

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETONDAKİ ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNU ÖNLEMELİK İÇİN
KİREÇTAŞI TOZU VE UÇUCU KÜL İÇEREN İKİLİ VE ÜÇLÜ
KARIŞIMLARIN KULLANILMASI**

Mahmut Yaşar BAĞDİKEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2013**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETONDAKİ ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNU ÖNLEMELİK İÇİN
KİREÇTAŞI TOZU VE UÇUCU KÜL İÇEREN İKİLİ VE ÜÇLÜ
KARIŞIMLARIN KULLANILMASI**

Mahmut Yaşar BAĞDİKEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2013**

Yrd. Doç. Dr. Kâzım TÜRK danışmanlığında, Mahmut Yaşar BAĞDİKEN' in hazırladığı “**Betondaki Alkali-Silika Reaksiyonunu Önlemek için Kireçtaşı Tozu ve Uçucu Kül İçeren İkili ve Üçlü Karışımların Kullanılması**” konulu bu çalışma 05/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Kâzım TÜRK



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Paki TURĞUT



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Fatih ASLAN



Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 12094

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Alkali Silika Reaksiyonu Mekanizması	3
2.1.1. Tanım	3
2.1.2. Alkali silis reaksiyonunun kimyası	3
2.2. Alkali Silika Reaksiyonunu Etkileyen Faktörler	8
2.2.1. Karışım oranlarının etkisi	8
2.2.2. Reaktif agreganın cinsinin ve tane büyüklüğünün etkisi	9
2.2.3. Nemin etkisi	13
2.2.4. Sıcaklığın etkisi	14
2.2.5. Alkalilerin etkisi	16
2.3. Alkali Silika Reaksiyonunu Belirleme Yöntemleri	17
2.3.1. Agregadaki reaktif silis tayini	17
2.3.1.1. Agregaların petrografik analizi	17
2.3.1.2. Kimyasal yöntem	18
2.3.1.2.1. Kolorimetrik metod	19
2.3.1.2.2. Titrasyon metod	19
2.3.1.3. Hızlandırılmış harç çubuğu metodu	21
2.3.1.4. Harç çubuğu deneyi	21
2.3.1.5. Beton prizma deneyi	22
2.3.1.6. Jel pat metodu	23
2.3.1.7. Alman çözünme metodu	24
2.3.1.8. Ozmotik hücre metodu	24
2.3.1.9. Otoklav metodu	25
2.3.1.10. Tahribatsız asr deneyleri	25
2.4. Alkali Silika Reaksiyonunu Önleyen Çalışmalar	26
2.4.1. Mineral katkıların kullanılması	26
2.4.1.1. Silis dumanı	27
2.4.1.2. Yüksek fırın cürufu	31
2.4.1.3. Uçucu kül	32
2.4.1.4. Metakoalin	33
2.4.1.5. Pomza	34
2.4.1.6. Zeolit	35
2.4.2. Kimyasal katkılar	37
3. MATERYAL ve YÖNTEM	38
3.1. Materyal	38
3.1.1. Çimento	38
3.1.2. Mineral katkılar	38
3.1.2.1. Uçucu kül	38
3.1.2.2. Kireçtaşı tozu	39
3.1.3. Agregalar	39
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Agreganın reaktivitesinin kimyasal metod ile belirlenmesi	40
3.2.2. Karışımların hazırlanması	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	46
4.1. Uçucu Kül Kullanımının Asr Genleşmesi Üzerine Etkisi	46
4.2. Reaktif Kireçtaşı Tozu Kullanımının Asr Genleşmesi Üzerine Etkisi	50
4.3. Uçucu Kül ve Reaktif Kireçtaşı Tozu Kullanımı Asr Üzerine Etkisi	53

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONDAKİ ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNU ÖNLEMELİK İÇİN KİREÇTAŞI TOZU VE UÇUCU KÜL İÇEREN İKİLİ VE ÜÇLÜ KARIŞIMLARIN KULLANILMASI

Mahmut Yaşar BAĞDİKEN

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kâzım TÜRK

Yıl: 2013, Sayfa: 62

Bu çalışmada, betonda tahribata yol açmasıyla bilinen Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) sonucunda oluşan genleşmeleri azaltmak amacıyla mineral katkı olarak uçucu kül (UK) ve reaktif kireçtaşı tozunun (KTT) ikili sistem (çimento+uçucu kül, çimento+kireçtaşı tozu) ve üçlü sistem (çimento+uçucu kül+kireçtaşı tozu) karışımları kullanılmıştır. Öncelikle deney aşamasında kullanılacak olan agreganın alkali-agrega reaktivitesi bakımından zararlı olup olmadığı TS 2517 kimyasal metoduyla belirlenmiştir. Alkali-agrega reaktivitesi bakımından zararlı bölgede çıkan agregası, alkanitesi yüksek olan CEM II/B-M (P-LL) 32.5R tipi Portland-Kompoze çimento ile birlikte kullanılmıştır. Bu iki malzemenin birlikte kullanımı sonucunda yüksek sıcaklık ve nem varlığında gerçekleşen Alkali-Silika Reaksiyondan dolayı oluşan genleşmeleri ölçmek için Hızlandırılmış Harç Çubuğu (ASTM C1260) yöntemine başvurulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, ASR sonucu oluşan genleşmeleri azaltmak için reaktif kireçtaşı tozunun tek başına kullanımının, sadece uçucu kül ve kireçtaşı tozu+uçucu külün (üçlü sistem karışımı) birlikte kullanımından daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanılan mineral katkıların karışımlardaki oranları arttığı zaman genleşmelerin azaldığı görülmüştür. Fakat, yapılan deneysel çalışmada hem ikili hemde üçlü sistem karışımlarının kullanılması ASR sonucu oluşan genleşmeleri sınır değerin (%0.1) altına indirememiştir. Bu alkanitesi çok yüksek olan çimento ve reaktivitesi yüksek agregası kullanılması dayandırılabilir.

ANAHTAR KELİMELEER: Alkali-silika reaksiyonu, kireçtaşı tozu, uçucu kül, hızlandırılmış harç çubuk genleşme testi (ASTM C1260)

ABSTRACT

MSc Thesis

THE USE OF BINARY AND TERNARY CEMENTITIOUS BLENDS OF LIMESTONE POWDER AND FLY ASH TO PREVENT ALKALI-SILICA REACTION IN CONCRETE

Mahmut Yaşar BAĞDİKEN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Kâzım TÜRK

Year: 2013, Page: 62

In this study, binary and ternary cementitious blends of fly ash (FA) and limestone powder (LSP) as mineral additives were used to suppress expansions due to alkali-silica reaction (ASR). First, it was determined whether the aggregate used is harmful or not in respect to alkali-aggregate reactivity by using TS 2517 chemical method. The aggregate containing reactive SiO_2 was used with a high alkalinity CEM II/B-M (P-LL) 32.5R type Portland composite cement. The accelerated mortar-bar expansion test (ASTM C1260) was used to measure ASR expansions. Finally, it was found that the use of binary cementitious blends of reactive LSP was more effective than the use of binary cementitious blends of FA and ternary cementitious blends of FA and reactive LSP to suppress expansions due to ASR. It was seen that the expansions due to ASR decreased with an increase in FA and reactive LSP content. However, in experimental study, the use of binary and ternary cementitious blends of FA and LSP couldn't reduce the expansions under the limit value of %0.1. This may be attributed to the use of cement with a high alkalinity and aggregate containing high reactive SiO_2 .

KEYWORDS: Alkali-silica reaction, limestone powder, fly ash, accelerated mortar-bar expansion test (ASTM C1260)

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi Yrd. Doç. Kâzım TÜRK' ün danışmanlığında tamamlanmıŐtır. Bu çalıŐmanın tüm aşamasında , beni yönlendiren ve desteğini hiç esirgemeyip, zamanının büyük bir kısmını bana ayıran Yrd. Doç. Kâzım TÜRK' e, jüri yeleri Doç. Dr. Paki TURGUT ve Doç. Dr. Fatih ASLAN' a, deneyler aşamasında bana yardımcı olan dayım Kimya Mühendisi Mehmet Emin CANBAZ' a, desteklerini hiç eksik etmeyen iŐyerindeki amirlerim İnaŐat Mühendisi Ali ÇİÇEK ve Mimar Murat YILDIZHAN' a, malzemelerin temininde ve deneylerin gerçekleŐtirilmesinde yardımcı olan Öğr. Gör. Korkmaz YILDIRIM ve AraŐ. Gör. Serhat DEMİRHAN' a, akademik hayatımda bana manevi desteğini esirgemeyen aileme, teŐekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. ASR kaynaklı hasarın şematik gösterimi.....	3
Şekil 2.2. Silis dörtyüzlüsü tetrahedri.....	6
Şekil 2.3. Silisli agregada içeren bir betonun iç yapısı.....	7
Şekil 2.4. Karışım oranlarının genleşme değerleri üzerindeki etkisi.....	9
Şekil 2.5. 224 günlük genleşme ile agregadaki reaktif silika miktarı arasındaki bağıntı.....	11
Şekil 2.6. Agregadaki reaktif silika bileşeni boyutunun, alkali agregada genleşmesine etkisi.....	12
Şekil 2.7. Ortam bağıl neminin ASR genleşmelerine etkisi.....	13
Şekil 2.8. Farklı bağıl nemde harç çubuklarının ASR genleşmeleri.....	14
Şekil 2.9. Sıcaklığın, genleşme ve reaksiyon ile ilişkisi.....	15
Şekil 2.10. 20 ⁰ C ve 40 ⁰ C kürlenmiş numunelerin reaksiyon ve genleşme eğrisi karşılaştırması..	15
Şekil 2.11. Reaktif silika/alkali oranı ile genleşme arasındaki ilişki.....	16
Şekil 2.12. Alkali agregada reaktivitesi tayini.....	20
Şekil 2.13. Farklı oranlarda SiO ₂ içeren silis dumanlarının genleşmeye etkisi.....	29
Şekil 2.14. Farklı seviyelerde kullanılan silis dumanının SiO ₂ içeriğinin boşluk çözeltisi alkalinitesi üzerinde zamanla etkisi.....	30
Şekil 2.15. Hvalfjordur agregası ve izlanda çimentosu ile ASTM C1260 sonuçları.....	31
Şekil 2.16. %5-10-20 oranlarında çimento yerine kullanılan power pozz metakaolinin zamana bağlı olarak genleşme üzerindeki etkisi.....	34
Şekil 3.1. Alkali-agregada reaktivitesi sonuçları.....	40
Şekil 3.2. Karışımların üretim aşamaları.....	42
Şekil 3.3. Karışımların dökülmesi.....	43
Şekil 3.4. Numune boylarının ölçülmesi.....	44
Şekil 3.5. Numunelerin buhar basıncına maruz bırakılması.....	44
Şekil 4.1. Uçucu kül ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları.....	48
Şekil 4.2. Harç çubuklarının SEM görüntüleri (UK).....	49
Şekil 4.3. Kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları.....	51
Şekil 4.4. Harç çubuklarının SEM görüntüleri (KTT).....	52
Şekil 4.5. Kireçtaşı tozu ve uçucu kül ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları.....	54
Şekil 4.6. Harç çubuklarının SEM görüntüleri (UK+KTT).....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Reaktivite seviyelerine göre mineral ve kayaçlar.....	10
Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal özellikleri	38
Çizelge 3.2. Agregaların granülometrisi	39
Çizelge 3.3. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi için karışım oranları	41
Çizelge 4.1. Uçucu kül ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları.....	46
Çizelge 4.2. Kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları	50
Çizelge 4.3. Uçucu kül ve kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları....	53

SİMGELER DİZİNİ

ASR	Alkali Silika Reaksiyonu
ASTM	Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği
FA	Fly Ash
KTT	Kireçtaşı Tozu
LS	Low Silisium Dioxide
LSP	Limestone Powder
NS	Normal Silisium Dioxide
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SD	Silis Dumanı
SHRP	Strategic Highway Research Program
UK	Uçucu Kül
UPV	Ultrases Hızı
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Alkali Silika Reaksiyonu (ASR), genellikle çimentodan kaynaklanan alkali oksitlerle (Na_2O , K_2O) reaktif silika formları içeren agregalar arasında oluşan ve betonda genleşme etkisi meydana getiren kimyasal bir reaksiyondur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genişleyen bir jelin oluşmasına neden olur. Beton içerisinde şişme sebebiyle meydana gelen bu hacim artışı çekme gerilmelerinin doğmasına sebep olarak çatlamalara yol açar. Bu nedenle ASR konusundaki araştırmalar hem kimyasal hem de yapısal açıdan ele alınmaktadır (Andiç, 2002).

ASR genleşmelerine etki eden faktörler; reaktif silisin tipi, reaktif silisin miktarı, reaktif malzemenin boyutu, betonun alkali içeriği, ortamın nem ve sıcaklığıdır. ASR'nin kontrolü; reaktif silis içermeyen agregaların tercih edilmesi, betonun alkali içeriğinin sınırlanması, boşluk çözeltisi pH'nın azaltılması, nem miktarının kontrolü ve katkı malzemesi kullanımı ile sağlanmaktadır. ASR'nin belirtileri; üç kola ayrılan ve yayılan harita biçimli çatlaklar, bu çatlaklardan sızan reçinemsiz jel ve parça atma şeklindedir (Andiç Çakır, 2007).

Reaktif kireçtaşı tozu agrega işleme tesislerinde atık olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle uçucu kül gibi reaktif mineral katkıların eksikliğinde kireçtaşı tozu son yıllarda yavaş yavaş önem kazanmaktadır. Kireçtaşı tozunun betonda kullanılması amacıyla bir çok araştırma yapılmaktadır. Genellikle reaktif mineral katkıları kullanma ASR'den dolayı betonun aşırı genleşmesini minimize etmede etkili bir potansiyeldir. ASR genleşmesini önlemede şüphesiz kireçtaşı tozu yeni bir seçenek haline gelebilir. Bu çalışmayla bu konuya ışık tutulması da hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, ikili sistem (çimento+uçucu kül ve çimento+kireçtaşı tozu) ve üçlü sistem (çimento+uçucu kül+kireçtaşı tozu) karışımlarının kullanılmasının ASR sonucunda oluşan genleşmeleri azaltmadaki etkinliği incelenmiştir. Öncelikle deneyde kullanılacak agreganın alkali-agrega reaktivitesini belirlemek için ASTM

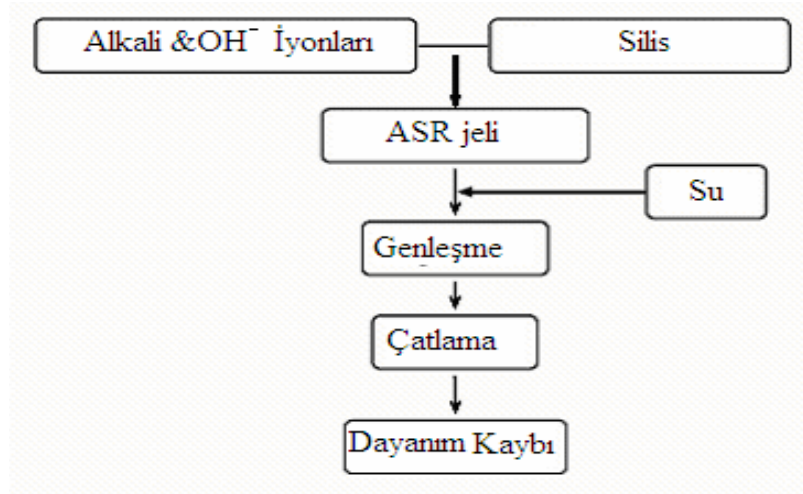
C289-TS 2517 kimyasal metot yöntemine başvurulmuştur. Çalışmada kullanılan mineral katkıların (uçucu kül ve reaktif kireçtaşı tozu) ASR sonucunda oluşan genleşmeleri ölçmek için de ASTM C1260 Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metoduna başvurulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Alkali Silika Reaksiyonu Mekanizması

2.1.1. Tanım

ASR, Portland çimentosu hidrasyon ürünü olan alkali ve hidroksit iyonları ile agregada bulunan reaktif silis arasında oluşan bir kimyasal reaksiyondur. Hidrate olmuş çimento hamuru boşluk çözeltisindeki alkali ve hidroksil iyonları, agrega içerisindeki amorf veya düşük kristalin yapıdaki silis ile reaksiyona girerek alkali-silis jelini oluşturmaktadır. Oluşan ASR jeli su emerek genişler ve harç matrisi çevresinde oluşan basınç, geniş çatlaklara ve dayanım kaybına sebep olur (Bektaş ve ark., 2005). ASR kaynaklı zarara neden olan aşamaların şematik gösterimi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. ASR kaynaklı hasarın şematik gösterimi (Bektaş ve ark., 2005)

2.1.2. Alkali silis reaksiyonun kimyası

Alkali-silis reaksiyonu, beton agregalarında bulunan reaktif silis ile beton içinde eriyik halde bulunan alkalilerin reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genişleyen bir jelin oluşmasına neden olur. Oluşan jel, dışarıdan nem alarak

şişmeye başlar ve bu genişlemenin sonunda beton içerisinde bir takım çekme gerilmelerinin doğmasına sebep olarak betonda çatlamlara yol açar.

Alkali-silis reaksiyonunun ürünü, yüksek oranda su tutabilen alkali silis jelidir. Alkali silis jeli, dış ortamdan kendi bünyesine nemi alarak betonda hacimce yaklaşık %2-%3 katı kadar genişleme meydana getirebilmektedir. Genleşme sonucunda, donatısız kütle betonları (barajlar vs.) ve yol kaplamalarında çekme dayanımının aşılması sonucu betonun içinde ve yüzeyinde kırıklar ve çatlaklar gelişebilmektedir. Betonun, ASR'ye uğramasının en büyük belirtisi de, betonun yüzeyinde haritamsı çatlakların görülmesidir (Gülen, 2007).

Betonarme yapılarda hasar meydana getiren ASR, oldukça karmaşık kimyasal bir reaksiyondur. Bazı çimentoların içinde fazla miktarda bulunan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler beton boşluk suyunda çözülerek sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) oluşturur ve aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerek, zamanla betonu çatlatan bir jel oluşumuna sebep olur. Reaksiyonun neden olduğu genişleme belli bir sınırı aştığında beton için potansiyel bir tehlike oluşturur (Neville, 1995).

Portland çimentosunun hidratasyonu sonucu oluşan hamurun boşluk suyu sodyum (Na^+), potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^+) ve hidroksil (OH^-) iyonları içermektedir. Sodyum, potasyum ve hidroksil iyonlarının boşluk suyundaki konsantrasyonu, hidrate olmamış portland çimentosundaki miktarlarına bağlıdır. Düşük alkalili çimentodan üretilen betonun boşluk suyunun pH'ı 12.7 ile 13.1 arasında değişirken, yüksek alkalili çimentodan üretilen betonlarda boşluk suyunun pH'ı 13.5 ile 13.9 arasında değişebilmektedir. Bu da yüksek alkalili çimentodan üretilen betonun boşluk suyundaki hidroksil iyon konsantrasyonunun düşük alkalili çimentodan üretilen betonunkinden yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu anlamına gelir. Reaktif agrega üzerinde zararlı etki gösteren, betonun boşluk suyundaki yüksek hidroksil iyonu konsantrasyonudur (Andiç, 2007; Glasser, 1992).

Alkali silis reaksiyonun oluşmasında boşluk çözeltisinin önemi çoktur. Boşluk çözeltisi, hem hidratasyon ürünleri ile hem de agregalarla yakın temasta

bulduğundan önem taşır. Ayrıca reaksiyonda gerçekleşen iyon taşınması boşluk çözeltisi yoluyla gerçekleşmektedir (Glasser, 1992).

ASR'nin oluşabilmesi için agregada reaktif silis formları, yeterli miktarda alkali ve ortamda nem bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa hiçbir genleşme olmayacaktır. ASR basitçe iki aşamada görülebilir;

1. Alkali + Reaktif silis → Alkali-silis jel ürünleri
2. Alkali-silika jeli + Nem → Genleşme ve çatlama

Genleşmenin oluşabilmesi için çimento alkali içeriğinin “Eşdeğer Na₂O” değeri % 0.6'yı aşması gerekir. Portland çimentosunun toplam alkali içeriği, sodyum oksit eşdeğeri olarak denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eşd}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O} \quad (2.1)$$

ASR sonucunda oluşan jelin nem alarak genleşmesi, betonun iç yapısında bozulmaya yol açar ve çatlamalara neden olur. Alkali-silis reaksiyonunun oluşmasının aşağıdaki 2.2 ve 2.3 denklemleri ile açıklamak mümkündür (Swamy, 1992):



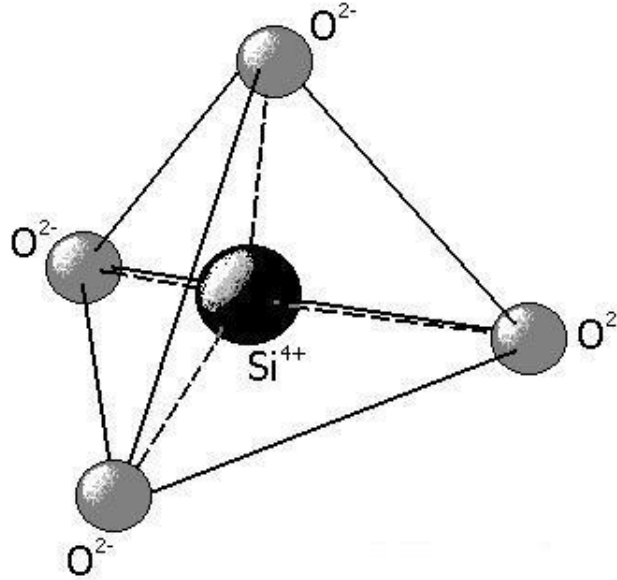
Vivian ve ark. (1951), ASR'nin oluşumunda OH⁻ konsantrasyonunun çok önemli bir rol aldığını ve alkali iyonlarının reaksiyon gerçekleştikten sonra jelin oluşumuna yardımcı olduğunu belirlemiştir (Swamy, 1992).

Suyun içine batırılmış bir silis taneciğinin yüzeyi, yüzey alanına ve yüzey düzensizliğine bağlı olarak artış gösteren zayıf bir asidik karakterdedir. Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi silis, Si atomuna bağlı 4 oksijen atomundan oluşan silis

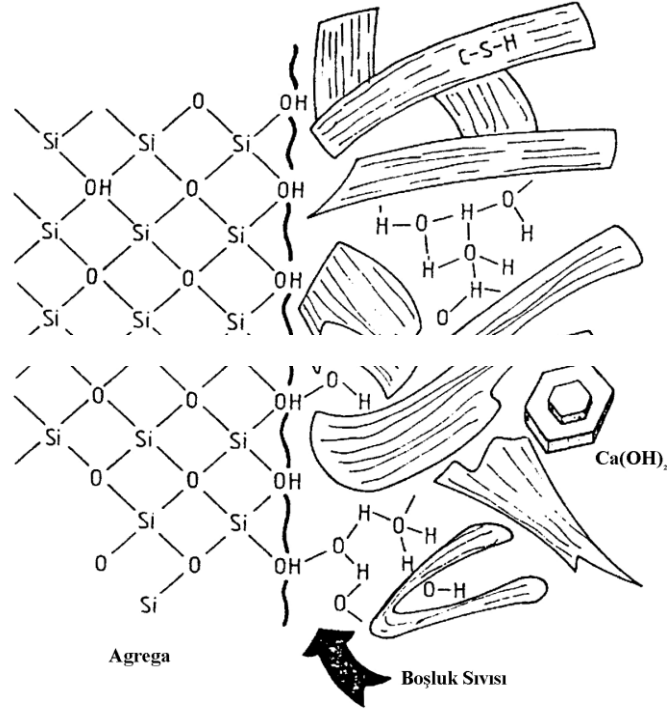
dört yüzlüsüdür (tetrahedri). Oksijen atomları bir valansları ile silisyuma bağlı kaldıklarından diğer valansları serbesttir. Böylece, silis dört yüzlüsünün serbest dört negatif bağı mevcuttur (Cruçq, 2005; Glasser, 1992)

Şekil 2.3.'de silis içeren bir agrega yüzeyi gösterilmektedir. Normalde, saf suda bile agrega yüzey oksijenleri hidroksile haldedir. Yüzey araştırmaları bu karışık yüzeyin bir kaç atom, bazen onlarca atom derinliğinde olduğunu ortaya koymuştur. Agregalar, hidroksilce zengin bir ortama yerleştirildiğinde hidroksile olma potansiyelleri artar. İyi kristalize olmuş kuvars için de böyle bir potansiyel geçerlidir. Ancak, hidroksile olma hızı yavaş olduğundan dolayı inşaat mühendisliği için geçerli zaman aralığında bunu gözlemlemek imkânsızdır. Sıcaklık, bu tür reaksiyonların oluşumunu artırır.

İnce öğütülmüş kristalin kuvars hidrotermal koşullarda oldukça reaktiftir. Ancak, reaktif agregalar normal ortam koşullarında bile kristalin kuvarsa kıyasla oldukça hızlı hidroksile olur (Glasser, 1992).

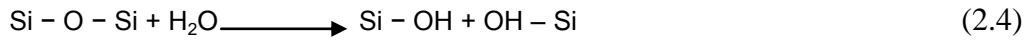


Şekil 2.2. Silis dört yüzlüsü tetrahedri (Cruçq, 2005)

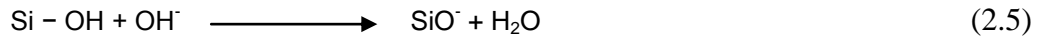


Şekil 2.3. Silisli agrega içeren bir betonun iç yapısı (Glasser, 1992)

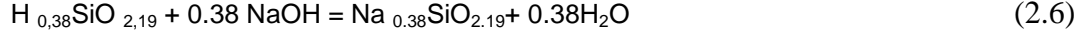
ASR'nun gerçekleşmesinin ilk aşamasında, yüksek pH'lı boşluk çözeltisi (çok miktarda hidroksil iyonları içeren), agrega içinde bulunan Si-O-Si bağları ile reaksiyona girerek silanol bağları oluşturur. Bu bağların oluşumu da denklem 2.4.'de gösterilmektedir (Swamy, 1992; Franz ve ark., 2000)



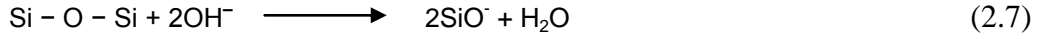
Opal gibi reaktif silis içeren agregaların bünyesinde su bulunmaktadır. Bu tür agregalar, yeterince silanol bağlarına sahiptir. Silanol gurupları asidik karakterde olup bazik olan boşluk çözeltisiyle reaksiyona girebilir. Böylece, silanol gurupları, hidroksil iyonları ile reaksiyona girerek çözülmeye başlar ve bu çözülmenin sonucunda ortama H₂O vererek SiO⁻ formuna dönüşür. Bu çözülme de denklem 2.5.'de gösterilmektedir (Dent-Glasser ve Kataoka, 1981; Franz ve ark., 2000).



Bu çözülmenin sonucunda oluşan negatif yüklü SiO^- , boşluk çözeltisinde bulunan pozitif yüklü sodyum, potasyum ve kalsiyum iyonlarını, oluşan jelin içine alarak ortamın dengesini sağlamaya çalışır. Ortamda denge sağlanması denklem 2.6.'da gösterilmektedir (Dent-Glasser ve Kataoka, 1981).



Son aşamada ise oluşan reaksiyonda daha fazla siloksan Si-O-Si bağları kırılmaktadır. Bu da denklem 2.7.'de gösterilmektedir (Swamy, 1992).



Oluşan jel kendi bünyesine suyu emerek hacmini artırır. Böylece betonun içinde bir takım gerilmeler oluşur ve çatlamalara yol açar.

ASR jellerinin kimyasal kompozisyonu değişiklik göstermesine rağmen genel olarak üç başlık altında özetlenebilir:

1. Kısmen reaksiyona uğramış ve şişmiş silis,
2. Nispeten saf alkali-silikat çözeltileri veya çeşitli alkali ve su içeriklerinde jeller,
3. Sabit kompozisyonda (su içerikleri hariç) iki komponentli basit karışımlar.

Alkali-Silis jelinin alkali-silikat-hidrat ve kalsiyum-silikat-hidrat fazlarının bir karışımı olduğu görülmüştür (Kirkpatrick, 1991).

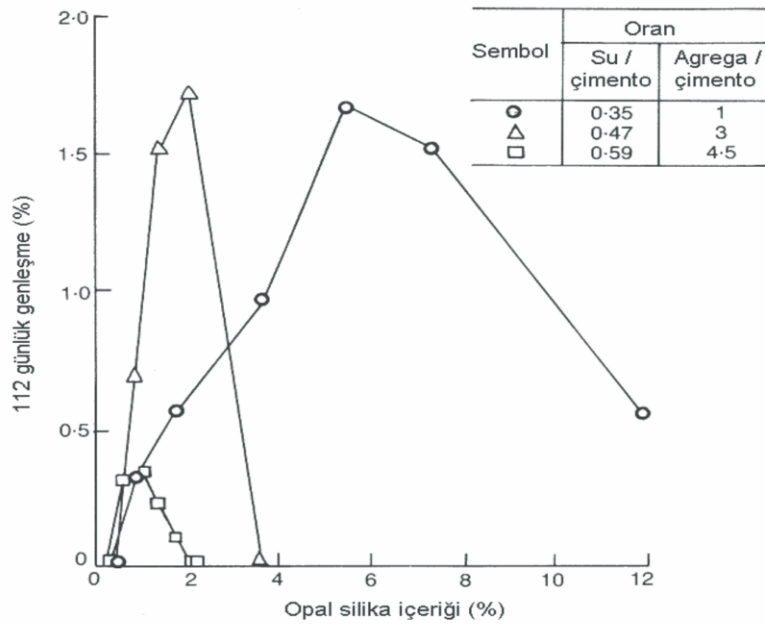
2.2. Alkali Silika Reaksiyonunu Etkileyen Faktörler

2.2.1. Karışım oranlarının etkisi

Betonu oluşturan bileşenlerin oranları ASR genleşmelerinin gelişimini etkiler. Reaktif agrega içeren bir betonun karışım oranları değiştirilerek betonun reaktif agrega içeriği, alkali içeriği, hidroksil iyonu konsantrasyonu değiştirilebilir. Bu değişim ASR genleşmelerini etkilemektedir. Düşük su/çimento oranları ve artan

çimento dozajları geçirimsizliğin azalmasını sağlar. Böylece dışarıdan beton içine alkali ve su girişi, $(OH)^-$ iyonlarının beton içindeki hareketi kısıtlanarak ASR'nin gelişimi engellenebilir. Buna karşın dayanım kazanma hızının artması ile beton taze iken alkalilerin reaksiyona girip tükenmesi için gereken süre kısalabilir (Baradan ve ark., 2002; Hobbs, 1988).

Şekil 2.4.'de farklı su/çimento ve agrega/çimento oranlarında 112 günlük genişleme değerleri incelenmiştir. Maksimum genişleme, reaktif silika/alkali oranının 3.5 ile 5.5 olması durumunda meydana gelmektedir. Düşük su/çimento ve agrega/çimento oranlarının seçilmesi ASR genişlemelerini bir miktar azaltmaktadır (Hobbs, 1988).



Şekil 2.4. Karışım oranlarının genişleme değerleri üzerindeki etkisi (Hobbs,1988)

2.2.2. Reaktif agreganın cinsinin ve tane büyüklüğünün etkisi

Betonda ASR'nun oluşabilmesi için herhangi bir formda reaktif silisin bulunması gerekmektedir. Reaktif silis, oldukça farklı doku ve kristal yapısı sergiler. Silisin doku farklılığı, kayaçlaşma sürecinde azalan soğuma hızına bağlıdır. Agregadaki silisli mineraller kayaç oluşum sürecinde soğuma hızına bağlı olarak

amorf veya camı (kristalleşmemiş) yapıdan kripto kristal, mikro kristal ve kristal yapıya kadar geniş bir aralığa dağılırlar. Kimi durumlarda kuvars kristallerinin oluşumu sırasında içsel gerilmeler oluşur. Bu tür kuvars mineralleri içeren agregalar reaktiftir. Çizelge 2.1.'de reaktivite seviyelerine göre mineral ve kayaçlar belirtilmiştir (Ramyar ve ark., 2002).

Çizelge 2.1. Reaktivite seviyelerine göre mineral ve kayaçlar (Ramyar ve ark., 2002)

Reaktivitedeki azalmaya göre silis mineralleri	Reaktivitedeki azalmaya göre kayaçlar
Amorf silis	Tüfler dahil volkanik camlar
Opal	Metakuvarsit metamorfize kumtaşları
Stabil olmayan kristalin silis	Granit gnayslar
Çört	Deforme olmuş granitik gnayslar
Kalsedon	Diğer silis içeren metamorfik kayaçlar
Silisin diğer kriptonkristalin formları	Silisli ve mikalı şist ve fillitler
Metamorfik olarak ayrılmış ve bozulmuş kuvars	İyi kristalize olmuş volkanik kayaçlar
Deforme olmuş kuvars	Pegmatik volkanik kayaçlar
Yarı kristalleşmiş kuvars	Silis içermeyen kayaçlar
Saf kuvars	

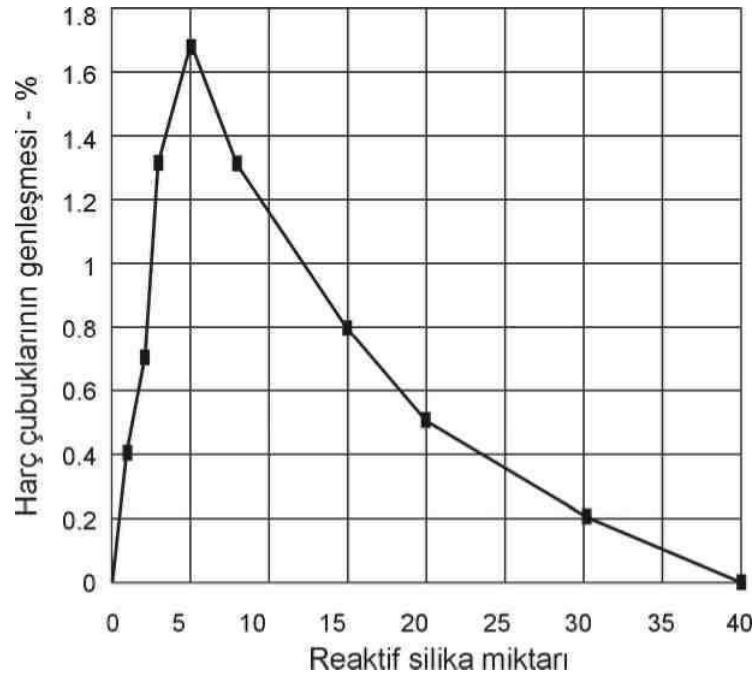
Agrega içinde ne kadar reaktif mineral bulunduğu zaman beton genişlemesinin zararlı olacağı tespit etmek üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Agregada içinde %3-%5 opal bulunması halinde beton şişmesinin maksimum değere ulaştığı buna karşılık %20'den fazla opal ihtiva eden agregalarda şişme meydana gelmediği gözlenmiştir. Reaktif minerallerin fazla olması halinde betonda şişme meydana gelmemesi ilk bakışta anlamsız görünmektedir. Bu durum, mevcut alkali oksitlerinin agregada içinde bulunan bütün aktif silise yeterli olmayışından ve etkisiz derecede alkali silis jeli teşekkül etmesinden ileri gelmektedir (Yalçın ve Özalp, 1974).

SHRP (2003), reaktif agreganın tane büyüklüğü de ASR sebebiyle oluşabilecek zararlar üzerinde etkilidir. Büyüklüğü 75 µm ile 1 mm arasında değişen, hatta bazen 5 mm'ye kadar çıkabilen boyutundaki reaktif agregada kullanılması durumunda genişlemenin maksimum olduğu görülmektedir. Ancak, 75 µm altındaki boyutlarda reaktif agreganın fazla miktarda bulunması halinde genişleme oluşmadığı

halde reaksiyon delillerinin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Reaktif agreganın boyutunun etkisi, reaktif agreganın fiziksel ve mineralojik karakterine de bağlıdır. Gözenekliliği fazla olan agreganın içine boşluk çözeltilisinin girişi daha kolay olmakta ve reaksiyon alanı artmaktadır.

Diamond ve Thaulow (1974), reaktif agregaların tane boyunun, reaksiyon sonucu harç prizmalarının genişmesi üzerine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları deneylerde, tane boyları 20-30 μm ve 53-74 μm aralıklarında değişen reaktif agregalar kullanmışlar ve en fazla boyca genişmenin, 20-30 μm arasında tane boyuna sahip harç prizmalarında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

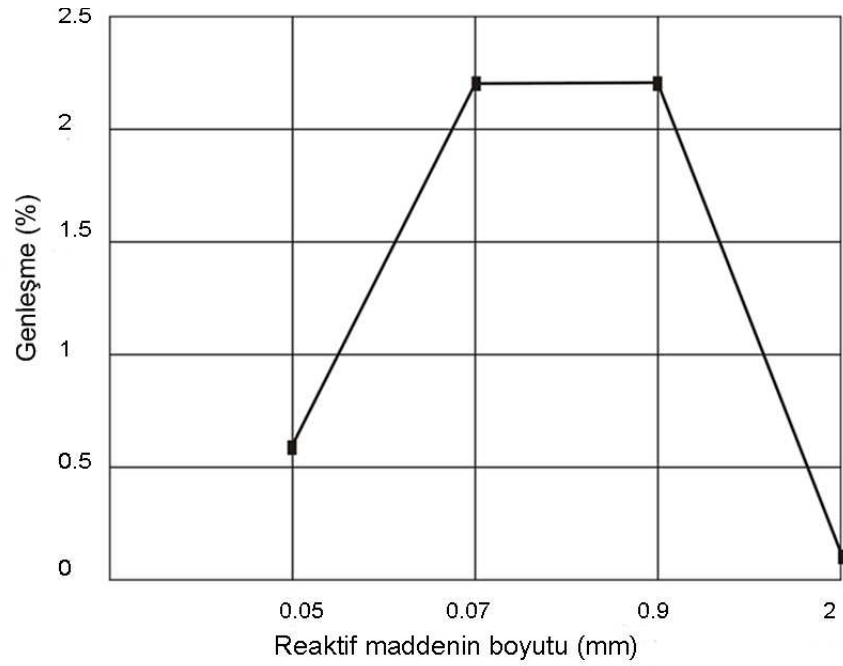
Herhangi bir agreganın en yüksek genişmeyi veren reaktif madde içeriği değeri, daha düşük su/çimento oranında ve daha yüksek çimento dozajlarında artar. Şekil 2.5.'de reaktif madde miktarının genişmeye etkisiyle ilgili bir araştırmanın sonuçları verilmiştir (Vivian, 1950).



Şekil 2.5. 224 günlük genişme ile agregadaki reaktif silika miktarı arasındaki bağıntı (Vivian, 1950)

Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi reaktif silika miktarı % 5 oranına doğru arttıkça alkali agreganın genişmesinde de artma olmaktadır. Ancak % 5 üzerindeki artma daha düşük genişmelere yol açmaktadır. Yüksek miktarlarda silika içeren ortamdaki alkali silika genişmesinin az olması, şu şekilde açıklanmaktadır. Ortamda mevcut olan alkali, fazla miktarda yer alan silisin tümü ile alkali silika reaksiyonu yapmaya yetmemektedir. O nedenle reaksiyonlar tam olarak gerçekleşmemektedir (Mindess ve Young, 1981).

Sınır değer davranışına benzer olarak, reaktif agregaların betonda maksimum genişme verebilmesi için ideal boyutta olmaları gerekmektedir. Şekil 2.6.'da görüleceği gibi, genişme orta boyuttaki reaktif taneciklerde en yüksek miktardadır (Mindess ve Young, 1981).



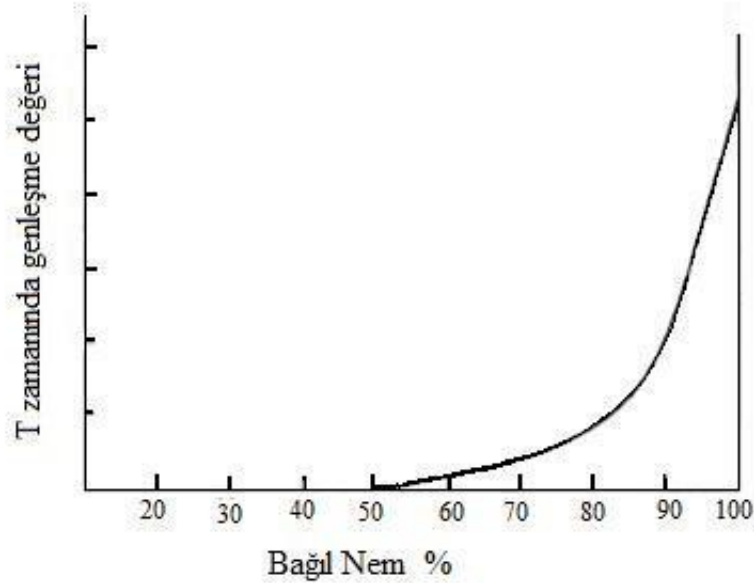
Şekil 2.6. Agregadaki reaktif silika bileşeni boyutunun, alkali agreganın genişmesine etkisi (Mindess ve Young, 1981)

2.2.3. Nemin etkisi

ASR'nun oluşmasında alkali ve silis olmak üzere iki ana faktörün bulunmasının yanısıra, oluşan jelin genişmesi için yeterli nemin bulunması gerekmektedir.

ASR'na uğrayan ve nem etkisinde kalan binalarda görülen hasarların, nem etkisinde olmayan benzeri durumdaki binalarda görülen hasarlara kıyasla daha büyük olduğu görülmüştür (Swamy, 1992).

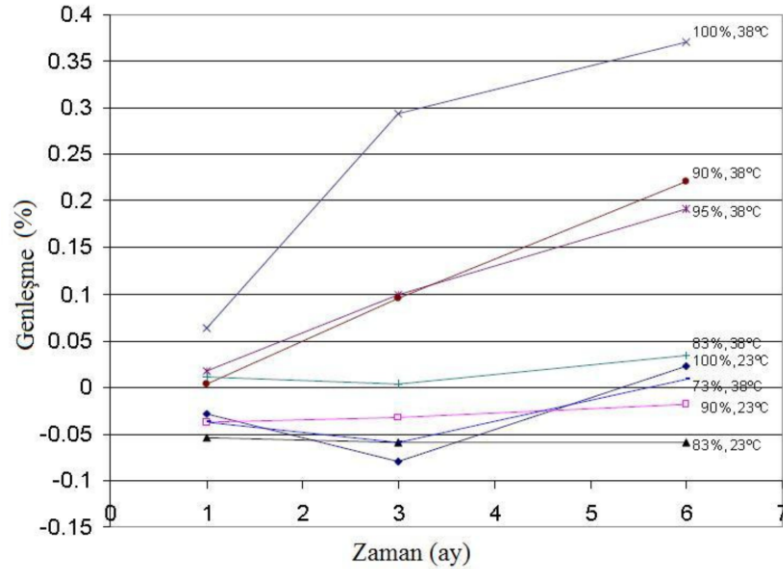
Şekil 2.7.'de, alkali silis reaksiyonunun etkisiyle oluşan genişmenin ortamın bağıl nemine göre değişimi belirlenmektedir. Düşük nem yüzdelinde ASR genişmeleri görülmemektedir. Ancak nem yüzdesi %80'den fazla olduğunda zaman boyunca oluşan genişmelerin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir (Swamy, 1992).



Şekil 2.7. Ortam bağıl neminin ASR genişmelerine etkisi (Swamy, 1992)

Gudmundsson ve Asgeirsson (1983) yaptıkları bir çalışmada farklı bağıl nem seviyelerinde (%73, %83, %90, %95 ve %100) ve iki farklı sıcaklıkta (23°C ve 38°C), nemin ASR genişmelerine etkisini harç çubukları üzerinde incelemişlerdir. Şekil 2.8.'de elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Sonuçlara göre yüksek nemli

ortamın ve yüksek sıcaklığın, ASR genleşmelerine etkisi yüksek olduğu görülmüştür. 100% nem seviyesinde ve 23°C sıcaklığında kürlenmiş numuneler 6 ay boyunca hiç genleşme göstermemiştir. Ayrıca, %83 ve %90 bağıl nem seviyesinde ve 23°C sıcaklıkta kürlenmiş numunelerde büzülme görülmüştür.

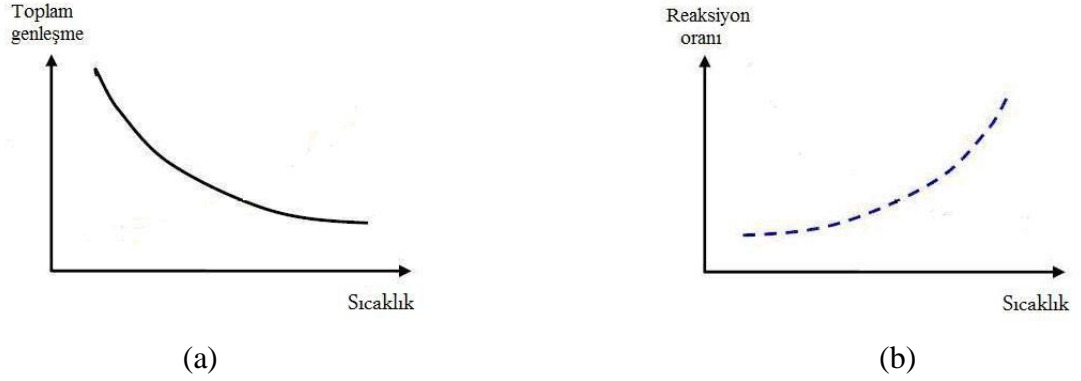


Şekil 2.8. Farklı bağıl nemde harç çubukların ASR genleşmeleri (Gudmundsson ve Asgeirsson, 1983)

2.2.4. Sıcaklığın etkisi

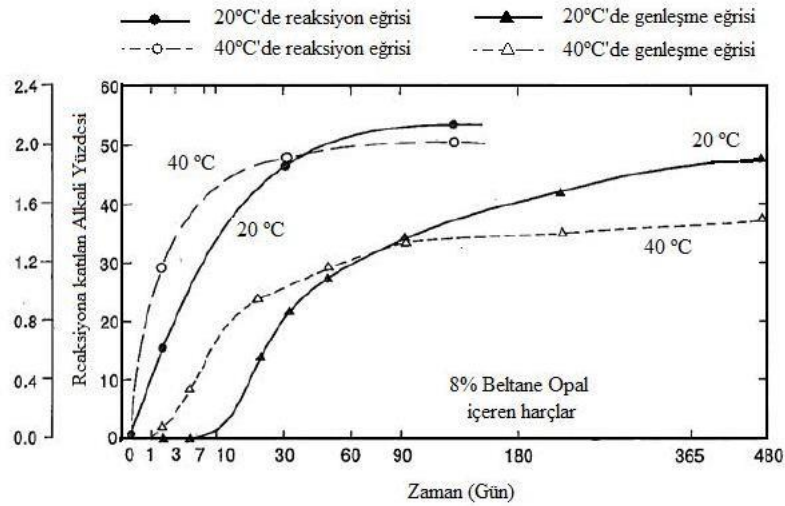
Alkali silis reaksiyonu kimyasal bir reaksiyon olduğundan dolayı, sıcaklığın, ASR oluşumuna etkisi büyük orandadır. Genelde, sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonların hızlı bir şekilde gerçekleşmesine neden olur.

Locher'in (1973) yaptığı bir çalışmada, sabit alkali içeriği kullanarak sıcaklığın genleşmeye etkisini belirlemiştir. Sıcaklığın belli bir aralıkta (38°C - 40°C) olduğu halde ASR genleşmelerinin yüksek oranda geliştiği görülmüştür. Şekil 2.9a ve b'de sıcaklık ile toplam genleşmenin ve reaksiyon oranı ilişkisi gösterilmektedir. Sıcaklık arttıkça toplam genleşmenin azaldığı ve reaksiyon oranının arttığı görülmektedir (Wigum ve ark., 2006).



Şekil 2.9. Sıcaklığın, genişleme ve reaksiyon ile ilişkisi a) Sıcaklık - toplam genişleme ilişkisi, b) Sıcaklık - reaksiyon oranı ilişkisi (Locher, 1973)

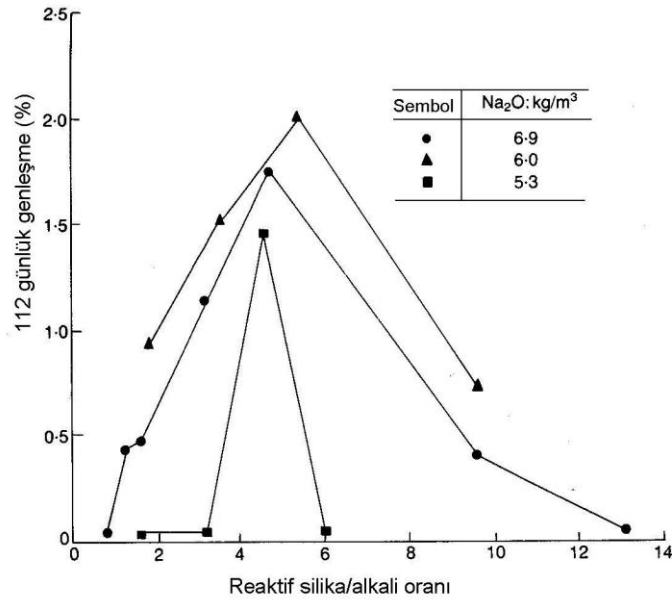
Diamond ve ark. (1981) yaptığı çalışmada, sıcaklığın ASR'ye etkisini 20⁰C ve 40⁰C'de kapalı ortamda incelenmiştir. Şekil 2.10.'da, elde edilen sonuçlara göre, yüksek sıcaklıklarda kürlenmiş betonlar ve harçlarda oluşan reaksiyon ve genişleme daha erken başlayarak daha hızlı devam etmiştir. Zaman ilerledikçe, hem reaksiyonun hem de genişlemenin hızı azalmıştır. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda kürlenmiş numuneler daha yavaş reaksiyona girmekte ve zamanla yüksek sıcaklıklarda kürlenmiş numunelerinin gösterdiği genişlemelere yaklaşmakta ya da aşmaktadırlar.



Şekil 2.10. 20⁰C ve 40⁰C kürlenmiş numunelerin reaksiyon ve genişleme eğrisi karşılaştırması (Swamy, 1992)

2.2.5. Alkalilerin etkisi

Betondaki çimentonun alkali içeriği, betonun hidroksil iyon konsantrasyonunun, betonun alkali içeriğinin, reaktif silis/alkali oranının değişmesinde etkilidir. Şekil 2.11.'de suda beklemiş harç çubuklarının alkali içeriğinin genişlemeye etkisi gösterilmiştir. Kullanılan harç örneklerinin çimento içeriği 670 kg/m^3 , su/çimento oranı 0.4, agrega/çimento oranı 2'dir. Çimentonun alkali miktarı arttıkça pesimum davranışı genişler, maksimum genişleme reaktif silis/alkali oranı 4.5-5 arasında iken oluşmaktadır (Hobbs, 1988).



Şekil 2.11. Reaktif silika/alkali oranı ile genişleme arasındaki ilişkisi (Hobbs,1988)

Beton yapılarında reaksiyonun olduğu durumların çoğunda kullanılan çimento yüksek alkalili çimentodur. Çimento içindeki sodyum ve potasyum oksitler çimentonun hammaddelerinden (kil, kireçtaşı, şeyl), özellikle kilden kaynaklanır. Klinkerdeki alkaliler, alkali sülfat, alkali alüminat, alkali silikat ve alüminoferrit formundadır. Alkaliler özellikle klinkerdeki SO₃ ile birleşirler. Çimento su ile karıştırılınca alkali sülfatlar hızla sıvı fazına geçip, hidroksit yoğunluğunu arttırlar. Alkali konsantrasyonu hızla yükselir ve 28 günde alkalilerin büyük kısmı çözeltiye karışır (Baradan ve ark., 2002).

Potansiyel bir ASR tehlikesi söz konusu olduğunda Kanada ve Avrupa ülkelerinde betondaki alkali miktarı 3 kg/m^3 ile sınırlanmaktadır. Genel olarak ASR nedeniyle oluşan genleşmelerin azaltılması veya önlenmesi için düşük alkalili çimento kullanımı başarılı bir çözüm olmaktadır (Baradan ve ark., 2002).

Betonda alkalilerin asıl kaynağı çimento olmasına rağmen, başka kaynaklardan da alkali girişinin olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Buz çözücü tuzlar, deniz suyu, betonun kür suyu ve endüstriyel atık suları aracılığıyla betona dışarıdan giren alkaliler dış alkaliler olarak adlandırılır. Özellikle geçirimli betonlarda veya çatlamış betonlarda dış alkalilerin ASR'ye neden olması kaçınılmaz olup, agregalardan da boşluk suyuna alkali geçişi olduğu belirlenmiştir (Andiç, 2002).

2.3. Alkali Silika Reaksiyonunu Belirleme Yöntemleri

2.3.1. Agregadaki reaktif silis tayini

2.3.1.1. Agregaların petrografik analizi

Petrografik inceleme, minerallerin cins ve yüzdelere göre kayacın adlandırılması işlemidir. Agregalardan alınan ince kesitlerin optik mikroskop yardımıyla incelenmesi sonucu içeriklerinde bulunan potansiyel reaktif mineral fazların (reaktif silis) teşhisi mümkündür. X ışını yayılımı ve tarayıcı elektron mikroskobu gibi yöntemler de silisin saptanmasında faydalı olmaktadır (Andiç, 2002).

ASTM C295 yöntemi, agrega numunesinin analizinde kullanılan megaskopik ve mikroskobik yöntemler hakkında rehberlik görevi görür. Megaskopik analizde agrega numunesi benzer kaya türlerinden oluşan gruplara ayrılır. Potansiyel reaktif kaya türlerinin nicel analizi toplam agrega numunesi baz alınarak gerçekleştirilir. Mikroskobik analizde genelde petrografik mikroskop kullanılır ve ince agrega kesitleri polarize ışık altında incelenir. Kırılma indisi ve toz haline getirilmiş agrega numunelerinin özgül ağırlığı da ayrıca değerlendirilir. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) gibi elektron

mikroskopları da agreganın mineral yapısını saptamada kullanılır. Röntgen ışını saptırma ve infrared spektroskopi gibi analitik teknikler de agrega parçacıkları içindeki silisin formu ve kristal formunun saptanmasında kullanılmaktadır (Tosun, 2001).

Belirli bir agrega-çimento bileşiminin reaktifliği hakkında petrografik analiz tek başına sonuç vermemekle birlikte, agregalar üzerinde kimyasal metotlar, beton veya harç numuneleri ile testler uygulamadan önce petrografik analizin uygulanması, hem zaman kazandırmak açısından hem de uygulanacak metodun agrega tipine göre seçimini kolaylaştırmak açısından önerilmektedir (Berube ve Fournier, 1992; Hobbs, 1988).

2.3.1.2. Kimyasal yöntem

Bu deney metodu hızlı harç çubuk metodu ile benzerlik gösterir. Deney için hazırlanan alkali ortam her ikisinde de aynıdır. Fark kimyasal yöntemde, agreganın reaktivitesini ölçmek için harç çubuğu yapılmaz ve direk olarak agrega, alkali ortama maruz bırakılır.

Kimyasal analiz yöntemi için reaktivitesi belirlenecek agregalardan 0,250 mm (No:50) ve 0.125 mm'lik (No:100) elekler arasında kalan malzemeden alınan örnekler akar saf su altında yıkanarak toz ve ince parçalardan arınması sağlanır. Yıkanan malzeme 24 saat süreyle 105 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde kurutulur. Elenen, yıkanan ve kurutulan örneklerden elektronik tartı ile 25 g.'lık 3 adet örnek alınarak reaksiyon kabı içerisine konur. Bu kapların her birine 25 ml. 1 N NaOH çözeltisi ilave edilir. 1 N NaOH çözeltisi, 900 mlt. Saf suya 40 gr sodyum hidroksit konularak hazırlanır bu çözeltiye sodyum hidroksit çözeltisi denir. İçerisine örnek konulmayan dördüncü kaba sadece 25 ml. 1 N NaOH çözeltisi konur bu kap referans kabı olarak kullanılır.

Örnek kaplar $80^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta sabit tutulan su banyosuna konarak 24 saat bekletilir. Bu süre sonunda örnekler su banyosundan çıkarılarak 30°C sıcaklığa kadar soğutulup kapakları açılarak kuru bir kap içerisine süzülür. Homojenliğin sağlanması

için karıştırıldıktan sonra bir pipet yardımıyla 10 ml. çekilerek 200 ml.lik balon jøjeye alınır ve üzeri damıtık su ile 200 ml. ye tamamlanır. Bu çözelti, çözünmüş silisin ve alkali azalmasının tayini için kullanılır.

2.3.1.2.1. Kolorimetrik metod

100 ml lik bir ölçülü balon jøjeye üzerine 1/1 HCl den 0.5 ml ve amonyum molibdat çözeltisinden 1 ml ilave edilip yaklaşık 10 dakika sonra kolorimetrede okunur. Kalibrasyon eğrisi yardımıyla SiO₂'nin konsantrasyonu “Sc mmol/litre” olarak okunur.

Çözünen silis konsantrasyonu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$Sc = \left(\frac{20 * 100}{V} \right) * C$$

Eşitlikte;

Sc = Orijinal süzüntüdeki silis konsantrasyonu (mmol/litre),

V = 200 ml.'lik çözümden çekilen örnek hacmi (ml),

C= Kolorimetrede ölçülen çözeltinin silis konsantrasyonu (mmol/litre) gösterir.

2.3.1.2.2. Titrasyon metodu

Hazırlanan 200 ml'lik çözümden 20 ml örnek alınmış 100 ml'lik bir erlenmayere konduktan sonra 2-3 damla fenolftalein çözeltisi damlatılmıştır. 0,05 N hidroklorik asit çözeltisi ile karışımın rengi pembeden beyaza döndüğü noktaya kadar titre edilmiştir.

Alkali azalması aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$Rc = \left(\frac{20N}{(Vb - Vc) * Va} \right) * 1000$$

Eşitlikte;

Rc = Alkali azalması (mmol/litre),

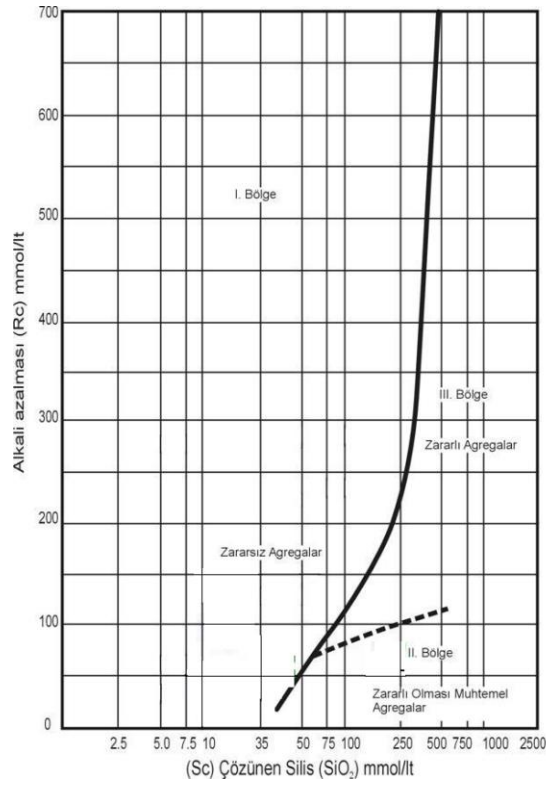
N = Hidroklorik asidin normalitesi,

V_a = 200 ml'lik çözeltiden çekilen örnek hacmi (ml),

V_b = Örnek için sarf edilen hidroklorik asit hacmi (ml),

V_c = Tanık örnek için sarf edilen hidroklorik asit hacmi (ml) göstermektedir.

ASTM C-289 “Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) ve TS 2517 “Alkali Silika Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini”ne göre alkali azalması (R_c) ve çözünmüş silis (S_c) değerleri kullanılarak Şekil 2.12.'de ki grafik yardımı ile söz konusu agreganın yeri belirlenir ve agregaların zararlı veya zararsız olduğu hakkında yorum yapılır.



Şekil 2.12. Alkali agrega reaktivitesi tayini (TS 2517)

2.3.1.3. Hızlandırılmış harç çubuğu metodu

Bu metot, numune agregalar kullanılarak elde edilen harç çubuklarının yüksek alkaliniteli çözeltide yüksek sıcaklıkta saklanması ve uzunluk değişimlerinin ölçülmesinden ibarettir (Tosun, 2001).

İlk olarak Güney Afrika Ulusal Araştırma Bürosu (NBRI) tarafından uygulamaya konan bu yöntem daha uzun test sürelerine gereksinimi ortadan kaldıran nispeten daha hızlı bir test metodudur (Davies ve Oberholster, 1987).

Standartta belirtilen gradasyondaki agrega, kütlece çimentonun 2.25 katı kadar kullanılarak su/çimento oranı 0.47 olan harç karışımı hazırlanır. 25x25x285 mm. boyutlarındaki kalıplara dökülen harç numuneleri 24 saat sonra kalıplarından alınarak ilk boylar ölçülür. Kalıp sökümünden itibaren 1 gün süreyle 80°C 1 M NaOH çözeltisinde bekletilir ve periyodik ölçümleri alınır. Standart, çimentonun alkali miktarı hakkında bir değer vermez, çünkü kür koşullarından dolayı numunelerin boşluk çözeltisi alkalinitesi artmaktadır (Andiç, 2002).

14 gün sonunda % 0.1 gibi bir değer baz alındığında, hızlandırılmış harç çubuğu metodunun mineral katkıların etkinliği konusunda beton prizma metodu ile benzer sonuçlar verdiği farklı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Bu sebeple, 2 yıl gibi bir bekleme süresinin olmadığı durumlarda bu metodun kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu deney mineral katkıların kullanım oranları hakkında daha koruyucu bilgiler vermektedir (Fournier ve Malhatra, 1999; Barringer, 1999).

2.3.1.4. Harç çubuğu deneyi

Amerikan standartlarında, ASTM C227 “Çimento-agrega kombinasyonlarının potansiyel alkali reaktivitesi için deney metodu” olarak adlandırılmaktadır. Deney, araştırmaya konu olan agrega ile hazırlanan harç çubuklarının genleşme değerlerini ölçme esasına dayanır. Deneyde, belirtilen gradasyonda agrega elenerek agrega/çimento oranı 2.25 ve yayılma değeri %105-%120 arasında olacak şekilde

bir harç karışımı hazırlanarak 25×25×285 mm boyutundaki prizmatik kalıplara dökülür. Hazırlanan harçlar, %100 bağıl nem ve 38°C sıcaklıkta kürlenir.

Deneyde boy ölçümleri, 14. günden başlayarak belirli periyotlarda 12 ay veya daha uzun süre içinde 0.002 mm hassasiyetinde kaydedilir. Genleşme değeri limitleri, ASTM C33 “Beton agregaları standardı”, reaktif olmayan agregaya için genleşmeler 6 ayda, %0.10 ve 3 ayda %0.05’in altında olarak verilmiştir. 6 aylık genleşmelerin limit değerini aşması halinde, oluşan genleşmenin ASR sebebiyle olup olmadığını belirlemek için ek deneylerin uygulanması önerilmektedir.

Deney metodu, yüksek bağıl nemin sağlanabilmesi için numunelerin kürlenmesinde kullanılan kapların içinin fitille kaplanması gerektiğini belirtmiştir. Bu fitillerin işlevi, nemin numunenin üzerinde yoğunlaşarak alkalilerin, harcın dışına süzülmesini kolaylaştırmaktır. Fital kullanılan kaplarda kaydedilen genleşmelerde azalma görülmüştür (Farny ve Kosmatka, 1997).

Deneyde kullanılan harç örneklerinin boyutu, ölçülen genleşmeleri etkilemektedir. Harç çubuğunun eni büyüdükçe, ölçülen genleşmeler artmaktadır. Kullanılan kabın tipi, çimentonun alkali içeriği, sıcaklık, nem ve fitillerin kullanılması gibi faktörler deney sonucunu büyük oranda etkilemektedir (Swamy, 1992).

2.3.1.5. Beton prizma deneyi

ASR’den dolayı betonda meydana gelen uzunluk değişimlerini belirleyen standart deney metodudur. Beton prizmalarının boy değişimi ile agregaların alkali reaktivitesi ve katkıların etkinliğini ölçmede kullanılır. Alkali karbonat reaksiyonunu (ACR) tespitinde kullanılabilir.

Deney uygulanacak agregaya ince agregaya ise reaktif olmayan kaba agregaya ile karıştırılarak kullanılır. Kaba agreganın reaktivitesi ölçülecek ise reaktif olmayan ince agregaya ile karıştırılıp belli gradasyona getirilen malzeme 75×75×285 mm

kalıplara konulur. Numunelerin çimento içeriği 420 kg/m^3 olup su/çimento oranı 0.42 ile 0.45 arasında işlenebilirliği sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Kullanılan çimentonun eşdeğer Na_2O içeriği, karışım suyuna NaOH eklenerek çimentonun kütlece %1.25'ine yükseltilir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numunelerin ilk boy ölçümleri alındıktan sonra 38°C sıcaklıkta, su üzerinde (nemli ortamda) standartta belirtilen şekilde saklanır ve periyodik olarak ölçümleri alınır. 1 yıllık genleşme ölçümleri değerlendirilir, ancak mineral katkıları söz konusu olduğunda ölçümler 2 yıla kadar uzatılmalıdır.

Genleşme limitleri üç numunenin ortalaması alınarak, 1 yıllık Na_2O periyot sonunda %0.04 olarak belirlenmiştir.

Bu metot, mineral ve kimyasal katkıların ASR genleşmelerine etkisi hakkında en gerçekçi sonuçları vermektedir. Mineral katkıların etkinliği değerlendirilirken, 2 yıllık genleşme değerinin %0.04 olarak alınması ve karışımın alkali içeriğinin çimentonun kütlece %1.25'i değerine artırılması önerilmektedir (Berube ve Duchesne, 1992; Thomas ve ark., 1997; Lane ve Ozyildirim, 1999).

Bu metot, beton üzerinde uygulandığından gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekte ve bu sebeple diğer deney metotları yetersiz kaldığında kullanılmaktadır. Uzun süreli metotlar arasında ise 38°C 'de uygulanan ASTM C1293 beton prizma metodu en gerçekçi sonuçları vermektedir (Berube ve Fournier, 1992). Ancak, deneyin uzun sürmesi metodun dezavantajıdır.

2.3.1.6. Jel pat metodu

Bu metotta agrega örneği koyu kıvamda çimento hamurunun içine gömülür ve yüzeyi bilerek agrega parçalarının açığa çıkması sağlanır. Alkalin çözeltiye batırılan hamur, stereoskopik mikroskop ile periyodik aralıklarla incelenir. Deney, 20°C sıcaklıkta veya yükseltilmiş sıcaklıklarda uygulanabilmektedir. Agregada opal silis içeren bileşik olması halinde birkaç gün içinde jel oluşumu gözlemlenebilir. Bu metot, petrografik mikroskop altında incelenemeyecek kadar ince dağılımlı reaktif

silisin ortaya çıkarılmasına imkan verir. Bu deney sonucunda reaktif olabileceği izlenimi veren agrega hakkında yeterli saha performansı olmadığı takdirde beton veya harç prizma yöntemlerinden birinin uygulanması önerilmektedir (Ramyar ve ark., 2002).

2.3.1.7. Alman çözünme metodu

Bu metot, opal ve flint içeren agregaların potansiyel alkali reaktivitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Seçilen tanecik boyutundaki agregalar (1-2 veya 2-4 mm) 90°C derecede 4 M NaOH çözeltisinde 1 saat boyunca bekletilir, kurutulup tartılan agregalardaki kütle kaybı, “alkalide çözülebilir” olarak adlandırılmaktadır. Böylece agreganın alkalimli ortamdaki kimyasal kararsızlığını ortaya koymakta fakat çeşitli çimento kombinasyonlarıyla birlikte davranışını ve genişleme oluşturup oluşturmayacağını belirleyememektedir. Ayrıca, 1 mm boyutun altındaki agreganın potansiyel reaktivite katkısını göz önüne almamaktadır (Berube ve Fournier., 1992; Andiç, 2002).

2.3.1.8. Ozmotik hücre metodu

Ozmotik hücre, agrega parçacığı ile çimento ara yüzeyinin modellemesidir. Ozmotik hücre, her biri 1 N NaOH çözeltisi içeren iki adet odacıktan oluşmaktadır. Odacıklar, su/çimento oranı 0.55 olan çimento hamuru zarı ile birbirlerinden ayrılır. Reaksiyon odası adı verilen odacıkta 150-300 mm boyutlarında 12.40 gr ağırlığında agrega parçacıkları bulunmaktadır. ASR oluştuğunda çözelti, çimento hamuru membranının içinden “havza odacığından”, “reaksiyon odacığına” doğru akar. Her odacığın üst kısmındaki ince borucuklardaki çözelti miktarındaki değişim, bu akışın miktarını ve hızını ölçmeye imkan tanımaktadır. Günde 1.5-2.0 mm gibi bir akış hızı, agreganın potansiyel olarak reaktif olduğunun göstergesidir. Ters bir akış gözlemi, agreganın reaktif olmadığını işaretidir. Bu deney normal reaktif bir agregada 30-40 gün devam ederken hızlı reaktif agregada 2-3 günde sonuç vermektedir. Bu metot, reaktivitenin hızlı değerlendirilmesine imkan vermektedir. Gelişme deneyleri ile birlikte kullanılması faydalıdır (Ramyar ve ark., 2002).

2.3.1.9. Otoklav metodu

Bazı araştırmacılar, harç veya beton numuneleri yüksek sıcaklık ve basınç altında alkali çözeltilisinde veya suda kaynatarak ya da buhar kürüne tabi tutarak agregaların reaktivitesini ölçmek için metotlar öne sürmüşlerdir. Bu konuda standart bir deney yöntemi olmamakta ve numune boyutlarından kullanılan malzeme miktarına ve kür koşullarına kadar pek çok faktör değişiklik göstermektedir. Amaç, boy değişimi ve çatlakların incelenerek agregaların reaktivitesinin belirlenmesidir. Bu yöntemler dışında pek çok farklı araştırma metodu mevcuttur. Kimyasal büzülme metodu, Duggan genleşme metodu vb. önemli olan; agregalar değerlendirilirken, uygulanan deney yöntemleri öncelikle agreganın saha performansı verileriyle, veri yoksa diğer deney metotlarıyla karşılaştırmalı olarak test edilmesi gerekliliğidir. İlk olarak yapılacak petrografik analiz, agregaların seçimi ve reddinde kullanılacağı gibi, müteakip deney metotlarının seçimi hakkında da fikir verecektir. Hızlı deney metotları arasında istatistiksel olarak en güvenilir test metodu, hızlandırılmış harç çubuğu metodudur. Uzun süreli metotlar arasında en gerçekçi sonuçları ise beton prizma metodu vermektedir (Ramyar ve ark., 2002).

2.3.1.10. Tahribatsız asr deneyleri

Ultrases hızı (UPV) ve dinamik modülün belirlenmesi gibi dinamik tahribatsız test yöntemleri betonda oluşan hasarı belirleme ve takip etmekte kullanılmaktadır. Rezonans frekansı ve ultrases hızı teorik olarak birbiriyle alakalı olduğundan bu iki özellikteki değişimleri izleyerek, hasarsız ve hasarlı betonların davranışları hakkında fikir etmek mümkündür. Ultrases hızı, beton içerisinde oluşan bozulma ve mikro- çatlakların göstergesidir. Ancak, bu deney dayanım belirlemede tercih edilmemektedir. Bunun nedeni ise, ultrases hızı sonuçlarının beton dayanımı ile doğrusal bir bağlantısı olmamasıdır. Ayrıca, deneyi sonucunda elde edilen sonuçları, betonun nemi ve donatılar gibi birçok faktörlerden hayli etkilenmesi söz konusudur (Swamy, 1992).

Ultrases hızı, betonda oluşan iç hasarlara gayet duyarlı olmasına rağmen, dayanım- ultrases hızı ilişkisinin eksponansiyel olması sebebiyle özel kalibrasyon yapılmadan betonun dayanımını belirlemede veya dayanım değişimlerini incelemeye kolaylıkla kullanılamaz (Swamy ve Al-Ahmet, 1984). Bu nedenle, hasar gören betonun dayanımını direkt olarak ultrases hızı ölçümüyle belirlenememektedir. ASR hasarından sonra arta kalan dayanım epey yüksek olduğundan ultrases hızlarında belirgin düşüşler olmayabilir (Blight ve ark., 1981).

Rezonans frekansı test yöntemleri ise dinamik modülün belirlenmesini sağladığından betonda donma-çözünme gibi dış etkiler sonucu oluşan hasarların tespitinde kullanılmaktadır. Rezonans frekansı, çimentonun bir bölümü yerine uçucu külün kullanımı gibi genleşmeleri azaltmaya yönelik deneylerdeki genleşme sonuçları ile iyi korelasyon göstermiştir. Sayısal olarak herhangi bir bağıntı kurulamasa bile bu deneyler, tahribatsız yöntemlerin ASR'nun başlaması, gelişimi ve kontrol altına alınması ile ilgili fikir verebilmektedir (Lenzer ve Ludwig, 1978).

2.4. Alkali Silika Reaksiyonunu Önleyen Çalışmalar

2.4.1. Mineral katkıların kullanılması

Mineral katkıları, kendi başına bağlayıcı özellik taşımayan ince öğütüldüğünde ve nemli ortamda çimento hidrasyonu sonucu açığa çıkan kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğine sahip bileşenleri oluşturan silisli veya silisli-alüminli malzemelerdir. Mineral katkı olarak uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, doğal puzolanlar, zeolit, metakaolin kullanılan maddelerdir (Andiç, 2002).

Mineral katkıların ASR sebebiyle oluşabilecek zararlı genleşmeleri önlemek için kullanılması, betonun dayanımı ve durabilitesini artırması açısından da önemlidir. Mineral katkı kullanımı ekonomik olmasının yanı sıra teknik olarak, enerji tasarrufu, çevrenin korunması açısından da avantajlıdır (Swamy, 1992).

Betona mineral katkı olarak ilave edilen uçucu kül ve silis dumanı iyonları genellikle alkali ve OH^- iyonları konsantrasyonunu azaltır. Hatta uçucu külün, kendisini oluşturan amorf yapısının içinde, nispeten yüksek konsantrasyonda alkali

iyonları içermektedir. Silis dumanındaki hızlı reaksiyon amorf yapıdaki nispeten az alkali içeriğini serbest bırakır. Fakat geriye kalan silis dumanı çimento hidrasyonu sonucu oluşan alkali iyonlarını (ve OH⁻ iyonlarını) uzaklaştırır ve daha sonraki ASR için gerekli olan konsantrasyonu azaltır (Abit, 1998). ASR genleşmelerini kontrol eden mineral katkı maddelerinin etki mekanizmaları konusunda aşağıdaki teoriler öne sürülmüştür (Tosun, 2001; Xu ve ark., 1995; Forster ve ark., 1998; Glasser, 1992)

a) Mineral katkı maddeleri ile çimento arasında oluşan puzolanik reaksiyon ile daha yoğun bir yapıya sahip olan çimento harcının geçirimsizliği azalır. Bu nedenle beton içinde iyonların hareketliliği ve dışarıdan alkali ve nemin girişi de azaltılmış olur. Dolayısıyla reaksiyonun oluşum hızı büyük oranda yavaşlatılmış olur.

b) Mineral katkı maddeleri ile daha yüksek değerlere ulaşan betonun dayanımı, ASR genleşmesi nedeniyle oluşan gerilmelere karşı mukavemetin artmasını sağlar.

c) Puzolanik reaksiyon çimento harcındaki Ca(OH)₂ içeriğini azaltır. ASR jeli de bu oranda azalan miktarlarda Ca(OH)₂ içereceği için daha az şişme özelliği gösterir.

d) Mineral katkıları boşluk suyunun alkalinitesini azaltır. Çimento ile puzolanik reaksiyon sonucu oluşan ürünlerin CaO/SiO₂ oranı düşüktür. Oluşan C-S-H jeli daha fazla alkaliyi bünyesinde tutabilme özelliğine sahiptir ve daha az alkali açığa çıkar. Ayrıca katkı içeren karışımlar sadece çimento içeren karışımlara kıyasla daha yüksek su/çimento oranına sahiptirler, bu da alkali içeriğinin daha çok azalmasını sağlar.

ASR genleşmelerini önlemek için kullanılan başlıca mineral katkıları aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır:

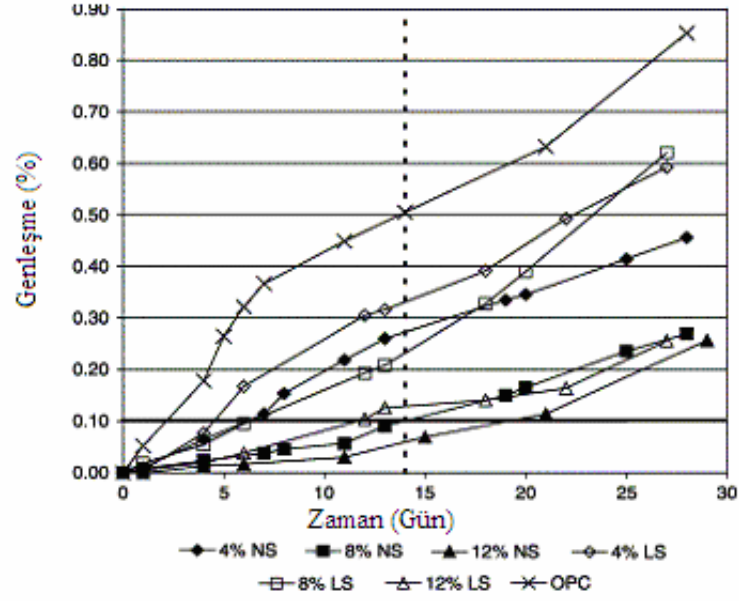
2.4.1.1. Silis dumanı

Silis dumanı kullanımı, yüksek performanslı beton üretiminde gerekmektedir. Ancak silis dumanının SiO₂ içeriği %85'in altında olduğunda ekonomikliği ile ilgili sorunlar oluşmaktadır (Hooton ve ark., 2003). Silis dumanı, ferrosilikon ve silikonlu metal elektrik fırınlarında hammadde olarak kullanılan saf kuvarsın kömürle redüklenmesi sonucu elde edilir. Hava kirlenmesini önlemek açısından elektrofiltrelerde toplanan çok ince, duman niteliğinde olan bu atık yüksek oranda

(%85-%99) amorf silis içermektedir. Silis dumanı, Portland çimentosunun taneciklerinden yaklaşık 100 kat daha küçük olup, ortalama tanecik çapı $0.1 \mu\text{m}$ 'dir. Ayrıca, özgül alanı $300\text{--}500 \text{ m}^2/\text{kg}$ olan Portland çimentosuyla karşılaştırıldığında, silis dumanı çok yüksek yüzey alanına ($2000 \text{ m}^2/\text{kg}$) sahiptir. Silis dumanı yüksek puzolonik aktiviteye sahiptir (Baradan, 2000).

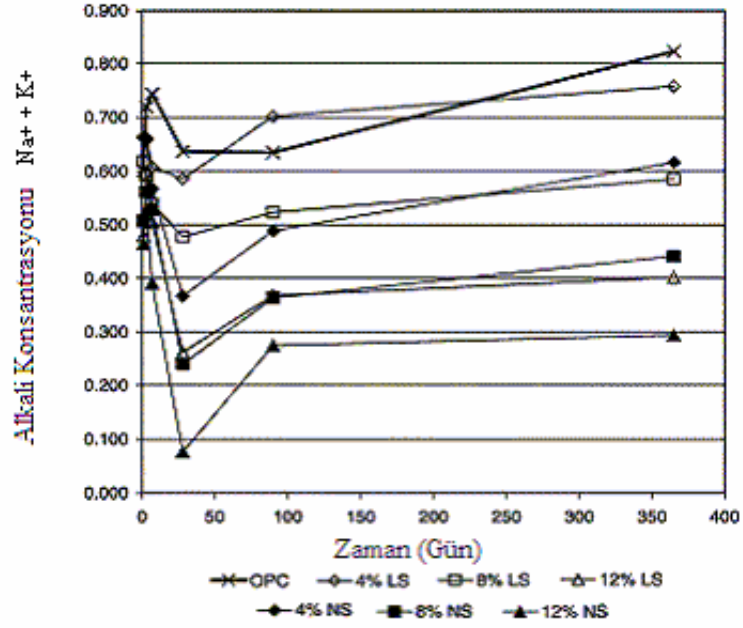
Silis dumanı, yoğun ve geçirimsiz bir yapı oluşturarak su ve alkalilerin hareketini önler. Geniş özgül yüzeyi ile alkalileri bağlayarak boşluk çözeltisinin alkali konsantrasyonunu düşürür. Ayrıca silis dumanının amorf halde bulunan silis içeriği, çimento yerine kullanıldığında, beton henüz tazeyken çimentonun alkalileri ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonun beton taze iken hızla oluşmasının sebebi, silis dumanının inceliğinin çok yüksek olmasıdır. Yeterli miktarda silis dumanı kullanıldığında, beton gerekli dayanımı kazanmadan önce çimento ve silis dumanı tarafından ortama salınan sodyum ve potasyum iyonlarının büyük kısmı reaksiyon sırasında tükenir. Betonun dayanım kazanmasından önce gelişen bu reaksiyon zararlı genleşmeler ve çatlaklara yol açmaz (Andiç, 2002).

Boddy ve ark. (2003), gerçekleştirdikleri çalışmada, aynı yerden alınmış fakat farklı silis içeriğinde (LS; %68 ve NS; %88 SiO_2) iki silis dumanının performansını, alkali-silis reaksiyonu ve boşluk çözeltisi kompozisyonuna bağlı olarak, malzemelerin genleşmede sonuçları incelenerek karşılaştırılmaktadır. Şekil 2.13.'de çimento yerine kütlece %0, 4, 8 ve 12 silis dumanı içeren karışımların hızlandırılmış harç çubuğu deneyi genleşme sonuçları görülmektedir. LS (%68 SiO_2) silis dumanı içeren harç çubuğu karışımlarında %12 seviyesine kadar çimento yerine kullanıldığında Spratt agregasının ASR genleşmeleri kontrolünde yetersiz kalmaktadır. NS (88% SiO_2) silis dumanının %12 çimento yerine kullanımında etkili olduğu, ve %8 çimento yerine kullanıldığında %0.10 genleşme limiti kriterinin hemen altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 2.13. Farklı oranlarda SiO₂ içeren silis dumanlarının genleşmeye etkisi (Boddy ve ark., 2003)

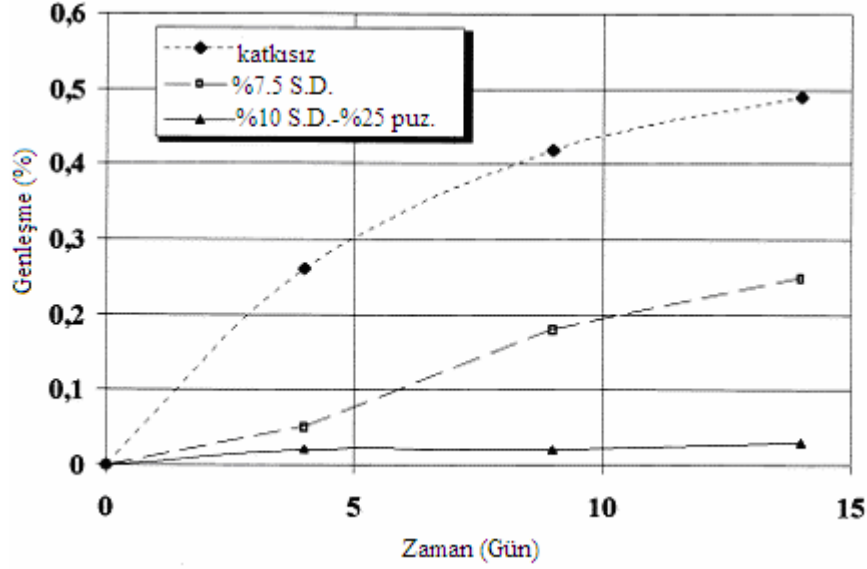
Boddy ve ark. (2003), farklı oranlarda silis dumanı içeren hamur örneklerinin boşluk çözeltisi kompozisyonlarını incelemiştir. %4 LS silis dumanı içeren hamur örneklerinin boşluk suyu alkalitesi, portland çimentosu hamuru örnekleriyle 1 yıla kadar sürede karşılaştırılabilmektedir. Buna karşı, Şekil 2.14.'de NS silis dumanı %4 oranında kullanıldığında düşük boşluk suyu alkalitesiyle sonuçlanmaktadır. Buna göre, farklı oranlarda çimento yerine kullanılan, standardın altında silis içeriğinde olan silis dumanının ASR'yi kontrol edemediği belirlenmiştir.



Şekil 2.14. Farklı seviyelerde kullanılan silis dumanının SiO_2 içeriğinin boşluk çözeltisi alkalitesi üzerinde zamanla etkisi (Boddy ve ark., 2003)

Gudmundsson ve Olafsson (1998), yaptıkları çalışmada alkali-silis reaksiyonu ve silis dumanının İzlanda'da 20 yıllık deneyimini gözlemlemiştir. İzlanda çimentosu, farklı açılardan özeldir. Çimento üretimi için uygun hammadde fazla bulunmamaktadır. Sonuç olarak, cürufli çimentonun alkali içeriği oldukça yüksektir. Alkali-silis reaktif agregaların oldukça yaygın ve ASR ortam koşullarına uygun olması sebebiyle 1979'da İzlanda'da ASR ciddi problem haline gelmiştir. Bu süre içinde ASR'ye önlem olarak puzolanik malzemelerin incelenmesine yönelik araştırmalar başlamıştır. Ferrosilikon üretimi ile birlikte 1979'da İzlanda'da, silis dumanı bütün betonlarda puzolanik malzeme olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Sonuçlar, standart ASR deney metotları ve saha gözlemleriyle desteklenmektedir.

Gudmundsson ve Olafsson (1998), Şekil 2.15.'de yürüttükleri çalışmalarında kontrol amaçlı katkısız çimento yerine, %7.5 silis dumanı ve %25 doğal puzolan ile birlikte %10 silis dumanı içeren numuneleri üzerinde ASTM C1260 deney sonuçlarını incelemiştir. Puzolan-çimento karışımının genleşmeleri azalttığı gözlemlemiştir.



Şekil 2.15. Hvalfjordur agregası ve izlanda çimentosu ile ASTM C1260 sonuçları (Gudmundsson ve Olafsson, 1998)

2.4.1.2.Yüksek fırın cürufu

Demir cevherinden demir üretimi sırasında yüksek fırında demir alındıktan sonra kalan kireçtaşı veya dolomit varlığında erimiş maddeye cüruf denmektedir. 1500- 1600°C sıcaklığındaki eriyik halde bulunan cüruf yaklaşık olarak, %30-%40 oranında SiO_2 ve %40 oranında CaO içerir. Bu bileşim Portland çimentosunun kompozisyonuna benzemektedir. Cüruf, çimento üretiminde özel işlemlerle kil yerine, beton üretiminde ise agrega yerine ve bağlayıcı maddelerle (Portland çimentosu, kireç, alçı) karıştırılarak da kullanılabilir (Baradan, 2000; Forster ve ark., 1998; Hooton ve ark., 2000).

Yüksek fırın cürufunun inceliği, priz süresi, kötü sıkıştırma sebebiyle hapsolan hava miktarı, dayanım artışı ve permabilite gibi parametreler de cüruf kullanılan betonlarda ASR genleşmelerini etkilemektedir. Ancak yüksek fırın cürufunun en önemli etkisi hidroksil iyonu içeriğini azaltma özelliğine sahip olmasıdır (Hobbs, 1988).

Yüksek fırın cürufunun ASR genleşmeleri üzerinde etkisini gösterebilmesi için %25-%50 oranlarında kullanılması gerekmektedir (Forster ve ark., 1998).

2.4.1.3. Uçucu kül

Düşük kalorili olmaları nedeniyle başka yerlerde kullanılmayan kömür ve artıkları, öğütülmemiş halde yakılarak termik yoldan elektrik enerjisi elde etmek için kullanılır. Uçucu kül, termik santrallerde toz halindeki kömürün yanmasından sonra baca filtrelerinde tutularak elde edilir. Enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte termik santrallerdeki uçucu kül birikimi de çok büyük miktarları bulmaktadır. Uçucu küller önemli yer işgal etmekte ve çevreyi kirletmektedirler. İnşaat sektöründe uçucu kül, kontrollü olarak kullanımı ile ekonomik bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Baradan, 2000).

ASR genleşmeleri üzerinde uçucu küllerin etkileri, uçucu külün ve kullanılan çimentonun kimyasal ve mineralojik özellikleri ile agreganın reaktivite derecesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Yavaş reaksiyona giren agregalar için kullanılan çimentonun kütlece %20-%30'u oranında uçucu küle yer değiştirmesi halinde betonda ASR nedeniyle ortaya çıkabilecek genleşmelerin azaldığını görülmüştür. (Nixon ve ark.,1986).

Uçucu külün kullanımı, ASR nedeniyle oluşan genleşmelerin engellenmesinde ya da azaltılmasında kullanılan bir yöntemdir. Uçucu kül ilavesinin ASR'nin sebep olduğu genleşmeyi azaltmasının mekanizması aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır (Tosun, 2001):

- 1) Uçucu kül ilavesiyle, betondaki suda çözülebilir alkali konsantrasyonu azalır.
- 2) Uçucu kül ile Ca(OH)_2 in reaksiyonu, boşluk çözeltisinin pH'ını düşürür. Bu da agregadaki silis ile alkali arasındaki reaktiviteyi azaltmaktadır.
- 3) Uçucu külün oldukça reaktif olan amorf fazı, genleşmeyen bir jel oluşturarak çimentodaki alkalinin tükenmesini sağlayabilmektedir.

4) Nemin betonun içine doğru hareketi uçucu külün betonun geçirgenliğini azaltması sonucunda kısıtlanmaktadır.

Tosun (2001), C sınıfı uçucu külün belirli oranlarda çimento yerine kullanımının ASR nedeniyle oluşan genleşmelerin kontrol altına alınması üzerindeki etkinliğini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda, uçucu külün %5, %10, %15 oranlarında çimento yerine kullanımının, genleşmeleri kontrol karışımına kıyasla arttırdığını, %20 ve %25 oranlarında uçucu kül kullanımının genleşmeleri azalttığını ancak sınır genleşme değerinin aşıldığını, %30 ve daha fazla uçucu kül içeren örneklerin genleşme değerlerinin ise sınır genleşme değerinin altında kaldığını tespit etmiştir.

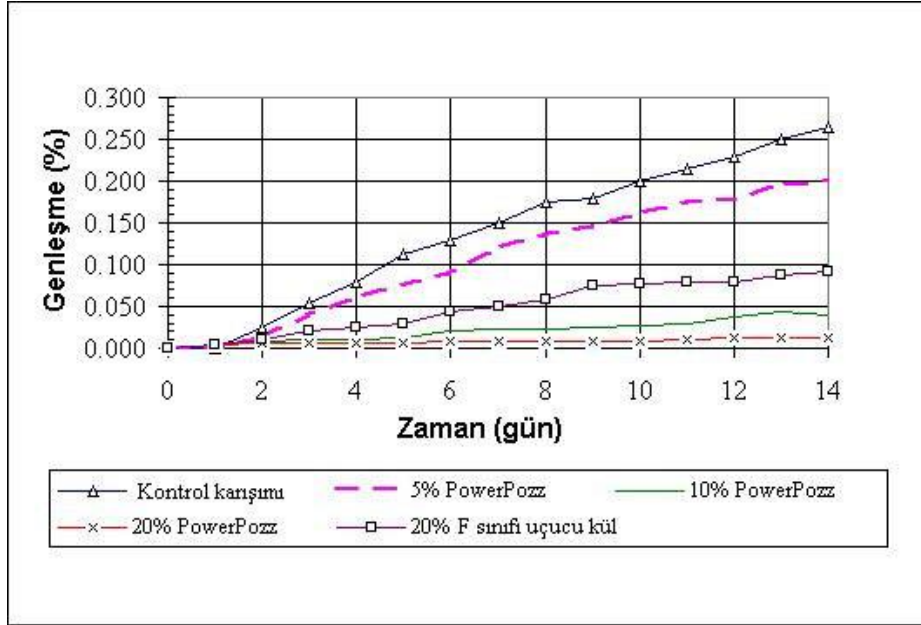
Yapılan bir çalışmada, çimentonun düşük orandaki uçucu kül ile ikamesinin ASR genleşmelerini azaltmadığını saptamıştır. Bununla birlikte, %25 ve daha fazla miktardaki uçucu kül ikamesi, ASR genleşmelerini azaltmada oldukça etkili olmuştur (Prezzi ve ark., 1997).

Yapılan araştırmaların sonucunda, F sınıfı uçucu külün %15-%30 oranlarında ikamesi sonucu ASR genleşmelerini azaltıcı etkisi olduğu kabul edilmiştir. Uçucu külün daha az miktarlarda kullanımı ASR genleşmelerini arttırabilmektedir (Forster ve ark., 1998; Abit, 1998).

2.4.1.4. Metakoalin

Atık madde olmayan ve termal aktiviteye sahip olan saflaştırılmış kaolinit kili 650-800 °C sıcaklıkları arasında işlem görmesi ile elde edilen su içermeyen alümina-silikattan ($Al_2Si_2O_7$) oluşan ve yüksek reaktivite gösteren amorf bir malzemedir. Metakaolin, $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek Portland çimentosunun hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum-silikat-hidratenin yapısına benzer ürünler oluşturur. Çimento yerine etkin miktarda kullanıldığında betonun boşluk suyunda $(OH)^-$, $(Na)^+$, $(K)^+$ iyonlarının konsantrasyonlarını azaltarak pH değerini düşürür ve permabiliteyi azaltır. Bu özellikleri nedeni ile son yıllarda ASR genleşmelerini

engelleyen mineral katkılara alternatif olarak düşünölmeye başlanmıştır. Şekil 2.16. 'da Power Pozz olarak adlandırılan bir yüksek reaktiviteli metakaolinin genleşmeyi azaltıcı etkisi F sınıfı uçucu küle karşılaştırmalı olarak görölmektedir (Tosun, 2001).



Şekil 2.16. %5-10-20 oranlarında çimento yerine kullanılan power pozz metakaolinin zamana bağlı olarak genleşme üzerindeki etkisi (Tosun, 2001)

2.4.1.5. Pomza

Doğal puzolanlar, doğal olarak oluşan amorf yapıda silika içerir veya ASTM C618'e göre N sınıfı olarak tanımlanan, amorf silikayı elde etmek üzere işlem görmüş malzemelerdir. Doğal puzolanlar, volkanik küller, tüfler (traslar), kil, şeyl ve pomza taşıdır (Baradan, 2000).

Puzolanlar, çimento harcının kirecini tutarak, ortamın pH derecesini indirger ve silisin çözünürlüğünü azaltarak ASR'yi ve jel oluşumunu engeller. Puzolanların bir diğer faydası da sağladıkları geçirimsizliğidir (Baradan ve ark.,2002).

Doğal bir puzolan olan pomza da son yıllarda ASR' ye karşı alınacak önlemler için yapılan araştırmalarda yer almaktadır. Pomza, volkanizma faaliyetleri

esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani terketmesi sonucu oluşan, oldukça gözenekli bir yapı içeren camsı yapıda volkanik bir kayaç türüdür. Ülkemizde süngertaşı, topuktaşı, hısırtası, kisir, köpüktaşı olarak da bilinmektedir.

Yapılan bir çalışmada, pomzanın, çimento yerine ağırlıkça % 5, 10, 15, 20, 25 oranlarında kullanımı, kontrol karışımına kıyasla, ASR genleşmelerini azalttığı görülmüştür. Karışımdaki pomza oranı arttıkça ASR genleşmelerini azaltmadaki etkisi artmıştır. Fakat sınır genleşme değeri aşılmıştır. Ancak, pomzanın % 30 oranında kullanımı ile genleşmelerin sınır genleşme değerinin altında kaldığı görülmüştür (Gürkan, 2006).

2.4.1.6. Zeolit

1756 yılında Cronstedt tarafından, ısıtıldığında yapılarında bulunan suyu çıkartırken köpürmesinden dolayı “kaynayan taş” olarak isimlendirilen zeolitler, alkali ve toprak alkali metallerin bünyesinde su içeren alüminosilikatları olarak tanımlanmaktadır. Zeolitler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen sıkı ve sağlam yapıdadırlar. Sahip olduğu, puzolanik reaktivite, iyon değişikliği yapabilme, adsorbsiyon özellikleri nedeniyle inşaat sektörü de dahil olmak üzere pek çok endüstriyel alanda tercih edilmektedir (Kıbaroğlu, 2006).

Son yıllarda, zeolitin ASR genleşmelerini azaltıcı etkisi nedeniyle betonda mineral katkı olarak kullanılması için araştırmalar yapılmaktadır. Andiç ve Ramyar (2002), doğal zeolit tozunun inceliğinin ve çimento yerine kullanım oranının ASR genleşmeleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Beş farklı Blaine özgül yüzeyinde (200, 400, 600, 800, 1000 m²/kg) hazırlanan zeolit tozu içeren numunelerin, ASR genleşmelerini belirlemek amacıyla ASTM C1260 deney yöntemini kullanmışlardır. Yapılan araştırmaların sonucunda 400, 600, 800, 1000 m²/kg Blaine özgül yüzeyine sahip zeolit tozunun, kütlece çimento yerine %20 ve üstündeki oranlarda kullanıldığında, ASR genleşmelerini azalttığı belirlenmiştir. 200 m²/kg inceliğindeki zeolit tozu ise, kullanılan tüm oranlarda genleşmeleri azaltmıştır. %5 ve %10 oranlarında kullanımda incelik arttıkça genleşme değeri de artarken, daha yüksek

oranlar için benzer etkinin görülmediği, kullanım oranları arttıkça inceliğin etkisinin kaybolduğu sonucuna varılmıştır. Genel olarak zeolitin çimento yerine kütlece kullanım oranının artması ASR genleşmelerini azaltmaktadır. Genleşmelerin azaltılmasında, yüksek kullanım oranlarında katkının puzolanik özelliğinin, düşük kullanım oranlarında ise gözenekli yapısından dolayı iyon absorplama yeteneğinin daha baskın olduğu düşünülmektedir.

Doğal zeolit tozunun inceliği arttıkça ortamın pH'ı azalmaktadır. Kullanılan zeolit tozunun miktarı arttıkça alkali iyon konsantrasyonları azalmakta, bu sayede alkali silikat jelinin oluşumunu önlemektedir. Alkali iyon konsantrasyonunun azalma nedenleri; iyon değişimi, absorblanma ve puzolanik reaksiyondur. İyon değişimine ek olarak doğal zeolit tozunun gözenekli olması da alkalitenin azalmasında etkili olmaktadır (Naiqian ve ark., 1998; Andıç, 2002).

Zeolitin, çimento yerine ağırlıkça %5 oranda kullanımı ASR genleşmelerinde azalmaya değil, tam tersine, az miktarda artmaya sebep olmuştur. Bunun nedeni yüksek su emme kapasitesine sahip ve porozitesi yüksek olan zeolitin alkali yoğunluğunun artmasına sebep olması genleşmelerin artışına sebep olmuş olabilir. Buna karşılık %10, %15, %20 oranlarında zeolit kullanımıyla genleşmelerin kontrol karışımına kıyasla azaldığı, ancak sınır genleşme değerinin aşıldığı, %25 oranında kullanımıyla genleşmelerin sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür (Gürkan, 2006).

Pomza ve zeolitin birlikte kullanıldığı örneklerde, %10 zeolit + %15 pomza oranında kullanımı, kontrol karışımına kıyasla ASR genleşmelerini azaltmada etkili olmuştur. Deneylerde, %5 zeolit +%20 pomza, % 12,5 pomza+%12,5 zeolit , %15 zeolit + %10 pomza kullanılan üçlü sistem karışım genleşmeleri azaltmada hemen hemen aynı oranda etkili olmuşlardır. Pomza ve zeolitin bir arada kullanıldığı harç örnekleri genleşmeleri azaltmada etkili olmasına karşın sınır genleşme değerini aşmışlardır (Gürkan, 2006).

2.4.2. Kimyasal katkılar

ASR'yi önleyici kimyasal katkılarla ilgili ilk çalışmalar, 1951 yılında McCoy ve Caldwell tarafından başlatılmıştır. Kurşun, laktik asit, çinko, demir klorid, lityum tuzları ve bitkisel yağlar dahil olmak üzere, birçok ürün ile reaktif agrega olarak pyrex camı kullanılarak ASTM C441 standartına göre genleşme deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda en iyi genleşme azalmasının lityum tuzlarından elde edildiği belirlenmiştir (Abit, 1998).

Betonda LiOH kullanıldığında, normalde yüksek olan $(OH)^-$ iyon konsantrasyonunu yükseltmektedir. LiOH'in ASR genleşmelerini azaltıcı etkisinin ortaya çıkarılabilmesi için, ASR jelinin genleşme potansiyelini azaltan, Li^+ iyonlarının jel ile yeterince birleşebilmesi ve bu ters etkinin karşılanması gerekmektedir. Bunun için de LiOH dozunun, oluşan ASR jelinin yapısına katılan ve zararlı genleşmeleri önleyen lityum miktarının, pH'daki yükselme sebebiyle oluşan zararlı etkiyi yenebilmesine imkan verecek düzeyde ayarlanması gerekmektedir. Ayrıca, çimento hidrasyonu esnasında lityum iyonlarının bir kısmı hidrasyon ürünlerinin bünyesine katılmaktadır. Bu iki sebepten dolayı yeterli miktardan az kullanılan LiOH, tam tersine genleşmeleri arttırmaktadır (Andiç, 2002; Diamond, 1999).

Stark (1993), Strategic Highway Research Program (SHRP) çerçevesinde yürüttüğü araştırmada eşdeğer Na_2O içeriği %1 olan çimento kullanarak reaktif agrega ile ASTM C227 harç çubuğu metodunu uygulamış ve 36 aylık genleşme değerlerini ölçmüştür. LiF ve Li_2CO_3 tuzları çimentonun kütlece %0.25, %0.50 ve %1.00 oranlarında kullanılmıştır. Stark, araştırmasının devamında LiOH tuzunun etkisini harç çubuklarını $80^{\circ}C$ 'de beklettiği çözeltinin içine farklı oranlarda LiOH ve NaOH ekleyerek sürdürmüştür. ASR genleşmelerini zararsız seviyelere düşüren Na:Li oranının 1:0.67 ile 1:1 seviyelerinde olması gerektiğini bildirmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Tez kapsamında yapılan tüm deneysel çalışmalarda LİMAK Şanlıurfa Çimento tarafından üretilen standart CEM II/B-M (P-LL) 32.5R tipli Portland-kompoze çimentosu kullanıldı. CEM II/B-M (P-LL) 32,5R tipli Portland-kompoze çimentosunun özgül ağırlığı 3.01 g/cm^3 olup, Blaine özgül yüzeyi $4150 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir. Çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	Portland Çimentosu	Uçucu Kül	Kireçtaşı Tozu
CaO	54.79	1.64	54.69
SiO ₂	20.06	55.89	0.5
Al ₂ O ₃	5.44	23.06	0.29
Fe ₂ O ₃	4.57	6.66	0.20
MgO	2.43	2.57	0.44
SO ₃	2.06	0.30	---
K ₂ O	0.58	0.99	---
Na ₂ O	0.68	3.37	---
Kızdırma Kaybı	8.49	2.36	---
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	1.06	---	---
Si+ Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	---	85.61	---

3.1.2. Mineral Katkılar

3.1.2.1. Uçucu kül

Yapılan bu deneysel çalışmada kullanılmak üzere F sınıfı uçucu kül olarak, taş kömürü yakılarak enerji elde edilmekte olan Sugözü Termik Santralinden, ERG İnşaat Ticaret ve Sanayi A.Ş. aracılığıyla temin edildi. Sugözü uçucu külünün özgül

ağırlığı 2.32, Blaine özgül yüzeyi ise 2910 cm²/gr olup, uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

3.1.2.2. Kireçtaşı tozu

Yapılan bu deneysel çalışmada, yerel kaynaklardan temin edilmiş ve ortalama tane çapı 150 µm olan reaktif kireçtaşı tozu kullanılmıştır. Tezde kullanılan reaktif kireçtaşı tozu, Harran Beton A.Ş. tarafından temin edildi. Reaktif kireçtaşı tozunun özgül ağırlığı 2.61 g/cm³, özgül yüzey alanı 4304 cm²/g. Reaktif kireçtaşı tozuna ait kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

3.1.3. Agregası

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, Sakarya ilinde faaliyet gösteren Geyve kum ocağından temin edilen agregalar kullanıldı. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların granülometrisi Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Agregaların granülometrisi

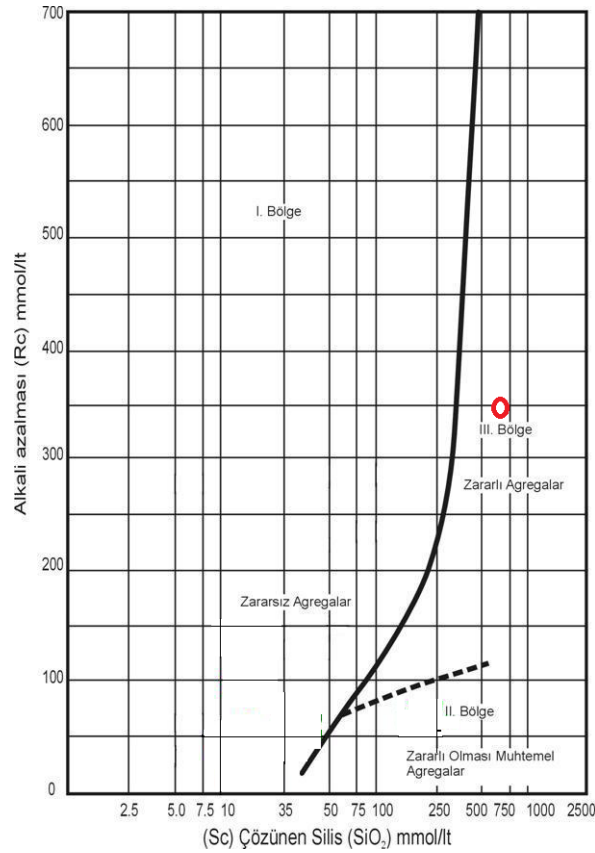
Elek Boyutları	İki elek arasında kalan malzeme (%)
4,75 mm (No:4) – 2,36 mm (No: 8)	10
2,36 mm (No:8) – 1,18 mm (No: 16)	25
1,18 mm (No: 16) – 600 µm (No: 30)	25
600 µm (No: 30) – 300 µm (No: 50)	25
300 µm (No: 50) – 150 µm (No: 100)	15

3.2. Yöntem

3.2.1. Agreganın reaktivitesinin kimyasal metot ile belirlenmesi

Kimyasal metot yöntemi, silisli agregaların reaktivitesini ölçmede kullanılır. Bu yöntemde 25g.lık, 150–300 μm 'ye kırılmış üç adet agrega numunesi alkali çözeltide (1 N sodyum hidroksit) 80°C'de bir gün bekletilir. 24 saat sonra çözelti filtre edilir ve asitte titre yöntemiyle çözülmüş silis miktarı ile alkalinitedeki azalma ölçülür. Sonuçlar egride işaretlenerek kontrol edilir.

Yapılan deney sonucunda agregada çözünen silis (Rc) miktarı 700 mmol/L, harcanan NaOH miktarı (Rc) ise 350 mmol/L olarak belirlendi. Bu değerler sonucunda agreganın alkali-agrega reaktivitesi yönünden zararlı olduğu Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



3.2.2. Karışımların hazırlanması

Sakarya ili, Geyve kum ocağından temin edilen agreganın, alkali-silika reaksiyonu sonucunda gerçekleşen genleşmeleri önlemek amacıyla farklı oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. ASTM C1260 standartına göre hazırlanan tüm karışımlarda su/çimento oranı 0.47 ve agrega/çimento oranı 2.27 olarak belirlendi. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 uçucu kül (UK) , %10, %20, %30 kireçtaşı tozu (KTT), %10 uçucu kül+%10 kireçtaşı tozu, %15 uçucu kül+%15 kireçtaşı tozu, %20 uçucu kül+ %20 kireçtaşı tozu (UK+KTT) ikame edilerek toplamda 10 adet karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda numune kodu CONT olan karışım kontrol numunesi olarak belirlenmiştir. Hazırlanan karışımın detayları Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi için karışım oranları

Numune Kodu	Çimento (gr)	Su (gr)	Uçucu Kül (gr) (UK)	Kireçtaşı Tozu (gr) (KTT)	Agrega (gr)
CONT.	444	208.68	---	---	1000
UK_10	399.6	208.68	44.4	---	1000
UK_20	355.2	208.68	88.8	---	1000
UK_30	310.8	208.68	133.2	---	1000
KTT_10	399.6	208.68	---	44.4	1000
KTT_20	355.2	208.68	---	88.8	1000
KTT_30	310.8	208.68	---	133.2	1000
UK_10+KTT_10	355.2	208.68	44.4	44.4	1000
UK_15+KTT_15	310.8	208.68	66.6	66.6	1000
UK_20+KTT_20	266.4	208.68	88.8	88.8	1000

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, ASR sonucunda oluşan genleşme miktarlarını ölçmek için standartlaşmış olan Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM C1260) yöntemine başvuruldu.

Çizelge 3.3. de hazırlanan karışımlar için 5 litrelik mikser kullanıldı. Önce çimento ve agrega kuru olarak 1 dk boyunca karıştırıldı. Ardından su, uçucu kül ve

kireçtaşı tozu eklenerek 2 dk boyunca karıştırılmıştır. Karışımın üretim aşamaları Şekil 3.2a, b, ve c'de verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil.3.2. Karışımların üretim aşamaları a) Kuru bileşenlerin karıştırılması b) Karışıma su eklenmesi
c) Mineral katkıların eklenmesi

Hazırlanan karışımlar boyutları 25x25x285 mm'lik çelik kalıplara dökülmeden önce kalıbın içi yağlanıp, içerisinde bulunan gözlere pimleri monte

edildi. Karışımlar çelik kalıplara döküldükten sonra yayılma tablasında homojen olarak yayılması için 1 dk boyunca titretildi. Karışımların çelik kalıplara döküm aşamaları Şekil 3.3a, b ve c 'de verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 3.3. Karışımların dökülmesi a) Pimlerin montajı b) Kalıpların yağlanması c) Karışımların titretilmesi

Çelik kalıplara konulan karışımlar 20⁰C derecede 24 saat boyunca nemli ortama maruz bırakılmıştır . Numuneler 1 gün sonra kalıplardan çıkartılıp elektronik boy ölçer cihazı ile ilk boyları (Lo) ölçülmüştür. Numunelerin kalıptan sökülüp elektronik boy ölçerde ilk boylarının ölçülmesi Şekil 3.4a,b'de gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 3.4. Numune boylarının ölçülmesi a) Numunelerin kalıplardan sökümü b) Elektronik boy ölçer cihazı ile ilk boy ölçümleri

İlk boyları ölçüldükten sonra numuneler 3 gözlü çelik sızdırmaz kapların içerisine konuldu. Çelik kapların içerisine konulan numuneler 1 gün boyunca 80°C ' de etüvde buhar basıncına maruz bırakılmıştır. Numunelerin çelik kaplara konulup buhar basıncına maruz bırakılmaları Şekil 3.5a, b ve c'de gösterilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 3.5. Numunelerin buhar basıncına maruz bırakılması a) Sızdırmaz çelik kaplar b) Numunelerin çelik kap içine konulması c) Etüve konuluşu

Buhar basıncına 1 gün süreyle maruz bırakıldıktan sonra çıkartılan numunelerin ikinci defa boyları (L_i) ölçüldü. İkinci boy ölçme işlemi tamamlandıktan 1 N NaOH çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan 1N NaOH çözeltisi numunelerle birlikte çelik kap içerisine konulup, 14 gün boyunca 80°C 'ye ayarlanmış olan etüvün içerisinde maruz bırakıldı. 3, 7 ve 14 günlerde boy ölçümleri alınıp genleşme miktarları kaydedilmiştir. 14.gün son boy ölçümü (L_s) alınarak genleşme değerleri hesaplanmıştır. Genleşme miktarları denklem 3.1.'de hesaplandı;

$$L = \frac{\Delta L}{L} * 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

L = Boy değişim yüzdesi,

ΔL = Örneğin boy değişimi (mm),

L = Örneğin ilk uzunluğu (mm) göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Uçucu Kül Kullanımının ASR Genleşmesi Üzerine Etkisi

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM C1260) yöntemine başvurulmuş çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında uçucu kül ikame edilmiştir. Uçucu kül ikameli dökülen harç çubukları 1N NaOH çözeltisi içerisinde 14 gün boyunca bekletilip genleşme miktarları ölçülmüştür. Çizelge 4.1.'te farklı oranlarda uçucu kül ikameli harç çubuklarında 1., 3., 7., ve 14. günlerde oluşan genleşme oranları verilmiştir.

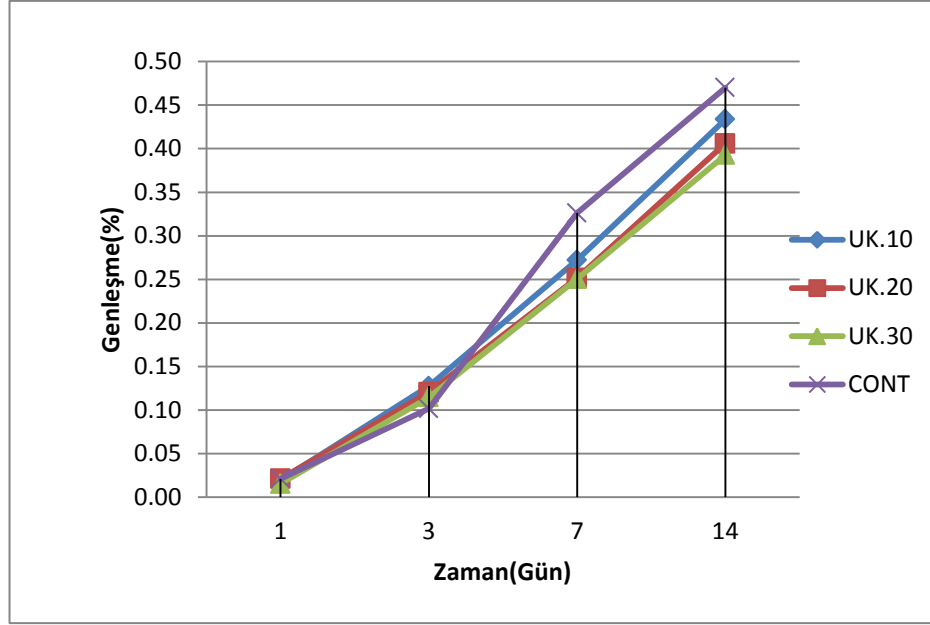
Çizelge 4.1.Uçucu kül ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları (%)

Numune Kodu	Genleşme(%)			
	1.GÜN	3.GÜN	7.GÜN	14.GÜN
CONT.	0.0246	0.0982	0.3088	0.4422
	0.0211	0.1053	0.3123	0.4492
	0.0211	0.1018	0.3263	0.4701
UK.10	0.0210	0.1228	0.2632	0.4175
	0.0175	0.1298	0.2772	0.4421
	0.0210	0.1298	0.2772	0.4421
UK.20	0.0211	0.1158	0.2456	0.4106
	0.0175	0.1228	0.2596	0.4105
	0.0245	0.1228	0.0249	0.3964
UK.30	0.0175	0.1193	0.2351	0.3789
	0.0140	0.1228	0.2701	0.4246
	0.0140	0.1018	0.2456	0.3754

Şekil 4.1.'de F sınıfı uçucu külün ağırlıkça belli oranlarda çimento yerine kullanımının ASR sonucunda oluşan genleşmeleri kontrol karışımına kıyasla tüm

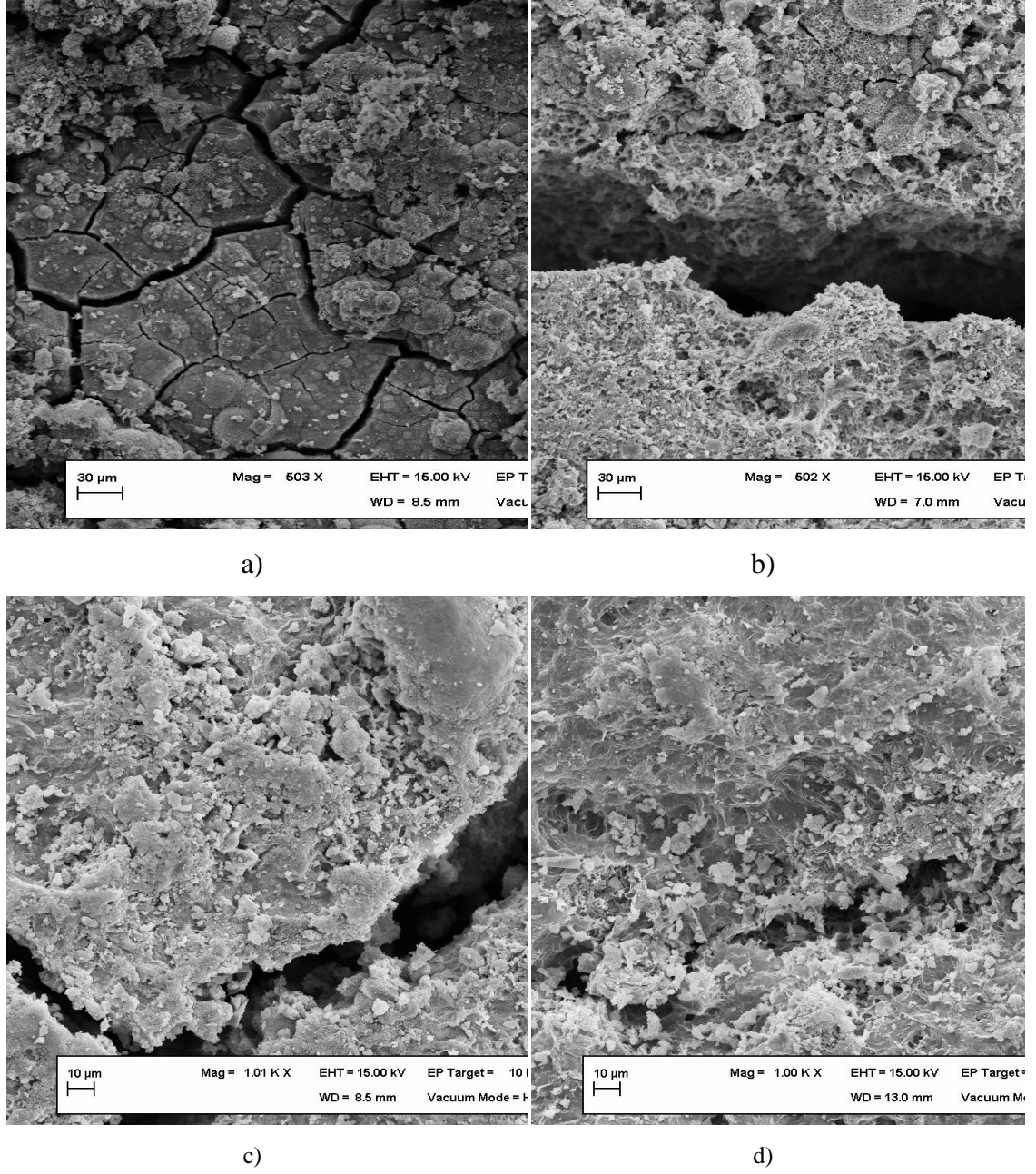
uçucu kül oranları için azalttığı görülmektedir. Fakat %10 UK kullanımı ASR genleşmelerini kontrol karışımına kıyasla kayda değer bir şekilde azaltmadığı tespit edilmiştir. Benzer sonuç Mehta tarafından yapılan bir çalışmada da çimentonun düşük orandaki uçucu kül ile ikamesinin ASR genleşmelerini azaltmadığı saptanmıştır. %20 ve %30 UK kullanımı ASR genleşmelerini kontrol karışımına kıyasla daha çok azalttığı görülmüştür. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, uçucu kül miktarı arttıkça ASR sonucunda oluşan genleşmeler azalmıştır. Uçucu kül kullanımının ASR genleşmelerini azaltmasının sebepleri; uçucu kül ilavesiyle, betondaki suda çözülebilir alkali konsantrasyonu azalır. Uçucu kül ile $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in reaksiyonu, boşluk çözeltisinin pH'ını düşürür. Bu da agregadaki silis ile alkali arasındaki reaktiviteyi azaltmaktadır. Uçucu külün oldukça reaktif olan amorf fazı, genleşmeyen bir jel oluşturarak çimentodaki alkalinin tükenmesini sağlayabilmektedir. Nemin betonun içine doğru hareketi uçucu külün betonun geçirgenliğini azaltması sonucunda kısıtlanmaktadır (Tosun, 2001). Bununla birlikte, %25 ve daha fazla miktardaki uçucu kül ikamesinin, ASR genleşmelerini azaltmada oldukça etkili olduğu görülmüştür (Prezzi ve ark., 1997).

Ayrıca, yapılan araştırmaların sonucunda, F sınıfı uçucu külün %15-30 oranlarında ikamesi sonucu ASR genleşmelerini azaltıcı etkisi olduğu kabul edilmiştir. Uçucu külün daha az miktarlarda kullanımının ASR genleşmelerini arttırdığı tespit edilmiştir (Forster ve ark., 1998; Abit, 1998).



Şekil 4.1. Uçucu kül ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları (%)

Kontrol (ikamesiz) harç çubuklarından alınan kesitler, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) yardımıyla mikroyapı analizleri yapılmıştır. Şekil 4.2a'da kontrol harç çubuklarında genleşmeler sonucunda harita şeklindeki ASR çatlaklarına sıklıkla rastlanmıştır. Bu çatlaklar 500 büyütmeden sonra ASR büzülme çatlakları şeklinde olmuştur. Farklı oranlarda (%10-20-30) uçucu kül ikameli harç çubuklarında SEM yardımıyla ASR çatlaklarına rastlanmıştır. Şekil 4.2b 'de %10 uçucu kül ikameli harç çubuklarında 500 büyütmede ASR çatlakları daha belirgindir. Şekil 4.2c, d'de %20-%30 uçucu kül ikameli harç çubuklarında ASR çatlaklarına ancak 1000 büyütmede ulaşılmıştır. Dolayısıyla düşük oranda (%10) uçucu kül kullanımının çatlakları önlemede pek etkili olmadığı SEM görüntülerinden de anlaşılmaktadır. Uçucu kül kullanım oranı artması ASR çatlaklarını azaltmıştır.



Şekil 4.2. Harç çubuklarının SEM görüntüleri (UK) a) Kontrol (ikamesiz) harç çubuklarının 500 büyütülmüş SEM görüntüsü b) %10 UK ikameli 500 büyütülmüş SEM görüntüsü c) %20 UK ikameli 1000 büyütülmüş SEM görüntüsü d) %30 UK ikameli 1000 büyütülmüş SEM görüntüsü

4.2. Reaktif Kireçtaşı Tozu Kullanımının ASR Genleşmesi Üzerine Etkisi

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM C1260) yöntemine başvurulurak çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında reaktif kireçtaşı tozu ikame edilmiştir. Reaktif kireçtaşı tozu ikameli dökülen harç çubukları 1N NaOH çözeltisi içerisinde 14 gün boyunca bekletilip genleşme miktarları ölçülmüştür. Çizelge 4.2.'te farklı oranlarda reaktif kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarında 1., 3., 7., ve 14. günlerde oluşan genleşme oranları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları (%)

Numune Kodu	Genleşme(%)			
	1.GÜN	3.GÜN	7.GÜN	14.GÜN
CONT.	0.0246	0.0982	0.3088	0.4422
	0.0211	0.1053	0.3123	0.4492
	0.0211	0.1018	0.3263	0.4701
KTT.10	0.0070	0.1053	0.3193	0.4105
	0.0105	0.1088	0.3288	0.4140
	0.0105	0.1052	0.3228	0.4105
KTT.20	0.0070	0.1088	0.2772	0.3368
	0.0105	0.1088	0.2807	0.3474
	0.0070	0.1193	0.2842	0.3544
KTT.30	0.0070	0.0948	0.2175	0.2596
	0.0070	0.0982	0.2281	0.2702
	0.0105	0.0947	0.2140	0.2526

Şekil 4.3.'te reaktif kireçtaşı tozu ağırlıkça belli oranlarda çimento yerine kullanımını ASR sonucunda oluşan genleşmeleri UK'ye göre daha etkili bir şekilde kontrol altına aldığı görülmektedir. %10 KTT kullanımını ASR genleşmelerini kontrol karışımına kıyasla kayda değer bir şekilde azaltmadığı tespit edilmiştir. %20 ve

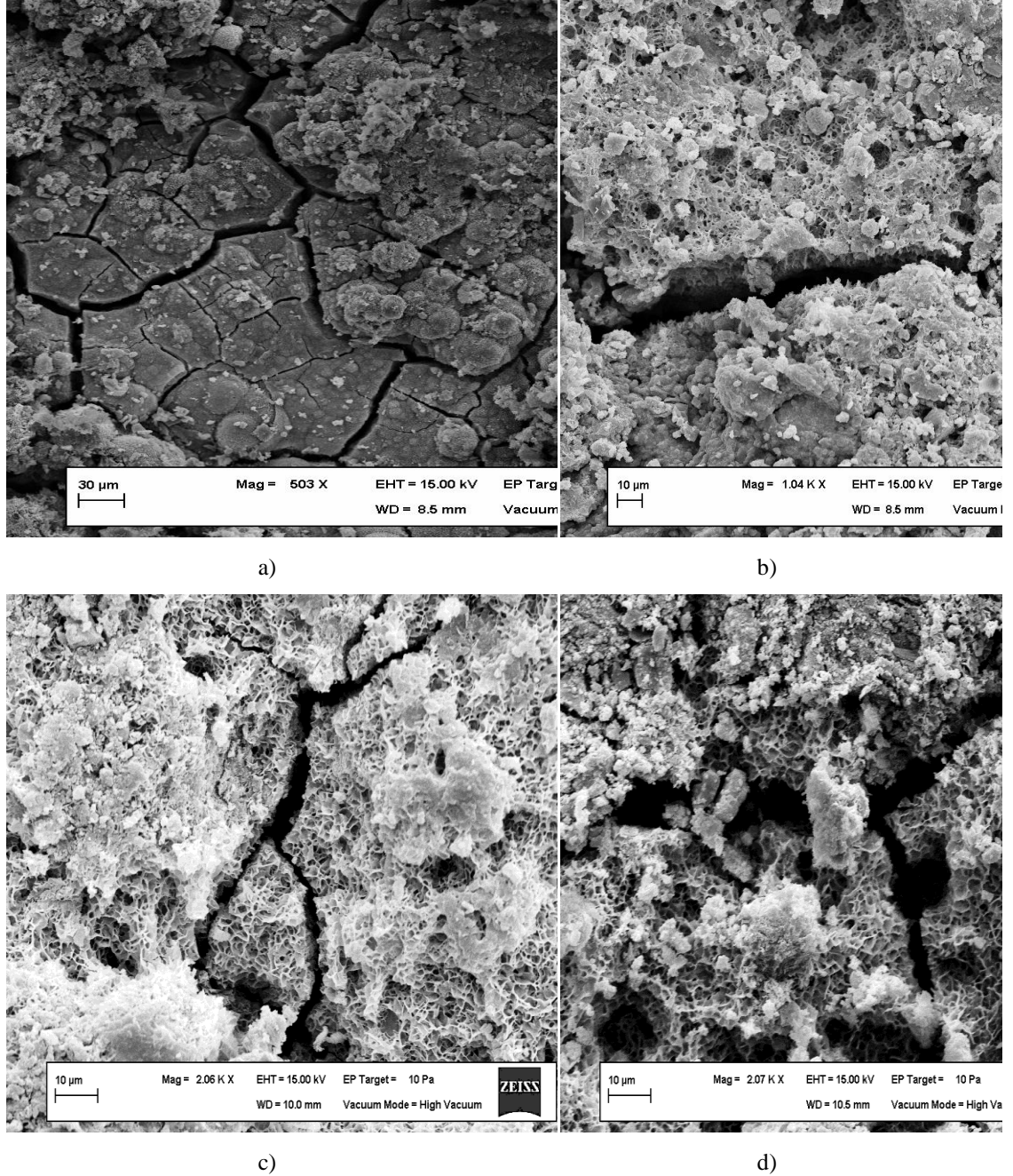
%30 KTT kullanımı ise ASR genleşmelerini kontrol karışımına kıyasla önemli oranda azalttığı görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada, reaktif kireçtaşı tozunun miktarının artması ile ASR genleşmelerini azalttığı kanıtlanmıştır. Ding ve ark. (2010), çimento yerine %15, %30 ve %50 oranlarında reaktif kireçtaşı tozu ikameli üç karışım kullanmışlardır. Sonuçta, ASR'den dolayı oluşan zararlı genleşmeleri reaktif kireçtaşı tozu kullanarak önlenemediğinin kanısına varmışlardır. Ayrıca KTT'nun kimyasal bileşiminde alkalilerin (Na_2O ve K_2O) olmamasının da ASR genleşmelerinin önlenmesinde önemli bir olabilir.



Şekil 4.3. Kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları (%)

%10-20-30 kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarında Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) yöntemine başvurulmuş farklı görüntüler alınmıştır. ASR ürünlerine ve harita çatlaklarına rastlanmıştır. Şekil 4.4a'da 500 büyütmedeki kontrol karışımına nazaran %10 reaktif kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarında Şekil 4.4b'de 1000 büyütmede ASR çatlakları daha belirgindir. Şekil 4.4b,c'de %20-%30 kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarında ASR çatlaklarına ancak 2000 büyütmede ulaşılmıştır. Dolayısıyla düşük oranda (%10) reaktif kireçtaşı tozu kullanımı

çatlakları önlemede pek etkili olamamıştır. Reaktif kireçtaşı tozu kullanım oranı arttıkça ASR çatlaklarının azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Harç çubuklarının SEM görüntüleri (KTT) a) Kontrol (ikamesiz) harç çubuklarının 500 büyütülmüş SEM görüntüsü b) %10 KTT ikameli 1000 büyütülmüş SEM görüntüsü c) %20 KTT ikameli 2000 büyütülmüş SEM görüntüsü d) %30 KTT ikameli 2000 büyütülmüş SEM görüntüsü

4.3. Uçucu Kül ve Reaktif Kireçtaşı Tozu Kullanımının ASR Genleşmesi Üzerine Etkisi

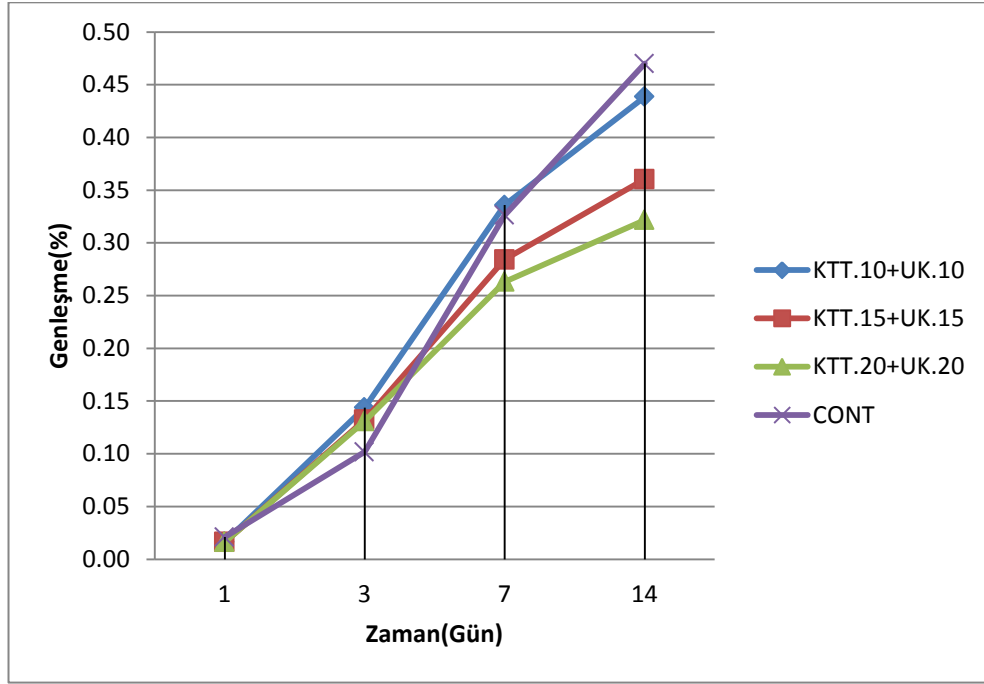
Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM C1260) yöntemine başvurularak çimento yerine ağırlıkça %10 KTT+ %10 UK, %15 KTT+ %15 UK, %20 KTT+ %20 UK oranlarında ikame edilmiştir. Reaktif kireçtaşı tozu ve uçucu kül ikameli dökülen harç çubukları 1N NaOH çözeltisi içerisinde 14 gün boyunca bekletilip genleşme miktarları ölçülmüştür. Çizelge 4.3.'te farklı oranlarda reaktif kireçtaşı tozu ve uçucu kül ikameli harç çubuklarında 1., 3., 7., ve 14. günlerde oluşan genleşme oranları verilmiştir.

Çizelge 4.3. Uçucu kül ve kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları (%)

Numune Kodu	Genleşme(%)			
	1.GÜN	3.GÜN	7.GÜN	14.GÜN
CONT.	0.0246	0.0982	0.3088	0.4422
	0.0211	0.1053	0.3123	0.4492
	0.0211	0.1018	0.3263	0.4701
UK.10+KTT.10	0.0175	0.1579	0.3895	0.4982
	0.0140	0.1403	0.2877	0.3895
	0.0175	0.1333	0.3298	0.4281
UK.15+KTT.15	0.0175	0.1228	0.2877	0.3684
	0.0140	0.1368	0.2842	0.3649
	0.0175	0.1368	0.2807	0.3474
UK.20+KTT.20	0.0175	0.1193	0.2561	0.3158
	0.0140	0.1368	0.2632	0.3157
	0.0175	0.1368	0.2702	0.3333

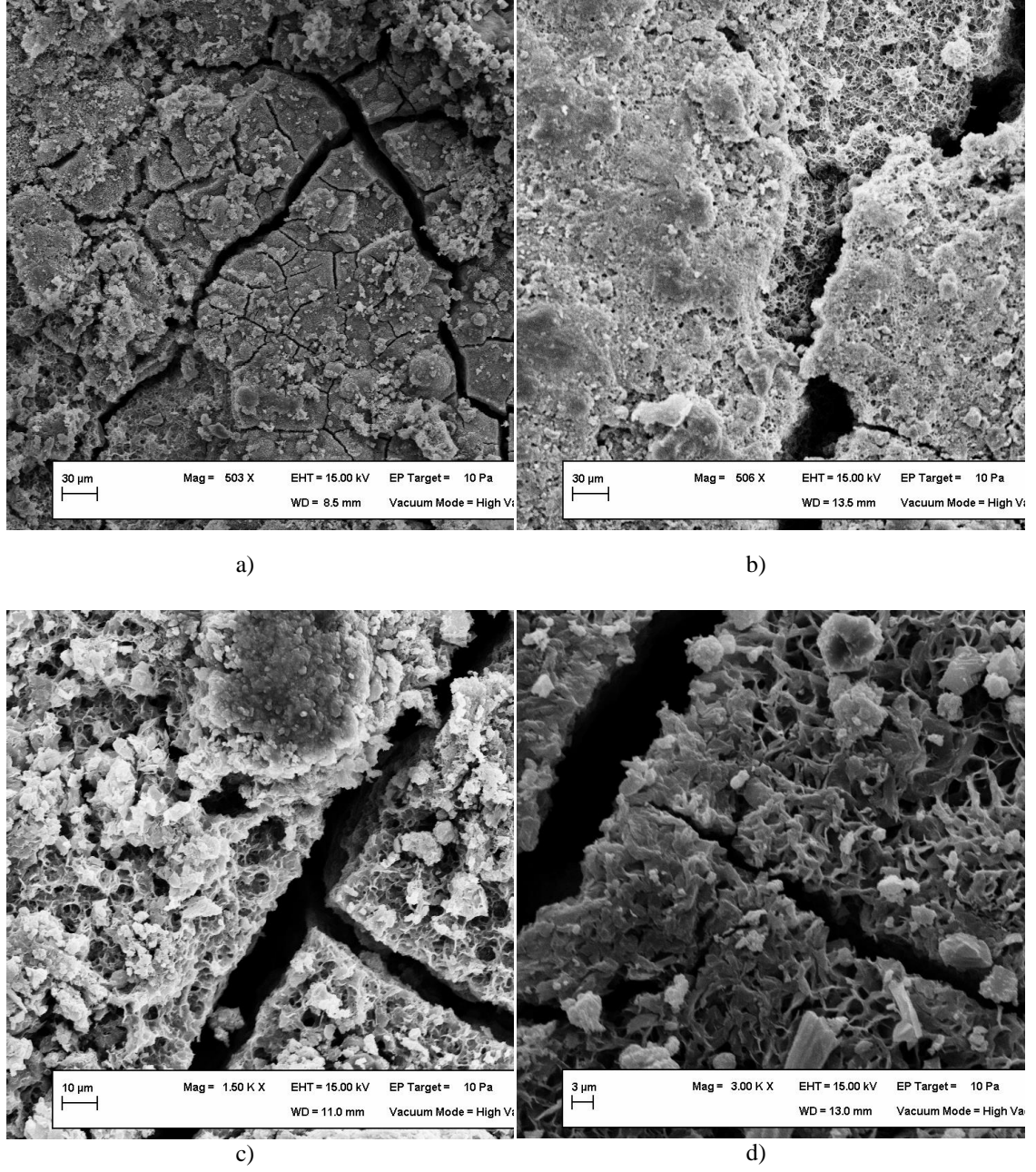
Şekil 4.5.'te ve çizelge 4.3.'te reaktif kireçtaşı tozu ve uçucu kül ağırlıkça belli oranlarda birlikte çimento yerine kullanımı ASR sonucunda oluşan genleşmeleri kontrol altına aldığı görülmektedir. %10 KTT+ %10 UK kullanımı ASR genleşmelerini kontrol karışımına kıyasla kayda değer bir şekilde azaltmadığı ancak

ancak, %15 KTT+%15 UK ve %20 KTT+%20 UK kullanımı ASR genleşmelerini kontrol karışımına kıyasla daha çok azalttığı tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, uçucu kül ve reaktif kireçtaşı tozu kullanımı miktarının artması ile ASR genleşmelerini azalttığı kanıtlanmıştır.



Şekil 4.5. Kireçtaşı tozu ve uçucu kül ikameli harç çubuklarının genleşme miktarları (%)

Farklı oranlarda (%10 UK+%10 KTT, %15 UK+ % 15KTT, %20 UK+% 20 KTT) uçucu kül+kireçtaşı tozu ikameli harç çubuklarında Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile farklı bölgelerden alınan numuneler incelenmiştir. Alınan görüntülerde ASR çatlaklarına rastlanmıştır. Şekil 4.6a'da kontrol (ikamesiz) harç çubuklarında ve Şekil 4.6b 'de %10 UK+%10 KTT ikameli harç çubuklarında 500 büyütmede ASR çatlaklarına rastlanmıştır. Şekil 4.6c, d'de %15 UK+%15 KTT ikameli harç çubuklarında 1500 büyütmede, %20 UK+%20 KTT ikameli harç çubuklarında ise 3000 büyütmede ASR çatlakları görülmüştür. Dolayısıyla düşük oranda (%10 UK+%10 KTT) ikameleri çatlakları önlemede pek etkili olamamıştır. Kireçtaşı tozu+Uçucu kül kullanım oranı arttıkça ASR çatlaklarının azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.6. Harç çubuklarının SEM görüntüleri (UK+KTT) a) Kontrol (ikamesiz) harç çubuklarının 500 büyütülmüş SEM görüntüsü b) %10 KTT+%10UK ikameli SEM görüntüsü c) %15 KTT+%15 UK ikameli SEM görüntüsü d) %20 KTT+%20 UK ikameli SEM görüntüsü

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma, mineral katkı olarak reaktif kireçtaşı tozu ve uçucu külün farklı oranlarda ağırlıkça ikili ve üçlü sistem karışımlarının kullanılmasıyla ASR sonucunda meydana gelen genleşmeleri azaltmaya yönelik bir çalışmadır. Yapılan deneysel çalışmada, ikili sistem karışımlarda uçucu kül ve reaktif kireçtaşı tozunun %10, %20, %30 ve üçlü sistem karışımlarda %10UK+%10KTT, %15UK+%15KTT, %20UK+%20KTT oranlarında kullanılarak ASR genleşme oranları tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. ASR genleşmelerini azaltmada kireçtaşı tozunun tek başına kullanılmasının, uçucu kül ve iki mineral katkının bir arada kullanımından daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
2. Mineral katkı olarak kullanılan uçucu kül, çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında kullanımı ikamesiz kontrol karışımına nazaran ASR sonucunda oluşan genleşmeleri azaltmıştır. Fakat düşük oranda (%10UK) uçucu kül kullanımı ASR genleşmelerini azaltmada pek etkili olamamıştır. Karışımdaki uçucu kül kullanımı oranı arttıkça ASR genleşmelerini azaltmada daha etkili olduğu görülmüştür.
3. Mineral katkı olarak kullanılan reaktif kireçtaşı tozu, çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarındaki kullanımı kontrol ve uçucu kül ikameli karışımlara nazaran ASR sonucunda oluşan genleşmeleri daha çok azaltmıştır. Çünkü, KTT çimento ve UK gibi alkali içermemektedir. Fakat düşük oranda (%10KTT) reaktif kireçtaşı tozu kullanımı kontrol karışımına kıyasla ASR genleşmelerini azaltmada pek etkili olamamıştır. Özellikle %20 ve %30 oranında kireçtaşı tozu kullanımı ASR genleşmelerini kayda değer bir şekilde azaltmıştır.
4. %10KTT+%10UK, %15KTT+%15UK, %20KTT+%20UK oranlarında birlikte kullanımı kontrol karışımına kıyasla ASR sonucunda meydana gelen genleşmeleri azalttığı görülmüştür. Düşük oranda %10KTT+%10UK kullanımı genleşmeleri azaltmada pek etkili olamamıştır. Fakat %15KTT+%15UK ve %20KTT+%20UK

kullanımı kontrol karışımına kıyasla ASR genleşmeleri azaltmada daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

5. Reaktif kireçtaşı tozunun ikili sistem karışımlar halinde kullanılması ASR genleşmelerini azaltmada, diğer tüm kontrol, ikili ve üçlü sistem karışımlarından daha etkili olduğu görülmüştür.

6. Alkanitesi yüksek olan çimento ve reaktif özelliği yüksek olan agrega kullanıldığından dolayı, mineral katkı kullanımı ASR sonucunda oluşan genleşmeleri sınır değerinin altına düşürememiştir. Hem ikili hemde üçlü sistem karışımlarında kullanılan mineral katkılar genleşmeleri önlememiş olup, sadece genleşmeleri azaltmada etkili olmuştur.

7. Kontrol ve %10UK ikameli harç çubuklarından alınan kesitlerin SEM görüntülerinde 500 büyütmede ASR çatlakları görülmüştür. Fakat %20 ve %30 UK ikameli harç çubuklarının SEM görüntülerinde ise ASR çatlakları azalmış olup, ancak 1000 büyütmede görülmüştür. Dolayısıyla, uçucu kül kullanım miktarı artıkça ASR çatlaklarının azaldığı belirlenmiştir.

8. %10KTT ikameli harç çubuklarından alınan örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde 1000 büyütmede ASR çatlakları görülmüştür. Fakat %20 ve %30 KTT ikameli harç çubuklarından alınan kesitlerdeki SEM görüntülerinde ASR çatlakları azalmış olup, ancak 2000 büyütmede görülebilmıştır. Dolayısıyla, KTT kullanım miktarı artıkça da ASR çatlaklarının azaldığı belirlenmiştir.

9. %10UK+%10KTT ikameli harç çubuklarından alınan kesitlerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede ASR çatlaklarına ulaşılmıştır. %15UK+%15KTT ve %20UK+%20KTT ikameli harç çubukları örneklerinden alınan SEM görüntülerinde ise ancak 1500 ve 2000 büyütmede ASR çatlaklarına ulaşılmıştır. Dolayısıyla, uçucu kül ve reaktif kireçtaşı tozu miktarı artıkça ASR çatlakları oluşumu azalmıştır.

10. Harç çubuklarından alınan örneklerde yapılan SEM analizlerinde ASR ürünleri görüntülenememiştir. Bu durum, harçların hazırlanmasında kullanılan agrega tane boyutlarının çok küçük olmasına dayandırılabilir.

KAYNAKLAR

- ABİT, Ö., 1998. Alkali Silis Reaksiyonunun Kimyasal Katkılar ile Önlenmesi, Azaltılması veya Onarılması. T.C. Karayolları Kurs Programı. Ankara.
- ANDİÇ, Ö., 2002. Alkali Silika Reaksiyonu Mineral ve Kimyasal Katkı Kullanılarak Kontrol Altına Alınması. EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 121s.
- ANDİÇ, Ö.Ç., 2007. Alkali-Agrega Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 255s.
- ASTM C-289-94.,1994. Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates Annual Book of ASTM Standards. Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4(2):157-163.
- ASTM C295-98., 1994. Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials,4(2):1-9.
- ASTM C-1260-94., 1994. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of th Aggregates (Mortar-Bar Method). Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4(2):650-653.
- ASTM C-227-97., 1994. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method). Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4(2):126-130.
- ASTM C-1293-01.,2001. Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction. Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials,4(2):1-6.
- BARADAN, B., 2000. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 207s.
- BARADAN, B., ve YAZICI, H.,ÜN., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilitesi). İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- BARRINGER, W.L., 1999. Using Accelerated Test Methods to Specify Admixtures to Mitigate Alkali-Silica Reactivity. Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, 21(2):165-172.
- BEKTAŞ, F., TURANLI, L., and OSTERTAG, C. P., 2005. New Approach in Mitig Damage Caused by Alkali-Silica Reaction. <http://www.ingentaconnect.com/Klu/jms/2006/00000041/00000017/00000108?crawler=true>,Springer Science Business Media.

- BERUBE, M.A., and DUCHESNE, J., 1992. Evaluation of Test Methods Used for Assessing the Effectiveness of Mineral Admixture in Suppressing Expansion to Alkali-Aggregate Reaction, Proceedings, 4th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, Turkey, ACI SP-132, American Concrete Institute Detroit, pp.549-575.
- BERUBE, M.A., and FOURNIER, B., 1992. Accelerated Test Methods for Alkali Aggregate Reactivity. *Advances in Concrete Technology*, ed. Malhotra V.M., Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- BLIGHT, G.E., MELVER, J.R., SCHUTTE, W.R., and RIMMER, R., 1981. The Effects of Alkali Aggregate Reaction on Reinforced Concrete Structure Made with Witwaterstrand Quartzite Aggregate. *Proceedings of the 5th International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete*, 252(15): 1-13.
- BODDY, A. M., HOOTON, R. D. and THOMAS, M. D. A. 2000. The Effect of Product Form of Silica Fume on its Ability to Control Alkali-Silica Reaction. *Cement and Concrete Research*, 30, pp. 1139-1150.
- BODDY, A. M., HOOTON, R. D., and THOMAS, M. D. A., 2003. The Effect of the Silica Content of Silica Fume on its Ability to Control Alkali-Silica Reaction, *Cement and Concrete Research*, 33(8):1263- 1268.
- CRUCQ, P., 2005. Development of A Method to Measure the Mechanical Behaviors of ASR Gel. Part I: Literature Study; Alkali-Silica Reaction, Causes, Effects and Prevention. *Microlab Civil Engineering and Geosciences, Delft*, 55p.
- DAVIES, G., and OBERHOLSTER, R.E., 1987. Use of the NBRI Accelerate Test to Evaluate The Effectiveness of Mineral Admixtures in Preventing the Alkali Silica Reaction. *Cement and Concrete Research*, 17: 97-107.
- DENT-GLASSER, L.S., and KATAOKA, N., 1981. Chemistry of Alkali Aggregate Reactions. 1-7, *Proceeding of The Fifth International Conference on Alkali – Silica Reaction*, S252/23, 66p.
- DIAMOND, S., 1999. Unique Response of LiNO_3 as An Alkali Silica Reaction Preventive Admixture. *Cement and Concrete Research*, (29):1271-1275.
- DIAMOND, S., BARNEYBACK, R.S JR., and STRUBLE, L.J., 1981. On The Physics and Chemistry of Alkali Silica Reactions. 1-11, *Proceedings of The Fifth Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, S252/22, 66 p.
- DIAMOND, S., and THAULOW, N., 1974. 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.
- DING, Y.W., KUNHE F., and YONG, H.L., 2010. Suppressing Expansion Due to Alkali-Aggregate Reaction by Using Limestone Powder. *Advanced Material Research*, 168(170):40-43.
- LANE, D.S., and ÖZYİLDİRİM, C., 1999. Preventive Measure for Alkali-Silica Reactions (Binary and Ternary System). *Cement and Concrete Research*, 29(8): 1281-1288.
- FARNY, J.A., and KOSMATKA, S.H., 1997. Diagnosis and Control of Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. *Concrete Information, Portland Cement Association*, 23 p.
- FORSTER ve ARK., 1998. State of The Art Report on Alkali-Aggregate Reactivities ACI 221.1R-98.

- FOURNIER, B., and MALHOTRA, V.M., 1999. Evaluation of Laboratory Test Methods for Alkali-Silica Reactivity, Cement, Concrete and Aggregate, *CCAGD* 21(2): 173-184.
- FRANZ, J., COUSSY, O., KEFEI, L., and LARIVE, C., 2000. Thermo-Chemo-Mechanics of ASR Expansion in Concrete Structures. *Journal of Engineering Mechanics* 126(3): 233–242.
- GLASSER, F. P., 1992. Chemistry of Alkali-Aggregate Reaction. 30-53, *The Alkali Silica Reaction in Concrete*, R. N. Swamy (ed), Van Nostrand Reinhold, New York, 333 p.
- GÜLEN, F., 2007. Alkali Silis Reaksiyonu Farklı Yöntemle Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 116s.
- GÜRKAN, A., 2006. Pomza ve Zeolit Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 85s.
- GUDMUNDSSON, G., and ASGEIRSSON, H., 1983. Parameter Affecting Alkali Expansion in Icelandic Concretes. *Proceedings 6th International Congress on Alkali-Silica Reactions*, Copenhagen, Denmark.
- GUNDMUNDSSON, G., and OLAFSSON, H., 1998. Alkali Silica Reactions and Silica Fume 20 Years of Experience in Iceland. *Cement and Concrete Research* 29(8):1289-297.
- HOBBS, D. W. (1988). *Alkali-Silica Reaction in Concrete*. Thomas Telford Ltd, London.
- KİBAROĞLU, U., 2006. Zeolitlerin Endüstriyel Kullanımları. Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Bitirme Ödevi. <http://us.geosites.com/ukibaroglu/calismalar/zeolit.htm>.
- KIRKPATRICK, R.J., 1991. MAS Nuclear Resonance Spectroscopy of Cement Systems. ACBM Seminar, Northwestern University, Evanston, IL.
- LENZNER, D., and LUDWIG, U., 1978. The Alkali Aggregate Reaction with it Opaline Sandstone from Schleswig-Holstein. 11-34, *Proc. 4th International Conference on the Effect of Alkalis in Cement and Concrete*, Diamond, S.(Ed.), School of Engineering, Purdue University, Lafayette, USA.
- LOCHER, F.W., 1973. Ursache und Wirkungsweise Der Alkalireaktion in Vorbeugende Massnahmenen Alkalireaktion im Beton. *VDZ, Schriftenreiheder Zeen Tindustrie Heft* 40.
- MINDESS, S., and YOUNG, J.F., 1981. *Concrete*. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ.
- NAIQIAN, F., HONGWEI, J. and ENYI, C., 1998. Study on the Suppression Effect of Natural Zeolite on Expansion of Concrete Due to Alkali-Aggregate Reaction. *Magazine of Concrete Research*, 50(1): 17-24.
- NAIQIAN, F., and TINGYU, H., 1998. Mechanism of Natural Zeolite Powder in Preventing Alkali-Silica Reaction in Concrete. *Advances in Cement Researches* 10(3): 101-108.
- NEVILLE, A.M., 1995. *Properties of Concrete*, Fourth and Final Edition, Longman Group Limited, London, 844p.
- NIXON, P. J., PAGE, C. L., BOLLINGHAUS, R., and CANHAM, I., 1986. The Effect of PFA with a High Total Alkali Content on Pore Solution Composition and Alkali-Silica Reaction. *Magazine of Concrete Research*, 38: 30-35.

- PREZZI, M., MONTEIRO, J., M., P. and SPOSITO, G., 1997. Alkali Silic Reaction Part1: Use of Double Layer Theory to Explain the Behaviour of Reaction Product Gel. ACI Materials Journal, 94(1):10-17.
- RAMYAR, K., ve ANDIÇ. Ö., 2002. Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkı Yardımı ile Kontrol Altına Alınması. TCMB, TÜBİTAK ve EBİLT TEM Desteği ile Hazırlanan Rapor, 90s.
- RAMYAR, K., DÖNMEZ, H., ve ANDIÇ, Ö., 2002 .Alkali Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması.Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü.
- SWAMY, R. N. 1992. The Alkali-Silica Reaction in Concrete. New York: Van Nostrand Reinhold.336 p.
- SWAMY, R.N., and AL-AHMET, A.H., 1984, Use of Pulse Velocity Measurements to Estimate Strength of Air-Dried Cubes and Hence in-Situ Strength Concrete, In-situ Nondestructive Testing of Concrete, ACI publications, 82:247-276.
- SHRP., 2003. Alkali Silica Reactivity Library Handbook for Identification ASR. <http://leadstates.tamu.edu/asr/>.
- STARK, D., 1993. Handbook for the Identification of Alkali-Silica Reactivity in Highway Structure. SHRP-C/FR-91-101, Washington, D.C., Strategic Highway Research Program.
- THOMAS, M.D.A., HOOTON, R.D., and ROGERS, C.A., 1997. Prevention of Due to Alkali-Aggregate Reaction (AAR) in Concrete Construction-Canadian Approach. Cement, Concrete and Aggregates, 19(1):26-30.
- TOSUN, K., 2001. Uçucu Kül ve Silika Dumanın Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 122s.
- TS 2517., 1977. Alkali-Agrega Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 1977
- TÜRKER, P., ve ERDOĞAN, B., 1998. Alkali-Silika Reaksiyonu.Çimento ve Beton Dünyası.
- WIGUM, B.J., PEDERSEN, L.T., and GRELK, B., 2006. State of The Art Reports Key Parameters Influencing The Alkali Aggregate Reaction. Ramboll, Denmark 75 p.
- VIVIAN, H.E., 1950. Studies in Cement Aggregate Reaction the Effect on Mortar Expansion of Amount of Reactive Component 2 nd ed.Common Wealth Scientific and Industrial Research Organisation Bull.
- XU, G. J. Z., WATT, D.F., and HUDEC, P., 1995. Effectiveness of Mineral Admixtures in Reducing ASR Expansion. Cement and Concrete Research, 25(6):1225-1236.
- YALÇIN, H., ve ÖZALP, R., 1974. Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri. Devlet Su İşleri Yayını, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mahmut Yaşar BAĞDİKEN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa – 05.10.1984
Telefon : 0535 252 36 50
Faks : -----
e-mail : civil_yasar63@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Bitirme yılı
Lise	: Ç.E.A.Ş Anadolu Lisesi, Merkez, Ş.urfa	2002
Üniversite	: Doğu Akdeniz Üniversitesi, G.mağusa, KKTC	2010
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Merkez, Ş.urfa	2013
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2013	Ahenk Yapı Denetim ve Gelişim Proje	Kontrol müh.

UZMANLIK ALANI : Yapı Anabilim Dalı

YABANCI DİLLER : İngilizce

BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ ÖZELLİKLER :

YAYINLAR :