada öncelikle, granitik kayaların bileşiminde alkali-silis reaksiyonuna yol açabilen minerallerin varlığı, polarizan mikroskop incelemeleriyle belirlenmiştir. Daha sonra, kimyasal analizlerle bu kayaların içerdiği ana element oksit yüzdeleri belirlenmiştir. ASTM C 1260 (1999) tarafından verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ile granitik kayaların alkali-silis reaktivitesi araştırılmıştır. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri ile reaksiyon ürünlerinin gelişimi ve agrega-çimento sınırı incelenmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan granitik kayaların alındığı ocak yerlerinin yer bulduru haritası.

Figure 1. Map showing the sampling locations of the granitic rocks tested in the present work.

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul

## İNCELENEN GRANİTİK KAYAÇLARIN MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

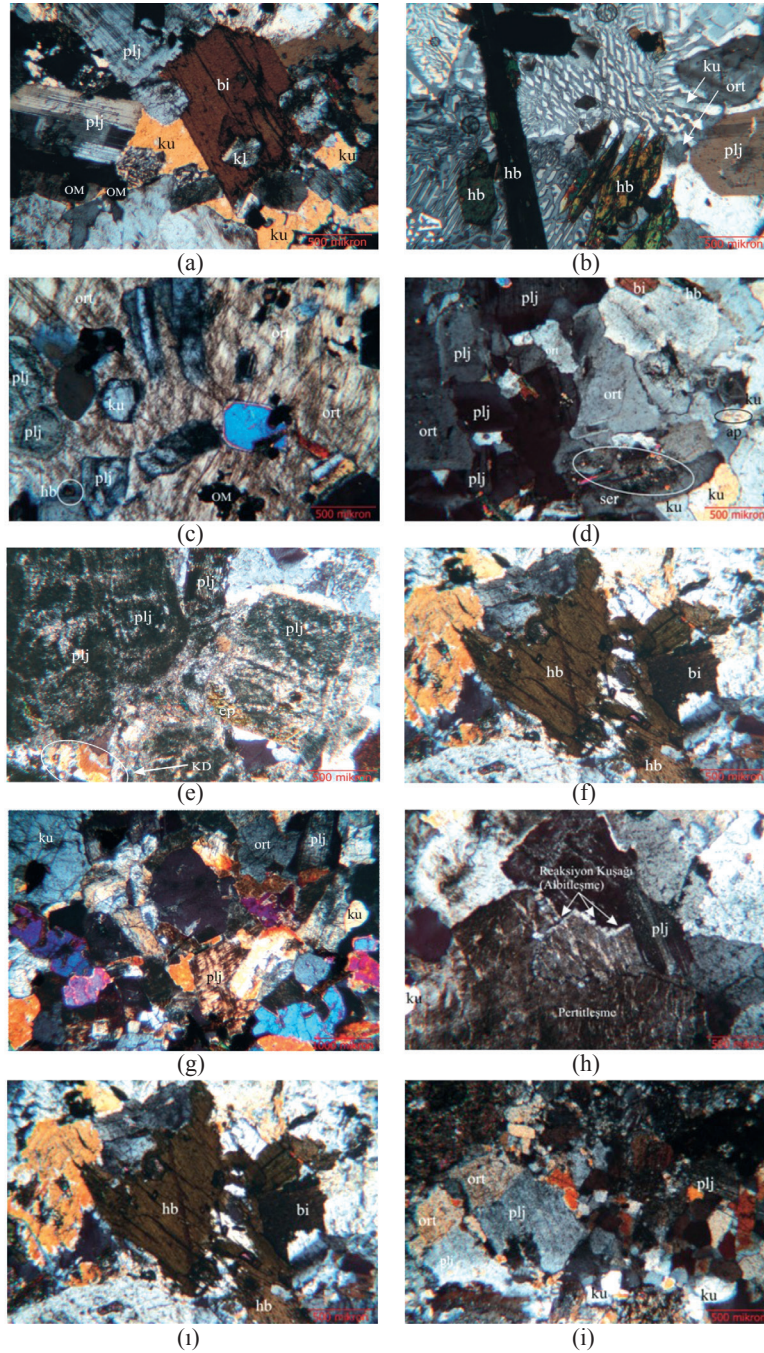
Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan granitik kayaçların mineralojik ve petrografik

özelliklerini belirlemek amacıyla ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenen granitik kayaçların petrografik özellikleri Çizelge 1'de ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Granitik kayaçların petrografik özellikleri.

Table 1. *Petrographic properties of the granitic rocks.*

| Örnek Kodu | Alındığı yer        | Doku                                        | Kristal boyutu (Erkan, 2004) | Mineralojik bileşim                                                                        | Ayrışma/Hidrotermal alterasyon                      | Kayaç adı (Streckeisen, 1979)    |
|------------|---------------------|---------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|
| GV         | Giresun-Bulancak    | Holokristalin taneseli doku                 | İnce-orta taneli             | Ortoklaz, plajiyoklaz, kuvars, hornblend, biyotit, klorit, epidot, titanit                 | Albitleşme, killeşme, serizitleşme, kloritleşme     | Kuvars monzonit                  |
| IB         | Bergama-Kozak       | Tüm kristalli yarı özşekilli taneseli doku  | İnce-orta taneli             | Plajiyoklaz, kuvars, ortoklaz, hornblend, biyotit, çok fazla opak min.                     | Killeşme, serizitleşme                              | Kuvars monzonit                  |
| CK         | Çanakkale-Kestanbol | Holokristalin taneseli doku                 | Orta-iri taneli              | Ortoklaz, plajiyoklaz, kuvars amfibol (hornblend), biyotit                                 | Kloritleşme, epidotlaşma, killeşme                  | Kuvars monzonit                  |
| ER         | Bandırma-Erdek      | Holokristalin taneseli doku                 | İnce taneli                  | Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit, amfibol (mafik mineral oranı az), klorit, muskovit | Kloritleşme, muskovitleşme, killeşme, serizitleşme  | Granit/monzogranit               |
| KB         | Kırklareli-Balaban  | Blastoholokris-talin (blasto-granüler doku) | İnce-orta taneli             | Kuvars, feldispat (ortoklaz, plajiyoklaz) amfibol, muskovit, epidot, klorit, sfen          | Feldispatlarda kloritleşme, epidotlaşma, albitleşme | Granit/monzogranit (Metagranit)  |
| AY         | Aksaray-Yaylak      | Holokristalin taneseli doku                 | Orta taneli                  | Ortoklaz, plajiyoklaz, kuvars, biyotit ve az miktarda amfibol, opak min., zirkon           | Killeşme, serizitleşme                              | Granit/monzogranit               |
| AF         | Armutlu-Fıstıklı    | Holokristalin taneseli doku                 | Orta-iri taneli              | Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit, amfibol, piroksen                                  | Kloritleşme, killeşme, serizitleşme                 | Granit/monzogranit               |
| GS         | Gebze-Sancaktepe    | Holokristalin taneseli doku                 | Orta-iri taneli              | Ortoklaz, kuvars, plajiyoklaz, biyotit, zirkon                                             | Serizitleşme, albitleşme, pertitleşme               | Granit/monzogranit               |
| AS         | Aksaray-Sipahi      | Holokristalin taneseli doku                 | Orta-iri taneli              | Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, hornblend, biyotit, epidot, klorit, titanit, zirkon         | Kloritleşme, epidotlaşma                            | Granit/ Monzogranit (Metagranit) |
| CS         | Çatalca-Şeytandere  | Holokristalin taneseli doku                 | İnce-orta taneli             | Ortoklaz, kuvars, plajiyoklaz, amfibol, biyotitten muskovit, klorit                        | Serizitleşme, albitleşme, killeşme                  | Granit/monzogranit               |



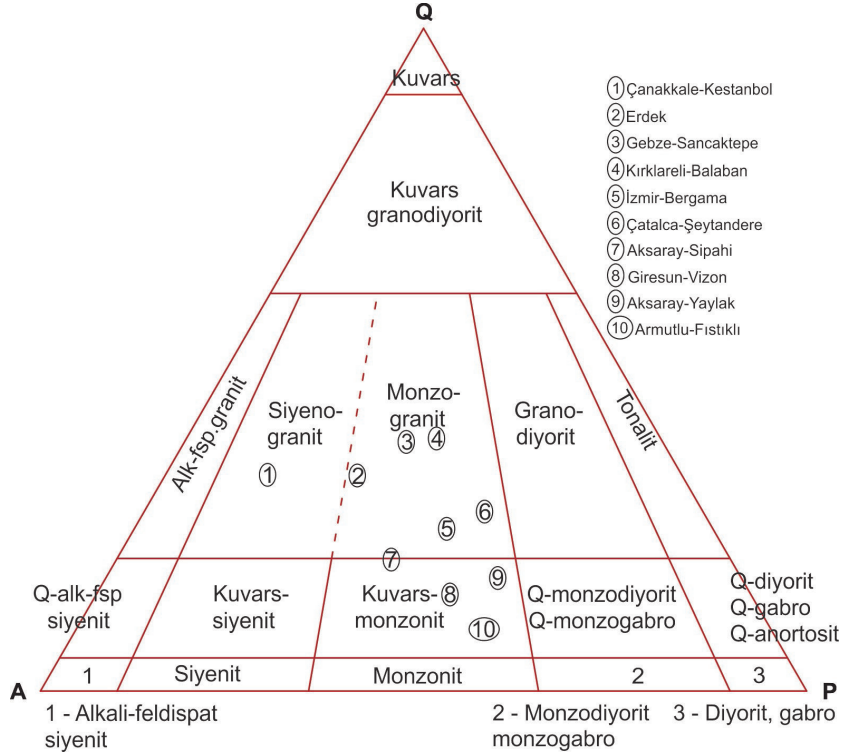
Şekil 2. Granitik kayaların ince kesit görüntüleri, (a) GV, (b) IB, (c) CK, (d) ER, (e) KB, (f) AY, (g) AF, (h) GS, (i) AS, (i) CS. (ort: ortoklaz, plj: plajiyoklaz, ku: kuvars, bi: biyotit, kl: klorit, OM: opak mineral, hb: hornblend, ser: serizit, ap: apatit, ep: epidot, KD: kataklastik doku).

Figure 2. Thin sections of the granitic rocks, (a) GV, (b) IB, (c) CK, (d) ER, (e) KB, (f) AY, (g) AF, (h) GS, (i) AS, (i) CS. (ort: orthoclase, plj: plagioclase, ku: quartz, bi: biotite, kl: chlorite, OM: opaque mineral, hb: hornblende, ser: serizite, ap: apatite, ep: epidote, KD: cataclastic texture).

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul

Granitik kayaç örnekleri üzerinde nokta sayacı ile yapılan petrografik incelemelerden elde edilen modal mineral oranları Çizelge 2’de,

bu oranlardan türetilmiş olan QAP (Streckeisen, 1967) Diyagramı Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Granitlerin modal minerolojik bileşimine göre Q (Kuars)- A (Alkali Feldspat)- P (Plajiyoklaz) diyagramında (Streckeisen, 1967) sınıflandırılması.

Figure 3. Modal mineralogic composition of granites according to Q (Quartz)- A (Alkali Feldspar)- P (Plagioclase) classification (Streckeisen, 1967).

Çizelge 2. Granitik kayaçların modal mineral analiz sonuçları.

Table 2. Results of modal mineral analyses of the granitic rocks.

| Örnek kodu | Kuars | Plajiyoklaz | Ortoklaz | Biyotit | Hornblend | Altere min. | Klorit | Opak min. |
|------------|-------|-------------|----------|---------|-----------|-------------|--------|-----------|
| GV         | 7.6   | 39          | 34.6     | 5.4     | 4.6       | 5.3         | 1.9    | 1         |
| IB         | 14.7  | 43.9        | 26.8     | 8.5     | 5.2       | 0.5         | -      | -         |
| CK         | 12.1  | 37.4        | 37.5     | 4.7     | 7.5       | 0.7         | -      | -         |
| ER         | 24    | 40.5        | 26       | 5.2     | 1.8       | 2.5         | -      | -         |
| KB         | 21.5  | 16.4        | 28.2     | 1.2     | 5.5       | 26.9        | -      | -         |
| AY         | 14.3  | 25          | 31.6     | 9.3     | 1         | 16.2        | -      | 2.5       |
| AF         | 29.3  | 24.8        | 21.9     | 13.1    | 3         | 6.6         | 1.2    | -         |
| GS         | 18.9  | 8.3         | 31.1     | 2.9     | -         | 36.7        | 0.5    | 1.4       |
| AS         | 19.5  | 33.4        | 28.5     | 5.2     | 4.5       | 2.7         | 2.3    | 1.5       |
| CS         | 27.2  | 20.1        | 24.4     | 7.1     | 4.4       | 15.6        | 1.1    | -         |

## İNCELENEN GRANİTİK KAYAÇLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Araştırma kapsamındaki granitik kayaçların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Analizler için, granitik kayaç örneklerinden taze örnekler hazırlanmış ve içerdikleri ana element oksit yüzdeleri belirlenmiştir. Analizler, Kanada ACME Laboratuvarında XRF yöntemine göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Granitik kayaçların ana element oksit yüzdeleri.

Table 3. Main element oxide percentages of the granitic rocks.

| Örnek kodu | Ana element oksit yüzdeleri (%) |                                |                                |      |      |                   |                  |                  |                               |      |
|------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------|
|            | SiO <sub>2</sub>                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  |
| GV         | 60.94                           | 16.49                          | 5.92                           | 1.10 | 3.75 | 3.09              | 6.39             | 0.45             | 0.37                          | 0.17 |
| IB         | 65.29                           | 14.36                          | 4.46                           | 2.34 | 5.03 | 3.29              | 2.93             | 0.37             | 0.47                          | 0.10 |
| CK         | 63.53                           | 14.84                          | 4.87                           | 2.21 | 4.52 | 3.82              | 4.06             | 0.61             | 0.35                          | 0.10 |
| ER         | 71.63                           | 14.39                          | 2.01                           | 0.50 | 2.90 | 3.84              | 3.15             | 0.25             | 0.16                          | 0.08 |
| KB         | 69.45                           | 12.80                          | 3.49                           | 1.66 | 3.50 | 2.88              | 3.26             | 0.63             | 0.34                          | 0.09 |
| AY         | 71.79                           | 14.52                          | 2.32                           | 0.35 | 2.58 | 3.28              | 4.14             | 0.13             | 0.08                          | 0.07 |
| AF         | 67.77                           | 15.45                          | 3.08                           | 0.78 | 2.54 | 3.84              | 3.22             | 0.32             | 0.09                          | 0.15 |
| GS         | 73.10                           | 13.54                          | 1.96                           | 0.24 | 0.77 | 3.48              | 5.15             | 0.44             | 0.06                          | 0.03 |
| AS         | 68.76                           | 15.30                          | 2.49                           | 0.70 | 3.94 | 4.41              | 2.51             | 0.36             | 0.27                          | 0.08 |
| CS         | 74.38                           | 12.72                          | 3.15                           | 0.41 | 0.82 | 3.43              | 3.40             | 0.25             | 0.06                          | 0.10 |

## ALKALİ SİLİS REAKSİYONU

### Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

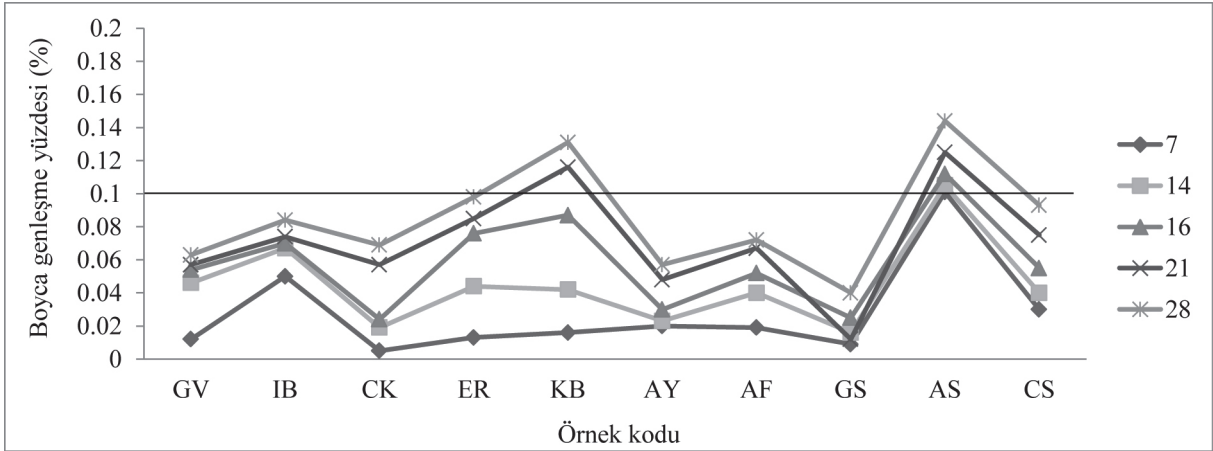
İncelenen granit örneklerindeki aktif silis ile diğer reaktif minerallerin zararlı etkilerini belirlemek amacıyla, ASTM C1260 (1999) tarafından verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerle, incelenen granitlerin, çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon nedeniyle meydana gelen genleşmelere bağlı boyca uzamaları belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5R portland çimentosu) özellikleri Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5 R) özellikleri.

Table 4. Properties of cement used in the experiments.

| Kimyasal özellikler            | Deney sonuçları (%) |
|--------------------------------|---------------------|
| Kızdırma kaybı                 | 4.03                |
| SiO <sub>2</sub>               | 19.61               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.84                |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.13                |
| CaO                            | 62.81               |
| MgO                            | 1.30                |
| SO <sub>3</sub>                | 3.09                |
| K <sub>2</sub> O               | 0.74                |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.22                |
| Çözünmeyen kalıntı             | 0.21                |

Deneyler, en az üç örnek üzerinde yapılmış olup, elde edilen genleşme oranları; 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük dönemler halinde Çizelge 5'te ve Şekil 4'te sunulmuştur. Bu çizelgede görüldüğü gibi, tüm ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek genleşmenin AS kodlu granit ile üretilen harç çubuklarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



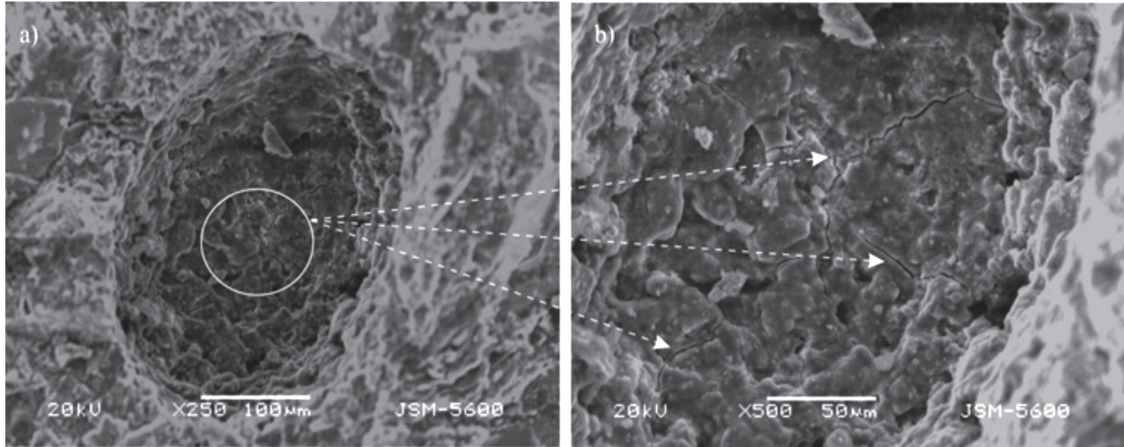
Şekil 4. 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük genişleme değerlerinin değişimi.

Figure 4. Changes in expansion values at 7, 14, 16, 21 and 28 days.

### Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde kullanılan örnekler üzerindeki alkali-silis reaksiyonu etkilerini gözlemlemek amacıyla

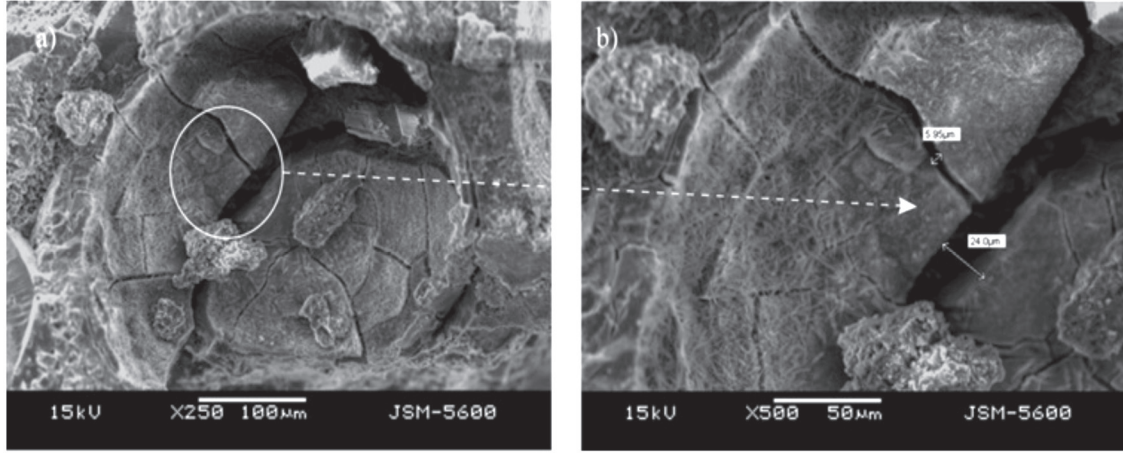
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır. Harç numunelerine ait elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'te sunulmuştur.



Şekil 5. GV kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) tane yüzeyinde gelişen tipik genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

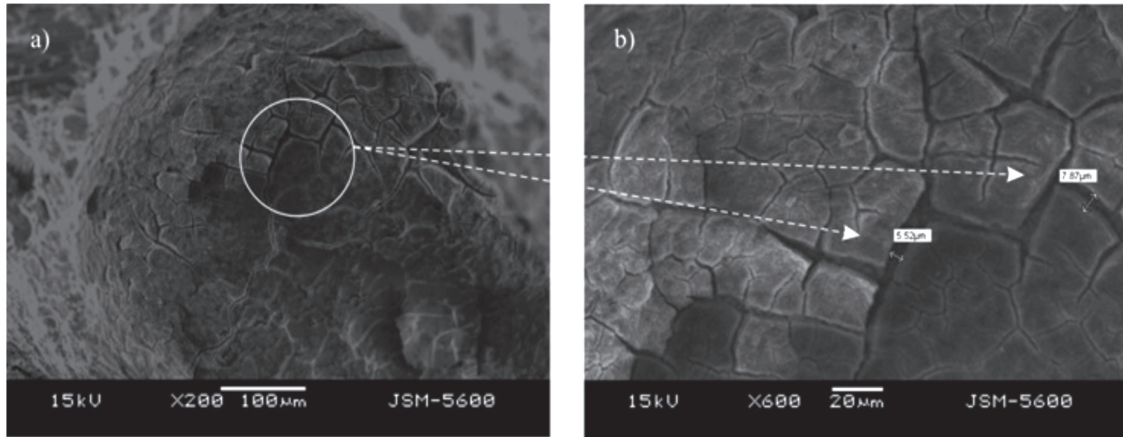
Figure 5. SEM images of mortar bars produced by GV coded granite: a) typical expansion cracks developed on the particle surface, b) close view of same cracks.





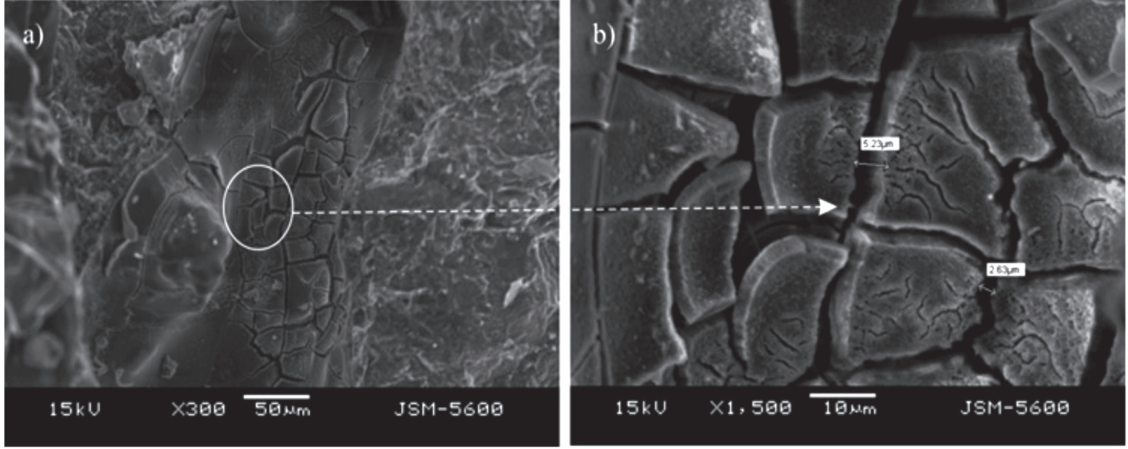
Şekil 6. IB kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) jelde oluşan genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların ve çatlak açıklığının yakından görünümü.

Figure 6. SEM images of mortar bars produced by IB coded granite: a) expansion cracks developed in gel, b) close view of same cracks and crack aperture.



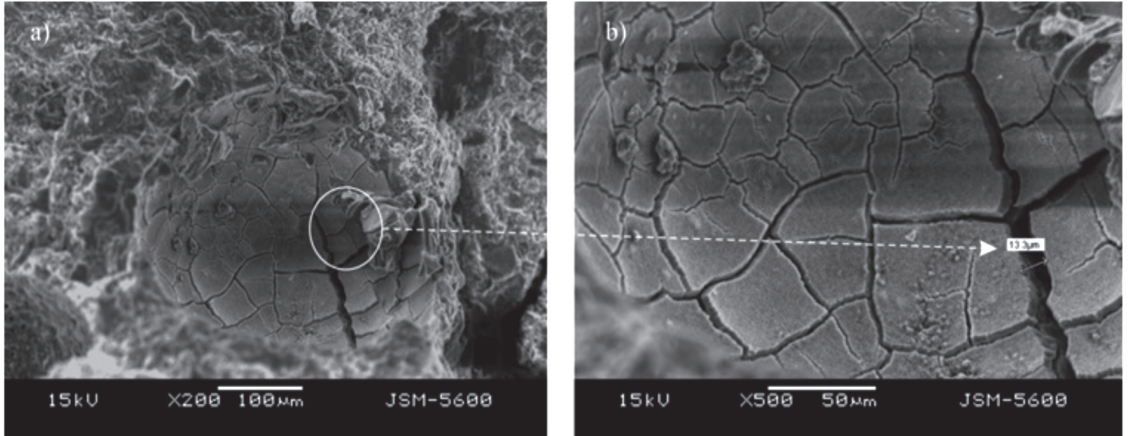
Şekil 7. CK kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) çatlakların görünümü, b) çatlakların yakından görünümü ve açıklık ölçümü.

Figure 7. SEM images of mortar bars produced by CK coded granite: a) view of cracks, b) close view of same cracks and crack aperture.



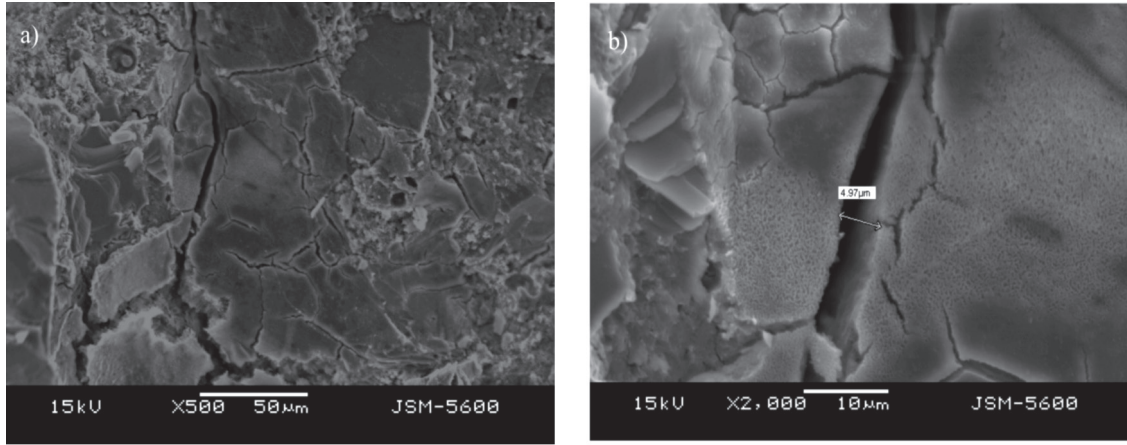
Şekil 8. ER kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) çatlakların görünümü, b) çatlakların yakından görünümü ve açıklık ölçümü.

Figure 8. SEM images of mortar bars produced by ER coded granite: a) view of cracks, b) close view of same cracks and crack aperture.

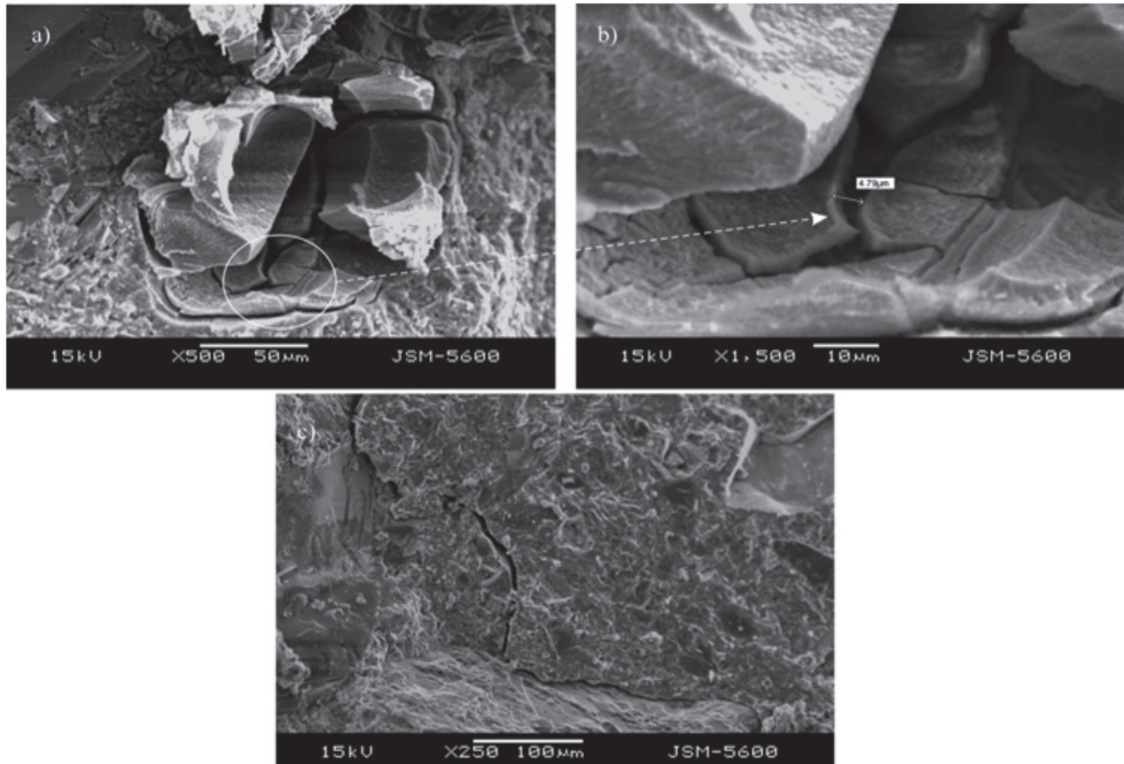


Şekil 9. KB kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) jelde oluşan tipik genleşme çatlakları, b) çatlak açıklığının yakından görünümü.

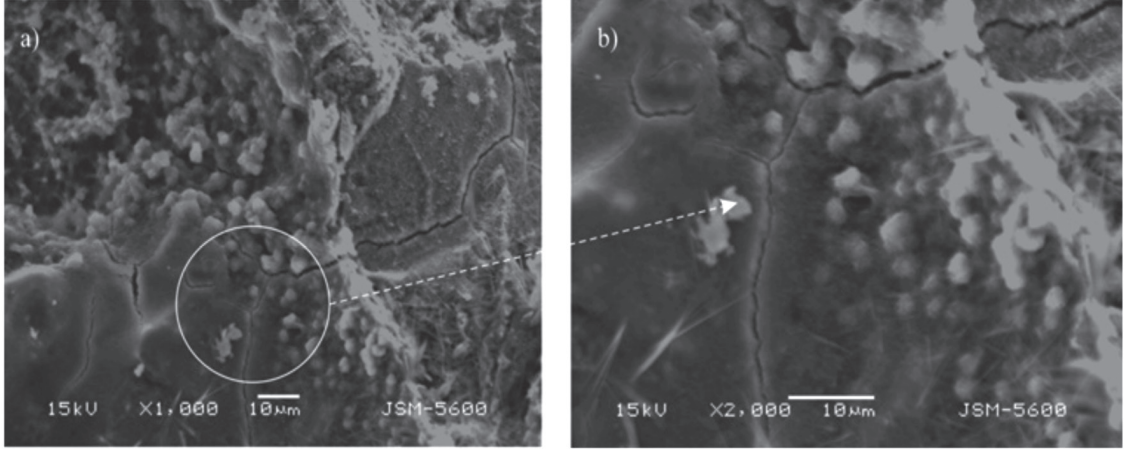
Figure 9. SEM images of mortar bars produced by KB coded granite: a) typical expansion cracks developed in gel, b) close view of crack aperture.



Şekil 10. a) AY kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri, b) jelde oluşan tipik genişleme çatlakları.  
 Figure 10. a) SEM images of mortar bars produced by AY coded granite, b) typical expansion cracks developed in gel.

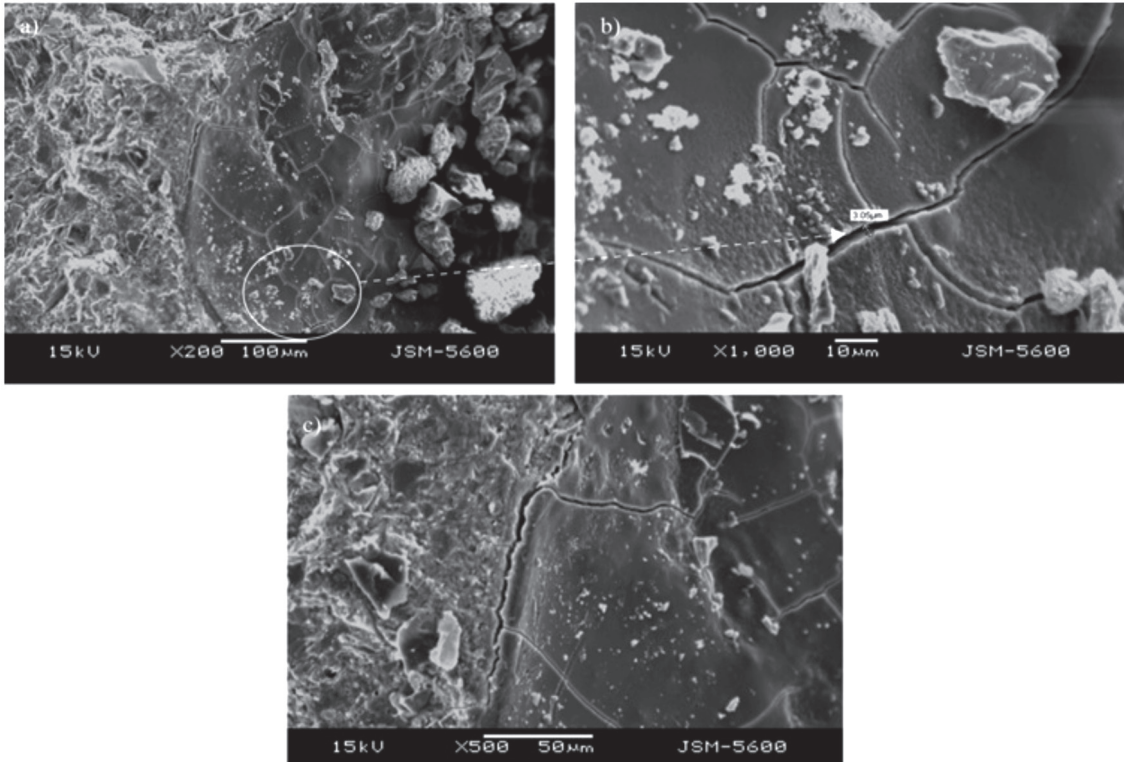


Şekil 11. AF kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri ve jelde oluşan tipik genişleme çatlakları.  
 Figure 11. SEM images of mortar bars produced by AF coded granite and typical expansion cracks developed in gel.



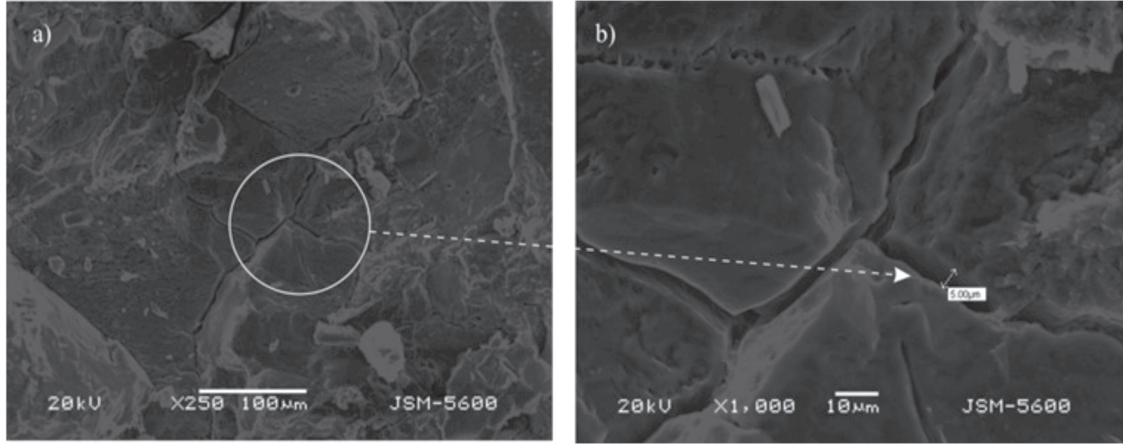
Şekil 12. GS kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) tipik genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 12. SEM images of mortar bars produced by GS coded granite: a) typical expansion cracks, b) close view of same cracks.



Şekil 13. a, b, c) AS kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a, c) tipik genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 13. a, b, c) SEM images of mortar bars produced by AS coded granite: a, c) typical expansion cracks produced in gel, b) close view of same cracks.



Şekil 14. CS kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görümleri: a) tipik genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 14. SEM images of mortar bars produced by AS coded granite: a) typical expansion cracks produced in gel, b) close view of same cracks.

## DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Petrografik incelemelere göre; bu çalışmada kullanılan granitik kayalarda kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, hornblend ve biyotit ana mineraller olarak gözlenmiştir. Bunun yanı sıra; klorit, epidot, muskovit, serizit, kalsit ikincil mineral olarak, titanit, zirkon, apatit ve opak mineraller ise tâli mineraller olarak bulunmuştur. Bu minerallerden ikincil olanlar, ayrışma ve/veya hidrotermal alterasyon ürünleridir (Çizelge 1, 2 ve Şekil 2).

ASTM C 1260 (1994)'te, 16 günlük genişleme oranına göre değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre, genişleme oranı, % 0.1'den düşük ise agrega "zararsız", % 0.2'den büyük ise "potansiyel zararlı" kabul edilmektedir. Genişleme oranı % 0.1-0.2 arasında ise ek bilgi sağlayan yöntemlere başvurulmalıdır. Bu yöntemler petrografik analiz ve alkali-silis reaksiyon ürünlerinin tanımlanmasıdır. Ayrıca, genişleme oranındaki değişime bağlı olarak deney

süresi 21 ile 28 gün arasında değişebilir. Çizelge 5'te görüldüğü gibi, hazırlanan harç çubuklarının 7 günlük boyca uzama yüzdesi ölçümleri sonucunda, ortalama en yüksek genişlemenin AS kodlu granitler ile hazırlanan harç çubuklarında, ortalama en düşük genişlemenin ise CK kodlu granitler ile hazırlanan harç çubuklarında olduğu belirlenmiştir. 16 günlük boyca uzama yüzdesi ölçümlerine bakıldığında, en yüksek boyca genişleme yüzdesinin AS kodlu örneğe ait olduğu, en düşük genişleme oranının ise CK kodlu örneğe ait olduğu belirlenmiştir. 16 gün sonunda elde edilen veriler sonucunda AS kodlu granitin genişleme oranının yukarıda belirtildiği gibi % 0.1'lik genişleme oranı limitini geçmesi, bu örneğin alkali silis reaksiyonu için potansiyel zararlı olduğunu göstermiştir. Bu sebeple Çizelge 5'te görüldüğü gibi deneyler 28 güne kadar uzatılmış ve sonuçta ortalama en yüksek genişlemenin yine AS kodlu granitler ile hazırlanan harç çubuklarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul

Çizelge 5. Granit örnekleriyle hazırlanan harç çubuklarının boyca genleşme yüzdeleri.

Table 5. Expansion percentages of mortar bars prepared with the granite samples.

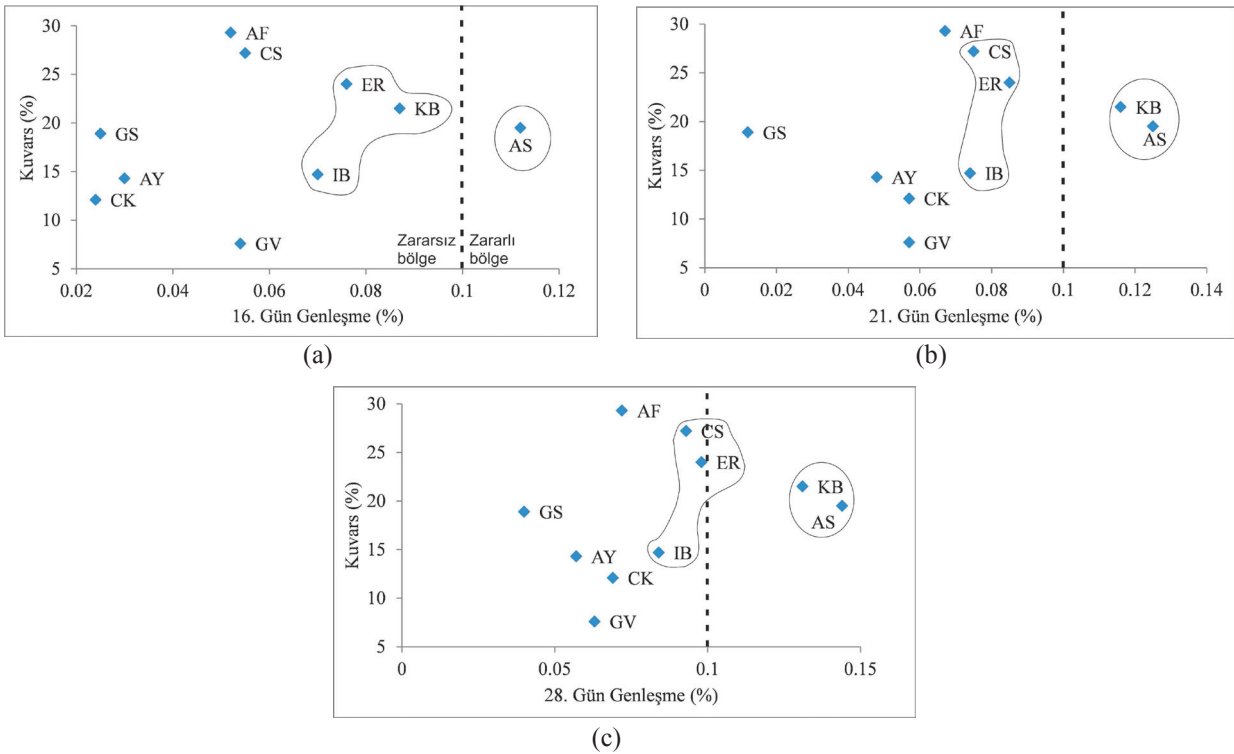
| Örnek kodu |           | 7. gün | 14. gün | 16. gün | 21. gün | 28. gün |
|------------|-----------|--------|---------|---------|---------|---------|
| GV         | En Düşük  | 0.007  | 0.021   | 0.025   | 0.026   | 0.030   |
|            | En Yüksek | 0.021  | 0.070   | 0.081   | 0.086   | 0.090   |
|            | % Ort.    | 0.012  | 0.046   | 0.054   | 0.057   | 0.063   |
| IB         | En Düşük  | 0.012  | 0.018   | 0.021   | 0.024   | 0.028   |
|            | En Yüksek | 0.058  | 0.098   | 0.105   | 0.108   | 0.108   |
|            | % Ort.    | 0.050  | 0.067   | 0.070   | 0.074   | 0.084   |
| CK         | En Düşük  | 0.001  | 0.007   | 0.008   | 0.036   | 0.044   |
|            | En Yüksek | 0.013  | 0.027   | 0.036   | 0.069   | 0.083   |
|            | % Ort.    | 0.005  | 0.019   | 0.024   | 0.057   | 0.069   |
| ER         | En Düşük  | 0.007  | 0.023   | 0.072   | 0.074   | 0.084   |
|            | En Yüksek | 0.019  | 0.068   | 0.085   | 0.123   | 0.129   |
|            | % Ort.    | 0.013  | 0.044   | 0.076   | 0.085   | 0.098   |
| KB         | En Düşük  | 0.004  | 0.007   | 0.066   | 0.081   | 0.095   |
|            | En Yüksek | 0.035  | 0.069   | 0.118   | 0.139   | 0.150   |
|            | % Ort.    | 0.016  | 0.042   | 0.087   | 0.116   | 0.131   |
| AY         | En Düşük  | 0.004  | 0.006   | 0.010   | 0.018   | 0.026   |
|            | En Yüksek | 0.036  | 0.043   | 0.046   | 0.082   | 0.094   |
|            | % Ort.    | 0.020  | 0.023   | 0.030   | 0.048   | 0.057   |
| AF         | En Düşük  | 0.010  | 0.014   | 0.021   | 0.022   | 0.023   |
|            | En Yüksek | 0.035  | 0.053   | 0.068   | 0.099   | 0.101   |
|            | % Ort.    | 0.019  | 0.040   | 0.052   | 0.067   | 0.072   |
| GS         | En Düşük  | 0.002  | 0.009   | 0.009   | 0.002   | 0.021   |
|            | En Yüksek | 0.017  | 0.022   | 0.053   | 0.057   | 0.072   |
|            | % Ort.    | 0.009  | 0.016   | 0.025   | 0.012   | 0.040   |
| AS         | En Düşük  | 0.098  | 0.103   | 0.109   | 0.115   | 0.123   |
|            | En Yüksek | 0.103  | 0.108   | 0.115   | 0.143   | 0.167   |
|            | % Ort.    | 0.101  | 0.105   | 0.112   | 0.125   | 0.144   |
| CS         | En Düşük  | 0.016  | 0.022   | 0.031   | 0.047   | 0.069   |
|            | En Yüksek | 0.057  | 0.060   | 0.072   | 0.102   | 0.114   |
|            | % Ort.    | 0.030  | 0.040   | 0.055   | 0.075   | 0.093   |

Alkali silis reaksiyonunun etkilerini belirlemede kullanılan ve benzer deney yöntemlerinde biri olan CSA A23.2 (1994)'te ise 14 günlük genleşme oranları dikkate alınmaktadır. Bu standarda göre; 14 günlük genleşmelerin %0.1'den fazla olması durumunda

agregalar reaksiyon açısından sakıncalı olarak değerlendirilmektedir. Özellikleri Çizelge 4'te sunulan çimento ile yapılan harç çubuklarının 14 günlük ortalama genleşme yüzdelerine bakıldığında, AS kodlu granitin yüzdesi standart limitin üzerindedir (Çizelge 5).

İncelenen harç örneklerinden AS örneği dışındaki diğer tüm harç çubuklarında, 16 gün sonunda, alkali silis reaksiyonu oluşumu görülmemektedir (Çizelge 5). Bununla birlikte, granitlerin bileşiminde bulunan kuvars yüzdelерinin genişleme ile ilişkisini belirlemek amacı ile kuvars yüzdesi-genişleme diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 15). 16 günlük genişleme diyagramını incelendiğinde (Şekil 15a); AS kodlu örnek zararlı bölgede, KB, ER ve IB kodlu örnekler ise zararsız bölgede olup zararlı bölgeye en yakın yerde konumlanmışlardır. 21 günlük genişleme diyagramını incelendiğinde (Şekil 15b);

KB kodlu örnekte genişleme oranı artmış ve AS kodlu örneğe yakın bir sonuç vermiştir. ER ve IB kodlu örneklerde fazla genişleme olmazken, CS kodlu örnekte genişleme artmıştır. 28 günlük genişleme diyagramını incelendiğinde ise (Şekil 15c); AS ve KB'nin genişlemeleri artmaya devam etmiştir. ER, IB ve CS kodlu örneklerde az oranda genişleme devam etmiştir. Başta AS olmak üzere KB kodlu örnekte de görülen yüksek genişlemenin, bu örneklerin bileşiminde bulunan ve metamorfizmadan etkilenen kuvarslardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 15. Granitler içerisindeki a) 16 günlük b) 21 günlük c) 28 günlük kuvars yüzdesi genişleme diyagramları.

Figure 15. a) 16 day b) 21 day c) 28 day expansion diagrams including quartz percentage in the granities.

Alkali silis reaksiyonunun meydana gelmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Ben Haha (2006) tarafından da belirtildiği gibi, yeni yapılmış betonda reaksiyon oluşmasını engellemek amacı ile yeni metodlar geliştirilmesine rağmen, gelecekte meydana gelebilecek reaksiyon ve etkileri belirlemek için de bazı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Alkali silis reaksiyonu, kompleks mineral yapısı olan ve reaktif olmayan agregalarda son derece yavaş ilerleyen bir olaydır. Bu sebeple reaksiyon aşamalarını tespit etmek için; agregadaki mevcut reaktivite derecelerini, mevcut durum ve gelecekteki reaksiyon potansiyelini, mekanik özelliklerini ve betondaki boyutsal genişmeyi gözlemek gerekir (Ben Haha, 2006). Bu amaç ile harç çubuklarından elde edilen numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır.

Granitler üzerinde yapılan petrografik incelemelerde her ne kadar alkali silis reaksiyonuna neden olabilecek kuvars polimorflarına rastlanmasa da, Stanton (1940), Gogte (1973), Shrimmer vd. (2000) ve Bell (1998) tarafından da belirtildiği gibi, metamorfizma etkisi ile kuvarsların basınç altında kalması ve çatlaklı olması alkali silis reaksiyonuna neden olabilmektedir. Bu nedenle yapılan SEM incelemeleri sonucunda, numunelerde çatlaklara rastlanmıştır. Granit tanelerinin yüzeyinde ince bir kabuk olduğu ancak bu kabukta çatlakların gelişmediği ya da çok az geliştiği görülmüştür. Bu çatlaklar fazla olmamakla birlikte agrega yüzeyini kaplayan jelde meydana gelmiş olup, katılmış harcın bütün alanında gözlemlenmemiştir.

Deneylerde kullanılan harç çubuklarından elde edilen SEM görüntülerinde, incelenen

granitik kayalar ile üretilen harç çubuklarının alkali silis reaksiyonundan az miktarda etkilendikleri görülmektedir. Jeller tanelerin üzerini kaplamış ve çatlaklara neden olmuştur. Ancak jel oluşumu fazla olmadığı için ve dolayısıyla genişleme de fazla gerçekleşmediği için meydana gelen bu açıklıklar oldukça küçük miktardadır. SEM görüntüleri incelendiğinde oluşan jel sebebi ile meydana gelen çatlakların genellikle çizgisel, dairesel ve ağ şeklinde bir yapı gösterdiği görülmektedir (Şekil 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14).

Reaktif agrega tanelerinin boyutları, alkali silis reaksiyonu sonucunda harç çubuklarında belirlenen ve geniş bir yayılım sergileyen genişlemeye büyük oranda etki ederler (Diamond ve Thaulow, 1974; Lu vd., 2006). Nitekim incelenen granitik kayalardan ince taneli olanlar (ER), orta-iri taneli olanlardan (KB, AY, AF, GS) daha az genişlemeye neden olmuşlardır.

## SONUÇLAR

Çalışmaya konu olan granitik kayalar monzonit, granit ve granodiyorit bileşimlerinde olup, bunlardan bazıları metamorfizmaya, bazıları da az oranda yüzeysel ayrışma ve/veya hidrotermal alterasyona uğramışlardır.

Granitik kayalar kullanılarak hazırlanan harç çubukları üzerinde yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deney sonuçlarına göre; örneklerin çoğunluğu standartlarda verilen limit değerlerin altında kalırken, metamorfizmaya uğramış granit/monzogranit örneklerinde genişleme değerleri bu limitlerin üzerine çıkmıştır.

Granitik kayalar örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarındaki genişleme oranı sınırlı olduğundan yapılan SEM incelemelerinde reaksiyon sonucu



gelişen jelin ve bu jeldeki genişleme çatlaklarının sınırlı olduğu, özellikle boşluklarda geliştiği görülmüştür. Ayrıca bu incelemelerde genişleme çatlaklarının sadece agrega yüzeyini kaplayan jelde meydana geldiği görülmüştür.

Her ne kadar ASTM C1260'da 16 günlük genişleme oranı dikkate alınsa da; yapılan değerlendirmelerde; farklı granit örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarındaki alkali-silis ve alkali-silikat reaksiyonu etkilerini belirlemek için hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinin en az 21 gün devam ettirilmesinin, daha doğru sonuç almak için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Arnould, M., 1997. Alkali reaction with silico alkaline aggregates results of recent researches in France. Proceedings'97 International Three Gorges Project Technical Seminar, Yichang, China, 184-195.
- ASTM C 1260, 1994. Standard method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (mortar bar method). Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 648-651.
- ASTM C 289, 1994. Potential alkali-silica reactivity of aggregates (chemical method). Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 157-163.
- ASTM C 295, 1994. Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 1-8.
- Bell, F.G, 1998. Engineering Geology. Blackwell Science, Oxford, 579 p.
- Ben Haha, M., 2006. Mechanical effects of alkali silica reaction in concrete studied by sem-image analysis. Swiss Institute of Technology Lausanne, These No. 3516.
- Binal, A., 2008. The determination of gel swelling pressure of reactive aggregates by ASGPM devices and a new reactive-innocuous aggregate decision chart. Construction and Building Materials, 22, 1-13.
- BS 812 Part 123, 1999. Method for the determination of alkali - silica reactivity: Concrete prism method. British Standards Institution, 18 p.
- BS 7943, 1999. Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity. British Standards Institution, 20 p.
- Buck, A.D., 1986. Petrographic criteria for recognition of alkali-reactive strained quartz, evaluation of quartzite and granite aggregates containing strained quartz. Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Ottawa, 419-423.
- CSA (Canadian Standards Association), 1994. Test method for detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars. A23.2-25A, Methods of Test for Concrete, Canadian Standards Association, Ontario, Canada, 236-242.
- Diamond, S., and Thaulow, N., 1974. A study of expansion due to alkali-silica reaction as conditioned by the grain size of the reactive aggregate. Cement and Concrete Research, 4, 591-607.
- Erkan, Y., 2004. Magmatik Petrografi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 93, Ankara, 176 s.
- 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.

- Fournier, B., and Berube, M.A., 2000. Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27, 167-191.
- Gillott, J.E., and Rogers, C.A., 1994. Alkali-aggregate reaction and internal release of alkalis. *Magazine of Concrete Research*, 167, 99-112.
- Gogte, B.S., 1973. An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions. *Engineering Geology*, 7, 135-153.
- Hobbs D.W., and Gutteridge, W.A., 1979. Particle size of aggregate and its influence upon the expansion caused by the alkali-silica reaction. *Magazine of Concrete Research*, 31, 235-242.
- Hornibrook, F.B., Insley, H., and Schuman, L., 1943. Report on committee C-1 on cement (appendix). *Proceedings American Society Test Materials* 43, 218 p.
- Ineson, P.R., 1990. Siliceous components in aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 12, 185-190.
- Joyce, A.S., 1996. Petrographic aspects of alkali-silica reaction in Eastern Australian concretes. *Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Melbourne, 767-774.
- Katayama, T., and Kaneshige, Y., 1986. Diagenetic changes in potential alkali-aggregate reactivity of volcanic rocks in Japan-A geological interpretation. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, P.E., Grattan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, 489-493.
- Landgren, R., and Sweet, S., 1952. Investigation of durability of Wyoming aggregates. *Proceedings Highway Restoration Board*, 31, 202-217.
- Lorenzi, G., Jensen, J., Wigum, B., Sibbick, R., Haugen, M., Guédon, S., and Åkesson, U., 2001. Petrographic atlas of the potentially alkali-reactive rocks in Europe. PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103.
- Lu, D., Fournier, B., and Grattan-Bellew, P.E., 2006. Evaluation of accelerated test methods for determining alkali-silica reactivity of concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28, 546-554.
- Marzouk, H., and Langdon, S., 2003. The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25, 549-556.
- McConnell, D., Mielenz, R. C., Holland, W.Y., and Grene, K.T., 1950. Petrology of concrete affected by cement aggregate reaction. In *Application of Geology to Engineering Practice*, S. Paige (ed.), Berkeley Volume, *Memoir American Geological Society*, 222-250.
- Mielenz, R.C., 1954. Petrographic examination of concrete aggregate. *Proceedings American Society Test Materials*, 54, 1188-1218.
- Moranville-Regourd, M., 1997. Modelling of expansion induced by ASR-new approaches. *Cement and Concrete Research*, 19, 415-425.
- Mullick, A.K., Wason, R.C., Sinha, S.K., and Rao, L.H., 1986. Evaluation of quartzite and granite aggregates containing strained quartz. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Ottawa, 428-433.
- Neville, A. M., 1981. *Properties of Concrete*. Longman Scientific & Technical, London, England.
- Nixon, P.J., and Page, C.L., 1987. Pore solution chemistry and alkali aggregate reaction. *American Concrete Institute Special Publication*, 100, 1833-1862.
- Prince, W., Castanier, G., and Giafferi, J.L., 2001. Similarity between alkali-aggregate reaction

- and the natural alteration of rocks. *Cement and Concrete Research*, 31, 271-276.
- Rivard, P., Ollivier, J.P., and Ballivy, G., 2002. Characterization of the ASR rim application to the Potsdam sandstone. *Cement and Concrete Research*, 32, 1-9.
- 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. *Journal of American Concrete Institute Proceedings*, 38, 7-11.
- Shayan, A., and Lancucki, C.J., 1986. Alkali-aggregate reaction in the Causeway Bridge, Perth, Western Australia. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Ottawa, 392-397.
- Shrimer, F. H., Ooi, O., and Gerry, W. J., 2000. Control of alkali-aggregate reactivity, Pointe Seraphine Berth improvements, St. Lucia. *11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, M.A. Bérubé, B. Fournier, B. Durand (eds.), Quebec, Canada, 473-482.
- Stanton, T.E., 1940. Influence of cement and aggregate on concrete expansion. *Engineering News Record*, February 1, 59-61.
- Stark, D., Morgan, B., Okamoto, P., and Diamon, S., 1993. Eliminating or minimizing alkali-silica reactivity. Strategic Highway Research Program, National Research Council Washington.
- Streckeisen, A., 1967, Classification and Nomenclature of Igneous Rocks, *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen*, 107, 144-240.
- Struble, L.J., and Diamond S., 1981. Swelling properties of synthetic alkali-silica gel. *Journal of the American Ceramic Society*, 64(11), 611-55.
- Swamy, R.N., 1992. Alkali-aggregate reaction in concrete; material and structural implications, sciences in concrete technology. *Energy, Mines and Resources*, Ottawa Canada, 533-581.
- TS 2517, 1977. Alkali agregre reaktivitesinin kimyasal yolla tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 8 s.
- Wakizaka, Y., 1998. Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution. *Journal Research, Public Works Research Institutes*, 34-146.

