

## **PESİMUM REAKTİF AGREGA İÇERİĞİNİN ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİNİN DENEYSEL YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI**

### **THE INVESTIGATION OF EFFECTS OF PESSIMUM REACTIVE AGGREGATE CONTENT ON ALKALI-SILICA REACTION WITH EXPERIMENTAL METHODS**

**Adil BİNAL**

**Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe-Ankara**

**ÖZ:** Harç veya beton içinde kullanılan agregaların amorf silis içeriği, alkali silika reaksiyonu nedeni ile meydana gelen hacimsel genişleme miktarını etkilemektedir. Bu çalışmada, harçta en fazla genişlemeye neden olan ve literatürde pesimum oranı olarak adlandırılan tüm agrega içindeki reaktif agrega oranını araştırmak için çeşitli deneyler yapılmış ve bunların sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Petrografik çalışmalarla tanımlanan, mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenen opal yumrusu, çört, kalsedon yumrusu, andezit ve bazalt türü beş farklı reaktif agreganın alkali reaktiviteleri jel pastası (Jel-pat) ve kimyasal yöntemle saptanmıştır. Reaktif agregalar farklı oranlarda tüm agrega içine katılarak harç çubukları hazırlanmış ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri gerçekleştirilmiştir. En fazla boyca uzamanın meydana geldiği pesimum reaktif agrega oranı belirlenmiştir. Çalışma kapsamı içinde yapılan deneylerde diğerlerine göre daha yüksek alkali reaktivitesi gösteren opal yumrusu, tüm agrega içinde %20 oranında bulunduğu en fazla genişleme meydana gelmektedir. Çört, kalsedon yumrusu, andezit ve bazaltın pesimum oranları ise sırasıyla %40, %50, %80 ve %100 olarak belirlenmiştir. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri sonunda, harç çubuklarından küp örnekler alınmış ve bunlardan floresans mikroskop inceleme tekniğine uygun ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitler üzerinde yapılan floresans mikroskop çalışmaları sonucunda, reaktif agregalar çevresinde en fazla alkali silika jel gelişiminin pesimum oranlarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Mikroskop incelemeleri sırasında gözlemlenen diğer bir olgu da, reaktif agregaların çeşidine göre alkali silika jel gelişimlerinin farklı olmasıdır. Opal türü agregalar çevresinde haleleler şeklinde alkali silika jel gelişirken, çörtte kılcal çatlaklar boyunca, kalsedonda ise lif lif ayrılmalar şeklinde alkali silika jel gelişimleri saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alkali silika reaksiyonu, Pesimum reaktif agrega içeriği, Harç çubuğu deneyi

**ABSTRACT:** The reactive aggregate content in concrete or mortar affects the expansion generated from alkali silica reaction (ASR). In this study, to investigate the reactive aggregate percentage in the bulk of the aggregate causing maximum expansion (were known as Pessimum ratio in literature), a series of laboratory tests was carried out and their results were compared. Five different reactive aggregate types such as opal, chert, chalcedony, andesite and basalt were identified through petrographical examination. Their reactivity was determined by gel pat and chemical tests, and some additional tests were performed to determine the physical and mechanical properties of these reactive aggregate. In the laboratory, mortar bars having different reactive aggregates percentages were prepared and the amount of reactive aggregate causing the maximum expansion of the mortar bars was determined. When the bulk of aggregate contains 20% opal which is the aggregate with the highest reactivity, maximum expansion was observed. The Pessimum reactive aggregate content for chert, chalcedony, andesite and basalt were determined as 40%, 50%, 80% and 100%, respectively. At the end of accelerated mortar bar tests, thin sections for fluorescent microscopy studies were prepared using the cubic samples extracted from mortar bars. As a result of the fluorescent microscopy studies on thin sections, the maximum silica gel sourced from ASR was observed if the reactive aggregate content was around Pessimum ratio. This is the second important result obtained from microscopy studies that distinct alkali silica gels developments were observed in different reactive aggregates. However, while silica gel rims around opal were observed, silica gels throughout micro cracks in chert were evident. In chalcedony aggregates, fibrous type alkali silica gel developments were observed.

**Key Words:** Alkali silica reaction, Pessimum reactive aggregate content, Mortar bar test

## GİRİŞ

Alkali agrega reaksiyonu, betonda kullanılan çimentodan veya dış kaynaklardan gelen alkali hidroksitlerle, beton içindeki agregaların içerdiği reaktif bileşenler arasında meydana gelen bir kimyasal reaksiyondur (Swamy, 1990). Alkali agrega reaksiyonunun bilinen üç oluşum şekli vardır: Alkali - karbonat reaksiyonu (AKR), alkali - silikat reaksiyonu (yavaş ilerleyen alkali silika reaksiyonu) ve alkali - silika reaksiyonu (ASR) (Swamy, 1992).

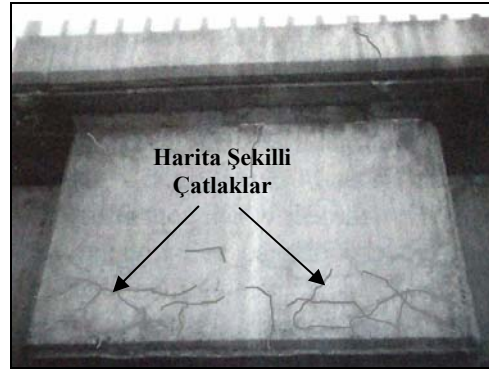
Alkali karbonat reaksiyonu (AKR), dolomit ve/veya kil mineralli ve ince taneli kireçtaşı içeren agregalardan imal edilmiş betonlarda meydana gelmektedir. Alkali silikat reaksiyonu ise fillosilikat grubu minerallerden oluşmuş agrega içeren betonlarda görülmektedir (West, 1996). Bu üç tip reaksiyon içinde en yaygın gözlenen bu makalesinde inceleme konusuna oluşturan alkali-silika reaksiyonu (ASR) dur.

Agregaların silika bileşenlerinin dokusu genellikle amorf, kriptokristalli, mikrokristalli ve kristalli olarak tanımlanır. Silis/silika mineralleri, büyük oranda, normal hava sıcaklığında kararlı olmayan polimorfik oluşumlara sahiptir. Bileşiminde silis/silika bulunan ve en yaygın olan mineraller kuvars, tridimit, kristobalit, opal ve kalsedon gruplarıdır (Ineson, 1990). Farklı agregaların reaktiviteleri içerdikleri kristal yapıdaki silis minerali miktarına bağlıdır. Opalin kristal yapısı düzensizdir. Bu nedenle alkalinitesi yüksek çözeltilerden diğer silis içeren agregalara göre daha fazla etkileneceğinden en yüksek reaktiviteye sahip agrega türü olarak tanımlanır. Diğer taraftan doğal halde (dengede-gerilmesiz) bulunan kuvars, çok düzenli bir kristal yapısına sahiptir ve normal olarak alkali reaktif değildir. Volkan camları, mikro ve kriptokristalin kuvars, kalsedon, tridimit ve kristobalit ise orta derecede reaktif mineral olarak tanımlanmıştır (Diamond, 1976; Ineson, 1990; Al-Dabbagh, 1986; Michel vd., 2000). Andezitte ise reaktif özelliğe sahip volkan camı bulunmaktadır (McConnel, vd., 1947; Mizumoto vd., 1986; French, 1992). Genelde bazaltlar silisçe doymuş (Toleyit veya toleyitik bazalt) ve silisçe doymuş olmayan (Alkali bazalt) bazaltlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Erkan, 1999). Toleyitik bazaltların hamuru çoğunlukla volkancamından oluşması nedeni ile literatürde reaktif agrega olarak tanımlanmaktadır (Katayama ve Kaneshige, 1986; Shriver vd., 2000). Bozunmuş bazaltlarda, klorit ve kil mineralleri (simektit grubu), alkali silikat reaksiyonu sonucu alkali silika jeli dönüşmektedir. Bunun sonucu olarak bazalt içeren harçlarda ve betonlarda çatlak gelişimleri meydana gelebilmektedir (Batic vd., 1994).

Alkali silika reaksiyonunun ürünü, yüksek oranda su tutabilen alkali silika jeldir (Taylor, 1991). Alkali silika jelin çevrenin nemini içine alması ile betonda, hacimce %2-3 seviyesine kadar genişleme meydana gelebilmektedir. Genişleme sonucu, donatısız kütle betonlarında, kaplama betonlarında çekme

dayanımının aşılması sonucu beton içinde ve yüzeyinde kırıklar ve çatlaklar gelişebilmektedir. ASR, beton bünyesinde oluşan ve genişlemeye neden olan bir reaksiyon olması nedeniyle, ASR'nin görünür dış belirtisi haritaya benzer çatlaklardır (Wen, 1998).

ASR'nin görünür etkisi dış çatlak oluşumudur. Ancak, betonun bazı fiziksel ve mikroyapısal özelliklerinin de ASR'den etkilendiği petrografik incelemelerle ortaya konulmuştur. Bu etkiler agrega taneleri yüzeyince reaksiyon bölgeleri oluşumu, reaksiyon ürünleri ile doldurulmuş boşluklar, agrega tanelerinde çatlaklar ve agrega ile çimento hamuru arasındaki bağ kaybı şeklinde ortaya çıkar. Bazı özel durumlarda, alkali silika jel, hafif lekeler, patlamalar şeklinde ve çatlaklardan dışarı sıvı akışı ve beton yüzeyinde sızma şeklinde görülebilir ve betondaki fazla kireç ile reaksiyona girerek beyaz ve opak renge beton yüzeyinde belirginleşir (Şekil 1). Dışarıya jel çıkışının olmadığı durumlara da rastlanabilir. Bu nedenle, beton yüzeyinde herhangi bir belirtinin görülmemesi, ASR nedeniyle beton içinde çatlak meydana gelme ihtimalini ortadan kaldırmaz (Tordoff, 1990).



**Şekil 1.** Gediz ırmağından alınmış kum kullanılan köprüde meydana gelen hasar (Izmir-Hilal) (Katayama, 2000).

**Figure 1.** Damaged bridge containing sand from Gediz River (Izmir-Hilal) (Katayama, 2000).

Bu çalışmada ise, betondaki reaktif agrega oranının alkali silika reaksiyonu sonucu betonda meydana gelen genişleme üzerine olan etkisi araştırılmış ve bu amaçla, beş farklı reaktif agreganın reaktiviteleri, jel pastası (Jel-pat) ve kimyasal yöntemle saptanmış ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyi ile de harçta en fazla genişlemenin meydana gelebileceği reaktif agrega oranı (Pesimum oranı) bulunmuştur. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri sonunda harç çubuklarından alınan küp örneklerden floresans mikroskop tekniklerine uygun olarak ince kesitler hazırlanmış ve reaktif agregalar çevresinde alkali silika jelin gelişimi floresans mikroskopta ultraviyole ışık altında incelenmiştir.



porfirik doku göstermektedir. Andezitin fenokristallerini plajiyoklaz ve amfibol mineralleri, matriksini volkan camı oluşturmaktadır.

Hipokristalin porfirik dokuya sahip bazaltın matriksini volkan camı ve mikrolitler oluşturmaktadır. Fenokristaller ise plajiyoklaz, biyotit ve eser miktarda apatit, titanit ve opak minerallerden oluşmaktadır. Bozunmuş olmasına bağlı olarak kil mineralleri içermektedir.

Zararsız agregata olarak deneylerde kullanılan kireçtaşı ise gri renkte, sert ve masif yapıdadır. Kayacın ana bileşenlerini kalsit mineralleri ve fosil kavrıkları, bağlayıcı malzemeyi ise mikritler oluşturmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından yapılan harç çubuğu deneylerinde kireçtaşı zararsız agregata olarak kullanılmıştır (Hobbs, 1978).

### X-Işınları Kırınım Analizleri

Altı agregata türünün toz fraksiyonları hazırlanmış ve 1µm den ufak tane boyuna sahip örneklerin, 2°/dakika ile 2θ=5-35° arasında X-Işınları difraktogramları çekilmiştir. Difraktogramlardaki karakteristik piklerden agregaların mineral parajenezleri saptanmış ve agregaların yarı-nicel mineral yüzdeleri yaklaşık olarak Çizelge 1’de verilmiştir. X-ışınları difraktogramlarından yarı-nicel mineral yüzdeleri hesaplanırken Gündoğdu (1982)’de önerilen yöntem kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** X-Ray çözümlenmelerine göre yarı-nicel mineral yüzdeleri.

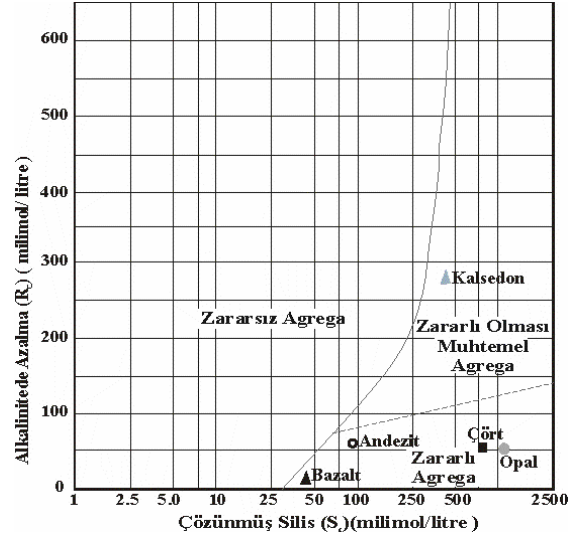
**Table 1.** Semi-quantitative mineral fractions according to X-Ray analysis.

Agregata Türü	Yarı Nicel Mineral Yüzdeleri
Opal	%86.9±0.5 Opal-Ct, %13.1±0.5 Kuvars
Çört	%92.6 ±0.4 Kuvars, %7.4±0.4 Kalsit
Kalsedon	%100 Kuvars
Andezit	%96.1±0.03 Feldispat, %3.91±0.03 Kalsit
Bazalt	%38 Feldispat, %24 Mika, %9 Talk, %7 Kalsit, Kil (Simektit grubu kil mineralleri, eser miktarda illit)
Kireçtaşı	≈ %100 Kalsit

### Agregaların Kimyasal Yöntemle Alkali Agregata Reaktivitesinin Saptanması ve Jel Pastası (Jel-pat) deneyleri

Opal yumrusu, çört, kalsedon yumrusu, andezit ve bazalt agregalarının kimyasal yöntemle (ASTM C 289) reaktiviteleri saptanmıştır (Şekil 3). Beş agreganın alkalinite azalmasına karşı çözülmüş silika miktarı değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. 80°C deki 1N NaOH çözeltisi içinde, en fazla çözünen agregata türü opaldır. Opal yumrusu, çört, andezit ve bazalt zararlı agregata

bölgesinde çıkmıştır. Kalsedon yumrusu ise zararlı olması muhtemel agregata olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 3.** Beş reaktif agreganın ASTM C 289 deney sonuçları.



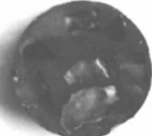



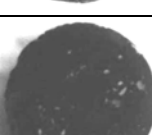
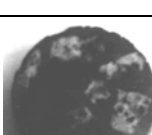
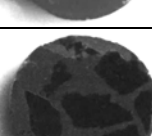
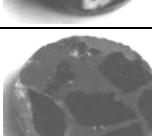
**Figure 3.** Results of ASTM C 289 tests of five reactive aggregates.

Jel pastası (Jel-pat) deneyi, Jones ve Tarleton (1958) tarafından reaktif agregaları belirlemek için geliştirilmiş görsel gözleme dayalı, hızlı yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, konulduğu çözelti içinde agregata yüzeyinde yumuşama ve/veya alkali silika jel lifleri görülüyorsa, agregata reaktif olarak nitelendirilmektedir. Deney çözeltisi, 1 lt saf su içine 20g NaOH ve 28g KOH konularak ve kireçle (CaO) doymun hale getirilerek hazırlanır. Çözelti hazırlandıktan sonra bir gün bekletilir ve bu süre içinde çözelti içindeki fazla kirecin çökmesi sağlanır. Bir gün sonunda çöken kirecin üstünde yeralan berrak çözelti, pipet yardımıyla alınır. Deneyde tane boyu 20 mm’den küçük agregata ve karışımında katkısız Portland çimentosu kullanılır. Karışımın su/çimento oranı 0.4 tür. Karışım (bu çalışmada 4.5 cm çapındaki kaplar kullanılmıştır) kalınlığı agregata boyutlarından fazla olan silindirik kalıplar içine dökülür. Daha sonra çimento pasta içine agregata yerleştirilir. Yerleştirilme sırasında agregata kabın dibine inmemesine ve agregata çevresinde hava boşluklarının kalmamasına dikkat edilir. Bir gün boyunca kür edilen örnekler kalıplardan çıkarılır ve karot kesme makinasında çimento pastasının alt ve üst yüzeyleri traşlanarak, agregata yüzeyleri ortaya çıkarılır. Daha sonra silindirik çimento pastaları deney çözeltisi içine yerleştirilir ve sabit oda sıcaklığında agregata bozunması izlenir.

**Çizelge 2.** Beş agrega türünün çözünen silika ( $S_c$ ) ve alkalinite azalma ( $R_c$ ) değerleri.  
**Tablo 2.** Values of dissolved silica ( $S_c$ ) and alkalinity reduction ( $R_c$ ) of five aggregates.

Agrega Türü	$S_c$ (milimol/litre)					$R_c$ (milimol/litre)				
	En Küçük	En Büyük	$\bar{x}$	$S_d$	n	En Küçük	En Büyük	$\bar{x}$	$S_d$	n
Opal	997	1283.9	1149.2	144.3	3	45	56	50.3	7.1	3
Çört	786.3	935.1	859.4	74.43	3	56.8	45.8	51	11.1	3
Kalsedon	470	420	440.7	26.1	3	270	300	283	15.4	3
Andezit	95	98.3	96.6	1.67	3	52.2	60.1	55.8	6.1	3
Bazalt	33.2	51.9	44.7	10.06	3	8.8	12	10.1	1.5	3

Beş agrega üzerinde jel pastası deneyleri yapılmış ve 40 gün içinde ilk önce opal agrega tanelerinde daha sonra çörtte ve en son bazalta alkali silika jel gelişimleri belirlenmiştir (Şekil 4). Deney sonunda agrega yüzeylerinin çok yumuşak bir özellik kazandığı ve bazen de çözelti içinde yitip gittikleri gözlemlenmiştir. Agregalar kurumaya bırakıldığında, içlerindeki suyu kaybedip büzülükleri ve yüzeylerinde dökülmeler meydana geldiği görülmüştür. Bu durum alkali agrega reaksiyonu sonucu oluşan alkali silika jelin genişleme yeteneği ile ilişkilidir.

Agrega Türü	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Reaksiyon süresi
Opal			5 gün
Çört			6 gün
Kalsedon			24 gün
Andezit			18 gün
Bazalt			40 gün

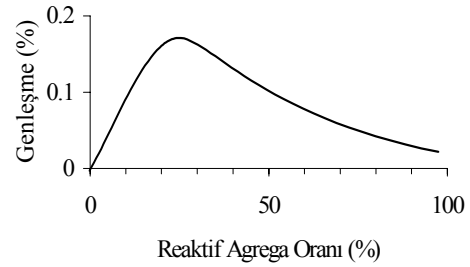
0 2cm

**Şekil 4.** Jel pastası (Jel-pat) deneyi sonuçları.  
**Figure 4.** Jel-pat test results.

Alkali çözültiden küçük boyutlu agregaların, büyük boyutlu agregalara göre daha fazla etkilendikleri deneyler sonucunda elde edilen diğer bir saptamadır. Ayrıca tane şekli de agregaların daha hızlı bozunmasında etkin olmaktadır. İnce uzun şekilli agregalar, diğer farklı şekillerdeki agregalara göre daha çabuk bozunmuştur.

#### PESİMUM KAVRAMI

Sözlüklerde pesimum (Pessimum) kelimesi optimum kelimesinin karşıt anlamlısı olarak açıklanmaktadır. Reaksiyon sonucu betonda en fazla genişlemeye ve hasara neden olan reaktif agrega oranına "Pesimum oranı" denilmektedir (Stanton vd., 1942, Hobbs, 1981). Pesimum oranının, alkali silika reaksiyonu sonucu betondaki genişleme üzerine etkisini gösteren tipik bir eğri Şekil 5'de verilmiştir.



**Şekil 5.** Tipik bir pesimum reaktif agrega içeriği grafiği (French, 1980).

**Figure 5.** A typical graphic of pessimum reactive aggregate content (French, 1980).

Bu grafikte (Bkz. Şekil 5) düşey eksen betonda meydana gelen genişlemeyi ve yatay eksen ise betonda kullanılan agrega içinde reaktif agrega oranını göstermektedir. Eğrinin pik yaptığı nokta, betonda alkali silika reaksiyonu sonucu en yüksek genişlemeye neden olan Pesimum reaktif agrega içeriğine karşılık gelmektedir. Şekil 5'de verilen grafikte pesimum oranı %25'dir.

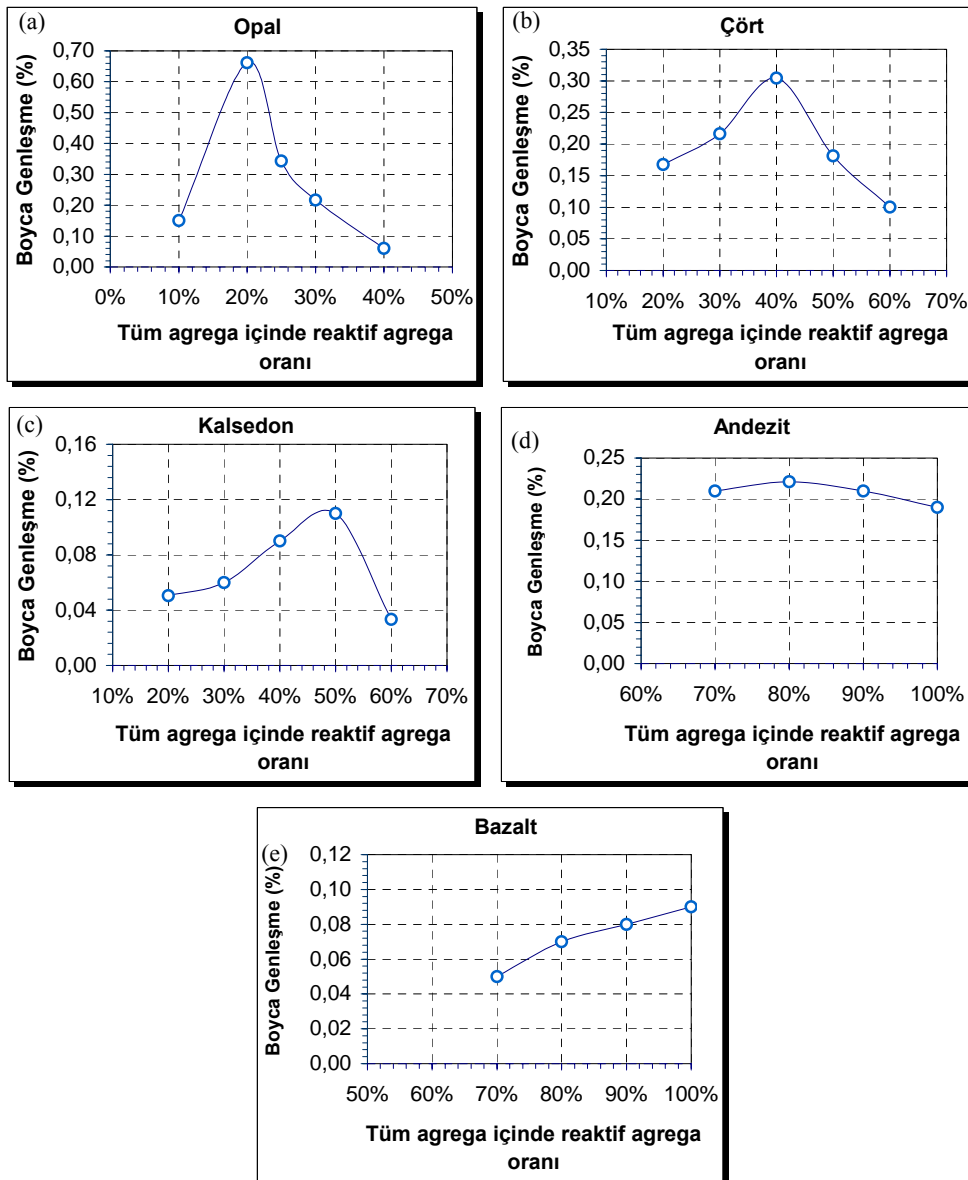
Pesimum oranından sonra neden genişlemenin azaldığı Glasser ve Kataoka (1981) tarafından agregaların bozunmasına neden olan alkali çözültülerinin

beton içindeki tüm reaktif agregayı tamamen bozmaya yetmemesi ve betonda daha az oranda genişlemeye neden olması ile açıklanmaktadır. Pesimum oranını gösteren eğrinin şekli çimento çeşidinden, kompozisyonundan, oranından, agrega özelliklerinden ve aynı zamanda alkali miktarından da etkilenmektedir (Swamy, 1990, Shayan, vd., 1986, Nixon, vd., 1989).

### HIZLANDIRILMIŞ HARÇ ÇUBUĞU DENEYLERİ

Betondaki en fazla genişlemenin hangi reaktif agrega oranında meydana geldiğini belirlemek için

çeşitli reaktif agrega içeriklerinde hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. ASTM C 1260 standardına uygun olarak gerçekleştirilen hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde en fazla boyca genişleme, reaktif agrega olarak opal yumrusu kullanılan harç çubuklarında meydana gelmiştir. Tüm agrega içinde opal yumrusu %20, çört %40, kalsedon yumrusu %50, andezit %80 ve bazalt %100 oranında bulunduğu harç çubuklarında en yüksek boyca genişleme meydana gelmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Pesimum reaktif agrega içeriği grafikleri: (a) Opal, (b) Çört, (c) Kalsedon, (d) Andezit, (e) Bazalt, (Binal, 2002).

Figure 6. The graphs of pessimum reactive aggregate content: (a) Opal, (b) Chert, (c) Chalcedony, (d) Andesite, (e) Basalt, (Binal, 2002).

ASTM C 1260 standardında harç çubuğunun 14 günlük boyca uzama değeri %0.1 ise harç çubuğunda kullanılan agrega zararlı olması olası, %0.2 ise zararlı agrega olarak tanımlanmaktadır. Bu sınır değerlere göre boyca uzama değerleri değerlendirilmiştir. %15 ile %30 opal yumrusu, %30 ile %45 arasında çört ve %70 ile %90 arasında andezit içeren harç çubuklarında 14 günlük boyca uzama değeri ASTM C 1260 deney yönteminde zararlı agrega sınır değerinden yüksektir. Tüm agrega içinde %50 oranında kalsedon yumrusu bulunan harç çubuklarındaki 14 günlük boyca uzama değeri %0.11 dir. Kalsedon yumrusu ASTM C 1260 standardına göre zararlı olması olası agrega olarak tanımlanmıştır. Tamamen (%100) bazalt içeren harç çubuklarının 14 günlük boyca uzama değeri %0.10 un altında kalmıştır. Bu nedenle ASTM C 1260 standardına göre zararsız agrega olarak tanımlanmıştır.

Opal yumrusu içeren harç çubuklarında pesimum reaktif agrega içeriğinden düşük (%10) ve yüksek oranlarında da (%25) harç çubuklarının yüzeylerinde çatlak gelişimleri görülmüştür. Boyca genişleme miktarlarında ani artışın nedeni, opalin alkali çözeltiden diğer reaktif agrega türlerine göre daha hızlı etkilenmesi ve pesimum oranından sonraki ani azalmanın nedeni ise opalin ortamdaki alkali çözeltiyi diğer agrega türlerine kıyasla daha hızlı tüketmesidir.

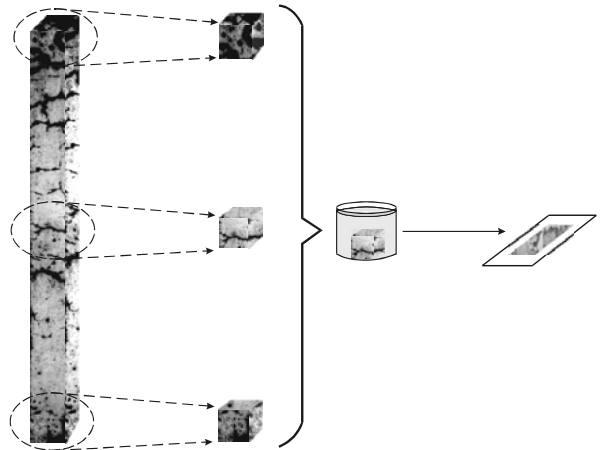
Harç çubuklarının boyca genişmesini, reaktif agregaların gözenekliliği ve/veya çatlak içermesi de etkilemektedir. Reaktif agreganın sahip olduğu gözeneklilik ve/veya çatlak oranı arttıkça, alkali çözeltiyle temasta olan alan artmakta ve az gözenekliliğe ve/veya çatlak miktarına sahip agregalar kullanılmış harç çubuklarına göre daha fazla boyca genişleme meydana gelmektedir. Çört ve kalsedon yumruları aynı mineralden oluşmasına rağmen, çörtün içerdiği çatlak miktarının fazla olması nedeniyle çörtten üretilmiş harç çubuklarında, kalsedondan üretilmiş harç çubuklarına göre, daha fazla boyca genişleme görülmüştür.

Reaktif agrega olarak andezit kullanılan harç çubuklarının, pesimum grafiği çok düşük bir eğime sahiptir. Bunun nedeni ise, alkali silika reaksiyonunun opal yumrusu ve çörtte göre andezitte çok daha yavaş gelişmesi gösterilebilir.

Reaktif olarak bazalt kullanılan harç çubuklarında ise pesimum grafiği elde edilememiştir (Bkz. Şekil 6e). Aşırı bozunmuş bazaltta, klorit ve kil mineralleri bozunarak alkali silika jel oluşumlarına neden olmaktadır. Tüm agrega içinde bazalt oranı arttıkça klorit ve kil minerali miktarı da artmakta ve bunun sonucu olarak daha fazla alkali silika jel oluşmaktadır. Bu nedenle bazalt kullanılan harç çubuklarında pesimum grafiği elde edilememiştir.

## OPTİK FLORESANS MİKROSKOP İNCELEMELERİ

Hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri sonunda harç çubuklarından floresans mikroskop incelemesine uygun olarak ince kesitler hazırlanmıştır (Jakobsen, 1998). Harç çubuklarında, dış yüzeyden iç kısma doğru alkali silika reaksiyonunun gelişimini incelemek için, çubukların uzun eksenlerine dik olacak şekilde, çubuklardan 2.5 cm kalınlığında küp örnekler alınmıştır. Örnekler fırında 30°C'de bir saat kurutulduktan sonra, 2 saat vakumda bekletilmiştir. Vakumdan çıkarılan örnekler içinde sarı renkli floresans epoksinin bulunduğu kaplara konulmuştur. Epoksi içindeki hava kabarcıklarının çıkması için örnekler tekrar 10 dakika vakumda tutulmuştur. Vakumdan çıkarılan epoksi içindeki örnekler 15 saat 25°C'de epoksinin sertleşmesi için bekletilmiştir. Epoksi sertleştikten sonra, örneklerden üstü açık (lamelsiz) ince kesitler hazırlanmıştır (Şekil 7).



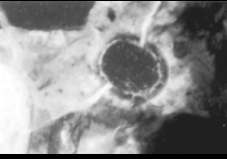
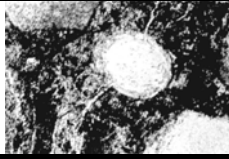
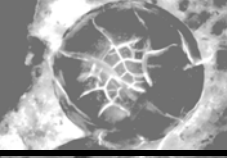
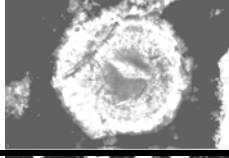


Şekil 7. Optik floresans mikroskop incelemesi için ince kesit hazırlama aşamaları.

Figure 7. The stages of preparation of thin-section for investigation under optical fluorescence microscopy.

Hazırlanan ince kesitler optik floresans mikroskopta x25 büyütmede ultraviyole ve polarizan ışık altında incelenmiştir. Şekil 8'de pesimum oranında reaktif agregaya sahip harç çubuklarından alınan örneklerin optik floresans mikroskopta çekilmiş görüntüleri verilmiştir.

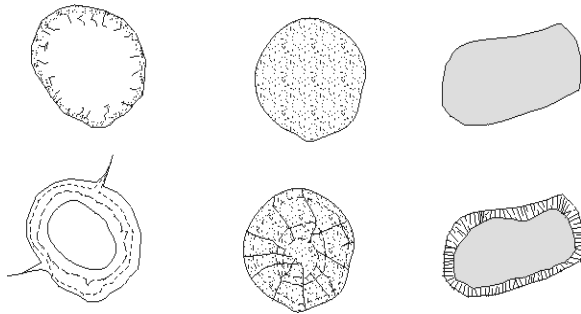
Pesimum oranından düşük oranlarda reaktif agrega içeren harç çubuklarında reaktif agregaların çoğunluğunun bozulduğu ve pesimum oranından yüksek oranlarda reaktif agrega içeren harç çubuklarında reaktif agregaların çevresinde jel gelişiminin meydana geldiği, fakat reaktif agregaların tamamen bozunmadığı, floresans mikroskop çalışmalarında saptanmıştır.

Jel pastası deneyinde de gözlemlendiği gibi, mikroskop çalışmalarında da reaktif agregaların türlerine göre farklı alkali silika jel gelişimleri belirlenmiştir. Opal agregaları çevresinde haleler şeklinde başlayan alkali silika jel gelişimleri saptanmıştır. Çörtün yapısına bağlı olarak alkali silika jel gelişiminin, dıştan içe doğru kılcal çatlaklar boyunca ve aynı zamanda opalde olduğu gibi birbirine konsantrik haleler şeklinde meydana geldiği belirlenmiştir. Kalsedon ise agreganın lifsi kriptokristalin kuvarstan oluşmasına bağlı olarak, agrega merkezli ışınal lif lif alkali silika jel gelişimleri gözlemlenmiştir (Şekil 9).

Agrega Türü	Floresans Mikroskop Görüntüsü	Tek Nikolde Polarizan Mikroskop Görüntüsü
Opal		
Çört		
Kalsedon		

**Şekil 8.** Floresans epoksi içine batırılmış örneklerin, UV ve polarizan ışık altında ince kesit görüntüleri (Büyütme x25).

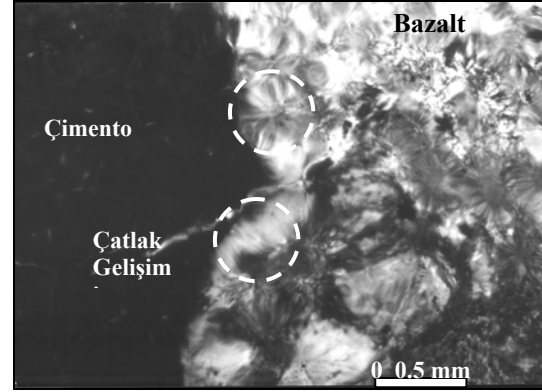
**Figure 8.** Views of fluorescent impregnated thin sections under ultraviolet and crossed polarized light (Magnification x25).



**Şekil 9.** Mikroskop çalışmalarında farklı reaktif agrega türlerinde gözlemlenen alkali silika gel gelişimleri.

**Figure 9.** Observed shapes of alkali silica gels developing in different reactive aggregates at microscopy study.

Reaksiyon sonucu andezitin içinde gelişigüzel çatlaklar meydana gelmiş ve bu çatlaklardan dışarıya doğru alkali silika jel çıkışı olduğu belirlenmiştir. Bazalta ise, tane yüzeyine yakın yerlerde rozete benzer jel oluşumları saptanmıştır (Şekil 10).



**Şekil 10.** Bazalt tanesi üzerinde rozet şeklinde gelişen alkali silika jel oluşumları (Beyaz çember içinde gösterilmiştir).

**Figure 10.** The view of rosette-like alkali silica gels developing on surface of basalt grain (in white circular).

## SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Reaktif agrega içeren betonlarda pesimum oranının etkisini incelemek için yapılan bu çalışmada, beş farklı reaktif agreganın pesimum oranları belirlenmiştir. Deneylerde reaktif agrega olarak kullanılan, amorf silis minerali içeren opalin pesimum oranı %20 olarak belirlenmiştir. Bu oran, deneylerde kullanılan diğer reaktif agregalara göre en düşük olanıdır. Opalin kimyasal yapısında su molekülleri bulundurması ve kırılğan bir yapıya sahip olması nedeniyle, bazik çözeltilerden diğer reaktif agregalara göre daha çabuk ve daha fazla etkilenmektedir. Genleşme miktarı opale yakın olan çörtün yüksek oranda reaktivite göstermesi çatlaklı bir yapıya sahip olmasına bağlanabilir. Reaktif agreganın çatlak miktarı arttıkça bazik çözeltilerin etkileşime gireceği yüzey alanı da artmaktadır. Deneylerde kullanılan kalsedonun, çörtle aynı mineral içeriğine sahip olmasına rağmen, hem ASTM C 289 kimyasal yöntemde, hem de ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde orta reaktif olarak çıkmıştır. Bunun nedeni ise kalsedonun bünyesinde su bulundurmaması, içinde yer yer kristalli kuvar bantlarının bulunması ve çatlak içermemesi ile açıklanabilir.

Floresans mikroskop çalışmaları sonucu harç çubuğu deneyleri sonunda harç çubuklarından alınan örneklerden hazırlanan ince kesitler üzerinde, alkali silika reaksiyonunun gelişimi incelenmiştir. Çatlakları ultraviyole ışığa duyarlı epoksiyle dolu ince kesitler



incelendiğinde opal türü reaktif agregaların çevresinde haleler halinde alkali silika jel gelişimi belirlenmiştir. Çörtte ise agreganın merkezine doğru ışımsal ve agrega merkezinden dışa doğru haleler şeklinde çatlak gelişimleri görülmüştür. Kalsedonda ise lif lif ayrılmalar sonucu silika jel gelişimi belirlenmiştir. Harç çubuğunun yüzeyine yakın bölgelerde silika jel gelişiminin daha fazla olduğu, hatta agreganın tamamen silika jele dönüştüğü, kesitlerde görülmüştür.

Beton imali esnasında kullanılan agregada içinde reaktif agreganın oranının bilinmesi, dış kaynaklardan gelecek alkaliler ile sonradan meydana gelebilecek hasarların tahmin edilmesine fayda sağlayacaktır. Kalsedon için yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde pesimum oranında %0.11 genleşme meydana gelmiştir. ASTM C 1260 standardında bu oran agreganın reaktif olması muhtemel olarak tanımlanmaktadır. Fakat, deneyler sırasında bu oranda harç çubuğu üzerinde çatlak gelişimleri belirlenmiştir. Bu nedenle beton imali sırasında agregada kaynaklarından faydalanırken, betona katılan agreganın içindeki reaktif agregada tanımı petrografik çalışmalarla belirlenmeli, deneylerde kullanılacak agregaların alınan kaynağı tam olarak yansıtmasına dikkat edilmeli ve deneylerle reaktif agregaların pesimum oranları saptanmalıdır. Beton imali sırasında pesimum oranlarına yakın oranda tüm agregada içinde reaktif agregada bulunmamasına dikkat edilmelidir.

## SUMMARY

In this study, accelerated mortar bar tests and fluorescence microscopy studies were carried out in order to investigate of effects of pessimum reactive aggregate content on alkali aggregate reaction. The highest bar expansion (0.66%) and minimum pessimum reactive aggregate content (20%) were determined in specimens include opal nodules. Many researchers have indicated that high reactive aggregates give sharp peak in graphs of pessimum reactive aggregates content (McConnel et al., 1947, Hobbs, 1978). Contrary to that, low reactive aggregates, sometimes, show no pessimum curves. Identical manner was observed in this study. For instance; sharp pessimum curve was obtained in specimen include opal nodules and also, no pessimum curve was observed in mortar bar which include basalt aggregates.

In the last decade, fluorescence microscopy techniques have been used for identification of alkali silica reaction in concrete/mortar. Thin sections which were prepared from mortar specimens impregnated in fluorescence epoxy were used in fluorescence microscopy examinations. In microscopy studies, distinct alkali silica gels developments were observed in different reactive aggregates. Around opal nodules, alkali silica gel rims were observed. Also, alkali silica

gel developing along fractures of chert and radial crack propagations in chert aggregate were determined. In chalcedony aggregates, fibrous alkali silica gel developing was identified around grains.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 00.01.602.008).

## KAYNAKLAR

- Al-Dabbagh, I., 1986**, Flint characteristics and alkali-silica reactivity, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Grattan-Bellew, P.E. (ed.), Ottawa, Canada, 413-417.
- ASTM C-289-94, 1997**, (American Society for Testing and Materials), Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, 04.02, 157-163.
- ASTM C-1260-94, 1997**, (American Society for Testing and Materials), Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar Bar Method), Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, 04.08, 650-653.
- Batic, O., Maiza, P., Sota, J., 1994**, Alkali silica reaction in basaltic rocks NBRI method, Cement and Concrete Research, 24(7), 1317-1326.
- Binal, A., 2002**, Beton Agregalarında Alkali Silika Reaksiyonu Etkisinin Belirlenmesi için Harç Prizması Deneyi Tasarımı ve Uygulanması, Doktora Tezi (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 222p.
- Diamond, S., 1976**, A review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms, Reactive aggregates, Cement and Concrete Research, 6, 549-560.
- Erkan, Y., 1999**, Mağmatik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No:40, Ankara, 183s.
- French, W.J., 1992**, The characterization of potentially reactive aggregates, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, 338-346.
- Glasser, F.P., 1992**, Chemistry of the alkali-aggregate reaction, Congress on Alkali-Silica Reaction in Concrete, Swamy, R.N. (eds.), New York, USA, 30-53.
- Glasser, L.S.D., Kataoka, N., 1981**, The chemistry of "alkali-aggregate" reaction, Cement and Concrete Research, 11, 1-9.

- Gündoğdu, N., 1982**, Neojen Yaşlı Bigadiç Sedimanter Baseninini Jeolojik Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, H.Ü. Jeoloji Müh. Böl., Ankara.
- Hamilton, W.R., Woolley A.R., Bishop, A.C., 1976**, The Hamlyn Guide to Minerals, Rocks and Fossils, The Hamlyn Publishing Group Ltd., Italy, 250s.
- Helmuth, R., Stark, D., 1992**, Alkali-silica reactivity mechanism, Materials Science of Concrete, The American Ceramic Society, Ohio, USA, 3, 131-208.
- Hobbs, D.W., 1978**, Expansion of concrete due to alkali-silica reaction: An explanation, Magazine of Concrete Research, 30(105), 215-220.
- Hobbs, D.W., 1981**, The alkali-silica reaction - a model for predicting expansion in mortar, Magazine of Concrete Research, 33(117), 208-219
- Ineson, P.R., 1990**, Siliceous components in aggregates, Cement and Concrete Composites, 12(3), 185-190.
- Jakobsen, U., 1998**, Understanding The Features Observed In Concrete Using Various Fluorescence Impregnation Techniques, Bull. of Ramboll, Denmark, No. 70, 20 s.
- Jones, F.E., Tarleton, R.D., 1958**, Experience with some forms of rapid and accelerated tests for alkali-aggregate reactivity: Recommended test procedures, Part VI. Alkali-Aggregate Interaction, Department of Scientific and Industrial Research, Research Paper No:25, 46s.
- Katayama, T., 2000**, Alkali-aggregate reaction in the vicinity of Izmir, Western Turkey, 11<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Bérubé, M.A., Fournier, B., Durand, B. (eds.), Quebec, Canada, 365-374.
- Katayama, T., Kaneshige, Y., 1986**, Diagenetic changes in potential alkali-aggregate reactivity of volcanic rocks in Japan-A geological interpretation, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, P.E., Grattan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, 489-493.
- McConnel, D., Mielenz, R.C., Holland, W.Y., Greene, K.T., 1947**, Cement-aggregate reaction in concrete, Proceedings American Society for Testing Materials, 44, 93-128.
- Michel, B., Gnagne, C., Thiebaut, J., Wackenheim, C., Maurin, B., 2000**, Flint reactivity, 11<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Bérubé, M.A., Fournier, B., Durand, B. (eds.), Ottawa, Canada, 71-80.
- Mizumoto, Y., Kosa, K., Ono, K., Nakano, K., 1986**, Study on cracking damage of a concrete structure due to alkali-silica reaction, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, P.E., Grattan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, 204-209.
- Nixon, P.J., Page, C.L., Hardcastle, J., Canham, I., Pettifer, K., 1989**, Chemical studies of alkali-silica reaction in concrete with different flint contents, In Proc. 8th Int. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, 495-499.
- Poole, A.B., 1992**, Introduction to alkali-aggregate reaction concrete, Congress on Alkali-Silica Reaction in Concrete, Swamy, R.N. (eds.), New York, USA, 1-29.
- Shayan, A., Diggins, R., Ritchie, D.F., Westgate, P., 1986**, Evaluation of western australian aggregates for alkali-reactivity in concrete, In Proc. 7th Int. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction, Ottawa, Canada, 247-257.
- Shrimer, F. H., Ooi, O., Gerry, W. J., 2000**, Control of alkali-aggregate reactivity, Pointe Seraphine Berth improvements, St. Lucia, , 11<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Bérubé, M.A., Fournier, B., Durand, B. (eds.), Quebec, Canada, 473-482.
- Stanton, T.E., Portep, O.J., Meder, L.C., Nicol A., 1942**, California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregates, ACI Journal, 38(3), 209-235.
- Swamy, R.N., 1990**, The Alkali-Silica Reaction in Concrete, Thomson Litho Ltd., Scotland, UK.
- Swamy, R.N., 1992**, Alkali-Aggregate Reactions in Concrete: Material and Structural Implications, Sciences in Concrete Technology, Malhotra, V.M. (eds.), Ottawa, Canada, 533-581.
- Taylor, G.D., 1991**, Construction Materials, Longman Scientific & Technical Publications, London, Great Britain, 527 s.
- Tordoff, M.A., 1990**, Assesment of Prestressed Concrete Bridges Suffering from Alkali-Silica Reaction, Cement and Concrete Composites, 12(3), 203-210.
- Wen, H.X., 1998**, Alkali Aggregate Reaction in Concrete, Lecture Notes, Civil Engng. Dept., Hong Kong Univ, 20s.
- West, G., 1996**, Alkali Aggregate Reaction in Concrete Roads and Bridges, Thomas Telford, UK, 163s.