

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAKARYA BÖLGESİNDE ÜRETİLEN KIRMATAŞ
AGREGALARININ ALKALİ-AGREGA
REAKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. GÖKÇE SERT

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZESİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAKARYA BÖLGESİNDE ÜRETİLEN KIRMATAŞ
AGREGALARININ ALKALİ-AGREGA
REAKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. GÖKÇE SERT

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 07 / 09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER
Üye**

**Prof. Dr. Ayhan SENGİL
Üye**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca, araştırma konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında, tecrübeleri ile beni yönlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Literatür aşamasında ve deneysel çalışmaların yürütülmesi aşamasındaki değerli katkılarından dolayı Öğr. Gör. Metin İPEK hocama, maddi ve manevi desteklerinden ötürü çalışma arkadaşım İnş. Müh. Merve GÜN' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek şevkle çalışmamı sağlayan çok değerli ailem, A. Kadir GENÇ, Emine GENÇ, Göksel GENÇ' e ve tüm çalışmam süresince bana her türlü desteği göstererek teşvik eden eşim, Birtan SERT'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Beton ve Agrega.....	5
2.3. Alkali – Silika Reaksiyon Mekanizması.....	6
2.4. Alkali Silica Tarihçesi.....	7
BÖLÜM 3.	
ALKALİ SİLİKA REAKSİYONUNU ETKİLEYEN FALTÖRLER.....	8
3.1. Alkali İçeriğinin Etkisi.....	8
3.2. Rutubet ve Sıcaklık Etkisi.....	13
3.3. Reaktif Afrega Cinsinin ve Boyutunun Etkisi.....	15
3.4. Karışım Oranlarının Etkisi.....	17
3.5. Kalsiyum Hidroksitin Etkisi.....	18

BÖLÜM 4.

ASR Yİ KONTROL ALTINA ALMA YÖNTEMLERİ..... 20

4.1. Giriş..... 20

BÖLÜM 5.

ALKALİ AGREGA REAKTİVİTESİNİ BELİRLEME METOTLARI..... 23

5.1. ASR' nin Kimyasal Yöntemle Tayini..... 23

5.1.1. Deney numunelerinin hazırlanması..... 23

5.1.2. Deneyin yapılışı..... 23

5.1.3. Deney sonuçlarının hazırlanması..... 26

5.2. Uzun Süreli Harç Çubuk Metodu..... 26

5.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması..... 26

5.2.2. Deneyde kullanılacak çimento tipi..... 27

5.2.3. Harç çubuklarının üretimi..... 27

5.2.4. Kalıplara harç yerleştirilişi ve kür edilişi..... 28

5.2.5. Harç çubularının boylarının ölçüm zamanları..... 28

5.2.6. Sonuçların değerlendirilmesi..... 29

5.3. Hızlandırılmış Harç Çubuk Metodu..... 29

5.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması..... 29

5.3.2. Harç çubuklarının kür edilmesi..... 30

5.3.3. Sonuçların değerlendirilmesi..... 30

5.3.1. Deney metodunun avantaj ve dezavantajları..... 31

5.4. Beton Prizma Metodu..... 31

5.4.1. Deneyde kullanılan agrega tipi..... 32

5.4.2 İnce agreganın reaktivitesi belirlenecekse yapılması gerekenler..... 32

5.4.3. Kaba agreganın reaktivitesi belirlenecekse yapılması gerekenler..... 32

5.4.4. Deneyde kullanılacak çimentonun cinsi ve miktarı..... 33

5.4.5. Karışımdaki toplam alkali ve karışım suyundaki NaOH miktarı hesabı 33

5.4.6. Karışım suyuna katılacak NaOH miktarı 33

5.4.7. Karışımda kullanılacak su miktarı	34
5.4.8. Kalıplara harç nasıl yerleştirilmesi kür edilmesi.....	34
5.4.9. Harç çubuklarının boylarının ölçülmesi.....	34
5.4.10. Sonuçların değerlendirilmesi.....	35
5.5. Agregaların Petrografik Analizi ASTM C 295.....	35
5.6. Jel Pat Metodu.....	35
5.7. Alman Çözünme Metodu.....	36
5.8. Ozmotik Hücre Metodu.....	36
5.9. Otoklav Metotları.....	37
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	38
6.1. Deney yapılan bölgenin özellikleri.....	38
6.2. Deneyin Amacı ve Kullanılan Deney yöntemleri.....	39
6.1.1. Kimyasal metot (ASTM C289)	40
6.1.2. Hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi (ASTM C1260).....	40
6.1.3. Uzun süreli harç çubuğu yöntemi (ASTM C227).....	42
6.1.4. Beton prizma metodu (ASTM C 1293).....	44
6.3. Deneyde Kullanılan Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel özellikleri..	46
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
7.1. Kimyasal Metot (ASTM C289)	47
7.2. Uzun Süreli Harç Çubuğu Yöntemi ASTM C227.....	50
7.3. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi (ASTM C1260).....	53
7.4. Beton Prizma Metodu (ASTM C1293).....	55
7.5. Sonuç ve Öneriler:	58
7.5.1. Kimyasal analize göre sonuçlar.....	58
7.5.2. Uzun süreli harç çubuğu metoduna göre sonuçlar.....	59
7.5.3 Hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre sonuçlar.....	60
7.5.4. Beton prizma metoduna göre sonuçlar.....	60

KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASR	: Alkali silika reaksiyonu
ASTM	: Amerikan standart
BS	: Beton standartı
CALTRANS	: Kaliforniya ulaşım bölümü
e	: Eşdeğer
PÇ	: Portland çimentosu
Ph	: Sertlik derecesi
R _c	: Alkali azalması
S _c	: Çözünmüş silis

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Harita çatlakları.....	6
Şekil 3.1.	Reaktif silika/alkali oranı ile genleşme arasındaki ilişki.....	8
Şekil 3.2.	Çimentonun alkali içeriği ile genleşme arasındaki ilişki.....	9
Şekil 3.3.	Sodyum Kloridin ASR genleşmeleri üzerine etkisi.....	12
Şekil 3.4.	Relatif nemin ASR nedeniyle betonda oluşan genleşme üzerindeki etkisi.....	14
Şekil 3.5.	Karışım oranlarının genleşme değerleri üzerindeki etkisi	17
Şekil 3.6.	Kalsiyum hidroksitin ASR nedeniyle harç çubuklarının genleşmesine etkisi.....	18
Şekil 5.1.	Beton harç çubukları	27
Şekil 5.2.	Harç çubuklarının uçlarına yerleştirilen pim.....	28
Şekil 5.3.	Dijital komparatör ile örneklerin boy ölçümü.....	29
Şekil 5.4.	Termostat'lı kür tankı.....	30
Şekil 5.5.	75x75x285 mm boyutlarında harç kalıpları.....	32
Şekil 6.1.	Harç çubuğu üretiminde kullanılan 25x25x285 mm boyutlarında kalıplar.....	41
Şekil 6.2.	Kür Tankı.....	42
Şekil 6.3.	Dijital komparatör saati.....	43
Şekil 6.4.	Kür Tankları.....	44
Şekil 6.5.	Beton prizma kür tankı.....	45
Şekil 7.1.	Sakarya il haritası.....	47
Şekil 7.2.	Çözünen silika ve alkaliniteye azalma değerlerine göre, altı farklı Agregaya ait örneklerin, ASTM C289 grafiği kullanılarak zararlı zararsız agregaya sınıflandırılması.....	49
Şekil 7.3.	1,2,3 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri.....	51
Şekil 7.4.	4,5,6 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri.....	52

Şekil 7.5.	Uzun süreli harç çubuğu metoduna göre numunelerin uzama yüzdeleri.....	52
Şekil 7.6.	1,2,3 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri.....	54
Şekil 7.7.	4,5,6 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri.....	54
Şekil 7.8.	Hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre numunelerin uzama yüzdeleri.....	55
Şekil 7.9.	7,8,9 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri.....	57
Şekil 7.10	10,11,12 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri...	57
Şekil 7.11	Beton prizma deneyi numunelerinin uzama yüzdeleri	58

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Alkali içeren bazı minerallerin 0 ve 100 o C sıcaklıkta suda çözünebilirlikler.....	13
Tablo 5.1.	Karışım oranları.....	26
Tablo 6.1.	Sakarya ili ruhsatlı ocak alanları.....	39
Tablo 6.2.	Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi için karışım oranları.....	41
Tablo 6.3.	Uzun süreli harç çubuğu deneyi için karışım oranları.....	43
Tablo 6.4.	Beton Prizma deneyi için 1 m ³ deki karışım miktarları.....	45
Tablo 6.5.	Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	46
Tablo 7.1.	Numune ad ve bölgeleri.....	47
Tablo 7.2.	Kimyasal analiz sonuçları.....	48
Tablo 7.3.	Numune ad ve bölgeleri.....	50
Tablo 7.4.	Uzun Süreli Harç Çubuk Deneyleri Ölçüm Sonuçları.....	50
Tablo 7.5.	Harç çubukları boy uzamaları.....	51
Tablo 7.6.	Numune ad ve bölgeleri.....	53
Tablo 7.7.	Hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi (ASTM C1260) ölçümleri	53
Tablo 7.8.	Harç çubukları boy uzamaları.....	54
Tablo 7.9.	Numune Bölge ve adları.....	55
Tablo 7.10.	Beton prizma metodu numunelerinin ölçümü (ASTM C1293)...	56
Tablo 7.11.	Numunelerin Boy Uzamaları.....	56
Tablo 7.12.	Deney metotlarına göre sonuçlar.....	61

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alkali agrega reaksiyonu, Agrega, ASR deney yöntemleri

Bu araştırmanın amacı Sakarya bölgesindeki bazı agrega taş ocaklarından alınan kırma taş ve kırma kum agrega örneklerinin alkali silika reaktivitesine ilişkin özelliklerini belirlemektir. Bu ocaklardan alınan agrega numuneleri üzerinde ASTM C289 kimyasal metot, ASTM C1260 Hızlandırılmış yöntem, ASTM C227 uzun süreli yöntem, ASTM C1293 beton prizma, deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre;

Kimyasal analiz, hızlandırılmış harç çubukları metodu, uzun süreli harç çubuk metodu deney sonuçlarına göre Sakarya ilinde beton yapımında agrega temin edilen, Pamukova, Geyve, Akpınar taş ocağı Geyve, Ferizli, Taşkısığı agrega ocaklarının alkali silika reaktivitesi açısından sakıncalı olmadığı söylenebilir. Bu bölgelerde üretilen agregalarda sert alkali ortamlarda bile kayda değer bir genleşme göstermemiştir.

Beton prizma deneyi sonucunda; ikizce genç osmanlı, Geyve, Pamukova, öztaş pamukova, Akpınar taşocağı Geyve, Taşkısığı agrega ocaklarına ait örneklerde alkali silika reaktivitesinden kaynaklanan genleşme, % 0,04'lük genleşme sınırının altında kaldığı için agregaların alkali agrega reaktivitesi açısından zararsız olduğu görülmüştür.

DETERMINING THE ALKALI – AGGREGATE REACTIVITY OF THE AGGREGATES AT SAKARYA REGION

SUMMARY

Key Words: Alkali aggregate reaction, Aggregate, ASR Test Methods.

This study aims to determine the alkali silica reactivity of some aggregates in from of broken Stone and sand which is collected from the quarries located in Sakarya ASTM C289 Chemical Merhod, ASTM C1260 Accelerated Method, ASTM C227 Longterm Method, ASTM C1293 Concerate prizm, mortar bar experiments were done to the aggregate samples that were taken from the quarries. According to test results;

It can be said that in Sakarya region Pamukova, Geyve, Akpınar quarry in Geyve, Ferizli, Taşkısığı quarries are not problematic from alkali aggregate reaction side according to the chemical analysis,fastened concerate blocks method and extended time concerate block method results.The produced aggregates from these quarries are not expanded in high alkali areas.

After the Concrete block testing it is clear that ikizce genç Osmanlı, Geyve, Pamukove, Öztaş Pamukova, Akpınar quarriy in Geyve, Taşkısığı quarry samples are expanded less than % 0.04 so that it is harmless from alkali aggregate reaction point.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Alkali Silika Reaksiyonu, kalsiyum ve alkalilerle birleşebilme yeteneğine sahip, reaktif karakterli silika mineralleri içeren agregalar ile alkali oksitlerin (Na_2O , K_2O) çözünmesiyle betonun boşluk suyunda yer alan alkali hidroksitler (NaOH , KOH) arasında nem varlığında oluşur ve betonda nem etkisiyle genişleyen bir jelin oluşmasına neden olur.

ASR' nin betonda zararlı etkilerini gösterebilmesi için ortamda üç şartın varlığı gerekmektedir; yeterli nem, yeterli miktarda reaktif silika, yeterli miktarda alkali. Farklı agregaların reaktiviteleri içerdikleri kristal yapıdaki silis minerali miktarına bağlıdır. Reaktif silika minerallerinden opal, kalsedon, kristobalit, tridimit, kriptonkristalin kuvars en yaygın görülen türdür [1].

Alkali oksitler çimentodan gelmekle birlikte, bir kısım alkali; agrega, uçucu kül veya cüruf gibi diğer bileşenlerden de gelebilir. Buna ek olarak, betona alkali girişi buz çözücü kimyasallar veya deniz suyu, beton kür suyu, zemin suyu ve endüstriyel atık suları aracılığı ile olabilir.

ASR ortamda yeterli miktarda nem olduğunda meydana gelebilir. Nem, alkali iyonlarının yayılmasına, bu yayılmada reaksiyon bölgelerinde jel oluşumuna neden olur. Oluşan jel ise su emerek şişip genişleme ve betonda içsel çekme gerilmelerinin doğmasına böylece agrega ile onu çevreleyen çimento harcının çatlamasına neden olur.

Alkali Silika Reaksiyonunda oluşan genişleme sonucu, donatısız kütle betonlarında, kaplama betonlarında çekme dayanımının aşılması sonucu beton içinde ve yüzeyinde

kırıklar ve çatlaklar gelişebilmektedir. ASR' nin görünür dış belirtisi haritaya benzer çatlaklardır (Wen, 1998). Gözlenen diğer belirtiler; genleşme, kapak atmalar, çatlaklardan jel sızması, yapısal elemanlarda deformasyonlar seklindedir [1].

Bu çalışmada Sakarya bölgesindeki bazı taş ocaklarından alınan kırma taş ve kırma kum örneklerinin alkali silika reaktivitesine ilişkin özellikleri araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. ALKALİ AGREGA REAKSİYONU

2.1. Giriş

Alkali agrega reaksiyonu, betonda kullanılan çimentodan veya dış kaynaklardan gelen alkali hidroksitlerle, beton içindeki agregaların içerdiği reaktif bileşenler arasında meydana gelen bir kimyasal reaksiyondur[2]. Alkali agrega reaksiyonunun bilinen üç oluşum şekli vardır: Alkali -karbonat reaksiyonu (AKR), alkali - silikat reaksiyonu (yavaş ilerleyen alkali silika reaksiyonu) ve alkali - silika reaksiyonu (ASR) [3].

Bu üç reaksiyonun içinde en sık görülen alkali silika reaksiyonudur. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) oldukça karmaşık bir kimyasal reaksiyondur. Bazı çimentoların içinde fazla miktarda bulunan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler beton gözenek suyunda çözülerek sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) oluştururlar ve aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerek alkali silika reaksiyonunu (ASR) oluştururlar.

ASR' nin oluşturduğu reaksiyon ürünleri aşırı derecede su emme özelliği olan ürünlerdir. Su emme özelliği olan bu ürünler, suyu emdikçe şişip betonda içsel çekme gerilmeleri oluşturarak betonun genişmesine ve agrega ile onu çevreleyen çimento hamurunun çatlamasına neden olur [4]. Reaksiyonun neden olduğu genişleme belli bir sınırı aştığında beton için potansiyel bir tehlike oluşturur

Alkali-silis reaksiyonu ile ilgili olarak günümüze kadar oldukça önemli araştırmalar yapılmıştır (Fookes,1980; Gillott, 1975; Hobbs, 1990; Grattan-Bellew, 1987; Wakizaka vd. 1987; Wakizaka vd. 1989; Wakizaka, 1998; (Wakizaka, 2000). Bazı

tip agregaların çimento içinde bulunan alkali ile birleşerek genişleyen bir jel meydana getirdiği ilk kez, Stanton (1940) tarafından açıklanmıştır. Konu ile ilgili ayrıntılı araştırmalara göre; reaksiyon oluşumunda etkili olan mineraller; opal (Stanton, 1941), kalsedon ve volkan camı (Stanton, 1941; Rhoades, 1942), kripto kristalin kuvars (Stanton vd. 1942), tridimit (Hornibrook vd. 1943), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952; Mielenz, 1954) ile basınç etkisinde kalmış kuvarstır (Gogte, 1973). Marfil ve Maiza (2001), bazaltlarda aktif silis ve volkan camı içeriğinin fazla olması nedeniyle tehlikeli reaksiyonların geliştiğini belirtmişlerdir[5]. Sakıncalı reaksiyon oluşturan ürünler arasında; andezit, riyolit, tuf, dasit, bazalt, şeyl, çört ve bazı kumtaşlarının oldukları belirtilmiştir. Volkanik kayalardaki reaksiyonu; kristobalit, tridimit ve volkanik camın kontrol ettiğini, sedimanter ve metamorfik kayalarda ise, kristalizasyon ve kuvars içeriğinin etkili olduğunu ortaya koymuşlardır [6]. Çimento içindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonun genişmesine ve çatlamasına neden olan agregalara örnek olarak; çörtlü veya silisleşmiş kireçtaşı ve çamur taşları ile bazı asit veya asit-ortaç karakterli volkanik kayaları göstermiştir.

Araştırmacı ayrıca, ağırlıkça % 0.25 inden fazla opal, % 5 inden fazla kalsedon, % 3 ünden fazla camsı maddeler içeren agregalar, kripto kristalin asidik-ortaç volkanik kayalar veya tüflerin betonda düşük alkali içerikli çimento kullanılmamış ise zararlı reaksiyonlara neden olabileceğini ifade etmiştir [7]. volkanik kayalarda bulunan volkan camının alkali-silis reaksiyonunun oluşumunda oldukça etkili olduğunu belirtmiştir. Agregada bileşiminin yanı sıra alkali-silis reaksiyonunun meydana gelmesinde çevre şartlarının da önemli etkileri bulunmaktadır. Zararlı alkali-silis reaksiyonu, sıcaklığın yaklaşık +10oC ile +60oC arasında bulunması halinde meydana gelmektedir. Bunun dışında, ortamın porozitesi ve yeterli nemin bulunması halinde alkali-silis reaksiyonundan dolayı hasar meydana gelebilmektedir [8].

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

2.2. Beton ve Agregası

Agregalar betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Beton bileşiminin yaklaşık % 75' ini agregalar oluşturmaktadır. Bu nedenle agrega özellikleri, beton yapımında önemli rol oynamaktadır. Agreganın türü, mineralojik bileşimi, dokusu gibi önemli jeolojik faktörler; betonun dayanımında, aşınmasında, kimyasal etkilere karşı davranışında ve hacimsel deformasyonunda etkin rol oynar. Ayrıca, agreganın şekli ve yüzey pürüzlülüğü betonda agrega ile çimento arasındaki bağın kuvvetini belirler [9].

Agregalar ağırlıklarına göre hafif, normal ve ağır olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflara göre her biri birbirinden farklı olmakta ve her biri farklı amaçlar için kullanılmaktadır [9].

Beton için hafif agrega su, çimento ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırlarak hafif beton imalatında kullanılan, tane yoğunluğu 1200 kg/m³ ü aşmayan kırılmış / kırılmamış gözenekli inorganik agrega olarak tanımlanmaktadır[9].

Hafif agregalarda kendi aralarında doğal ve yapay olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Doğal hafif agregalar meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan tüf, bims, sünger taşı, lav cürufu, diatomit gibi kırılmış/ kırılmamış agregalardır[9].

Normal agrega etüv kurusu tane yoğunluğu 2000 kg/m³ - 3000 kg/m³ arasında olan, doğal yapay yada her iki cins yoğun mineral malzemenin kırılmış ve/ veya kırılmamış tanelerin bir yığını olarak tanımlanmaktadır. Bu agregalar doğal agrega (doğal taş agregası) ve yapay agrega (sanayi ürünü agrega) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Doğal agregalar nehirlerden, denizlerden, teraslardan, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Yapay agregalar ise agregalar ise yüksek fırın cürufu, izabe cürufu ve yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış yada kırılmamış agregalardır[9].

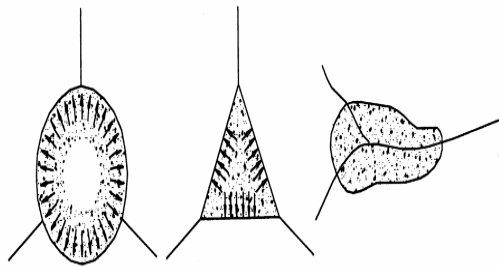
Agregalar iri ve ince agrega kısımlarını ihtiva etmektedir. Normal agregada ince agrega (kum) 4mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen agregadır. İri agrega (çakıl) ise 4 mm göz açıklıklı kare elek üzerinde kalan agregalardır. Uygulamada doğal çakıllar için yuvarlak çakıl, kırma çakıllar için kırma taş, küçük taneli yapay çakıllar için ise mıcır tanımları kullanılmaktadır. Kırma kum, kalker ve granit, kırma taş ise granit, bazalt, siyenit, kalker, kuvarz, porfirit ve trakit gibi taşların konkasörle kırılması suretiyle elde edilmektedir [9].

Kırma taş agregayla üretilen betonun kırılmamış doğal agregayla üretilen betona göre dayanımı daha yüksek, karıştırılması ve yerine yerleştirilmesi ise daha zordur. Dayanımın daha yüksek olması, kırma agrega yüzeyinin pürüzlü, dolayısıyla da çimento hamuruyla kenetlenmesinin (aderansının) daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır [9].

2.3. Alkali – Silika Reaksiyonu Mekanizması

ASR'nin oluşabilmesi için agregada reaktif silika formları, yeterli miktarda alkali ve ortamda nem bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa ASR nedeniyle bir genişleme de olmayacaktır. ASR basitçe iki aşamada görülebilir ;

1. Alkali + Reaktif Silika \longrightarrow Alkali-silika jel ürünleri
2. Alkali-silika jeli + Nem \longrightarrow Genleşme [10].



Şekil 2.1. Harita çatlakları

Reaksiyonun oluşabilmesi için çimento alkali içeriğinin “eşdeğer Na₂O” değeri olarak % 0,6 değerini aşması gerekir. Portland çimentosunun toplam alkali içeriği sodyum oksit eşdeğeri olarak bu ifade ile hesaplanmaktadır; [11].

$$(Na_2O)_e = Na_2O + 0,658 K_2O$$

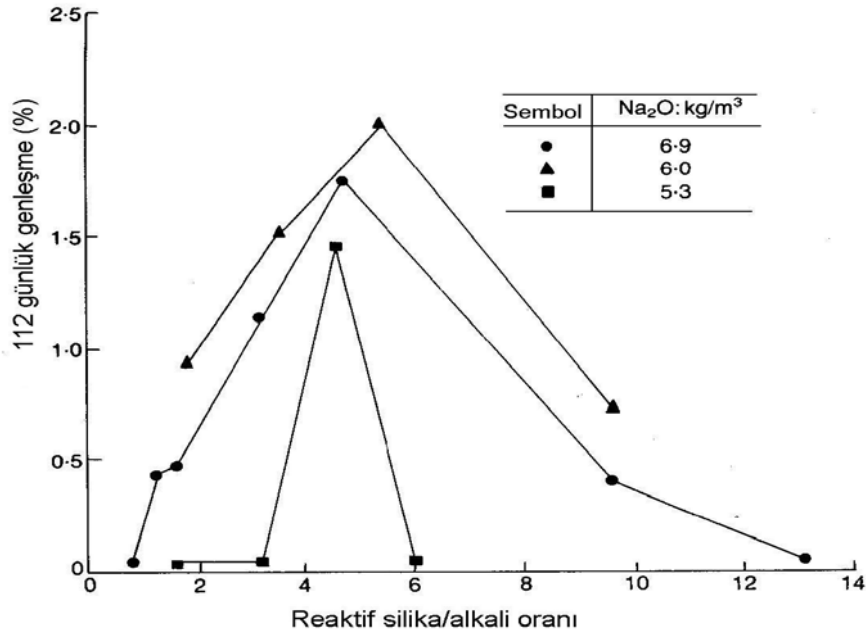
2.3. Alkali Silika Reaksiyonu İlk Ne Zaman Fark Edildi

Bu reaksiyon ilk olarak 1920’li ve 1930’lu yıllarda ABD’de, Kaliforniya’daki beton yapılarda nedeni belirsiz çatlak oluşumlarına bağlı yıkımların rapor edilmesi ile fark edilmiştir. Bu raporda beton malzemelerin standartlara uygun olmasına rağmen, yapım yılını takriben birkaç yıl içinde çatlaklar olduğu açıklanmıştır. Ayrıca, genellikle harita çatlağı şeklinde görülen çatlaklardan jel çıkışı, betonda patlamalar gibi belirtilere de yer verilmiştir. 1940 yılında bu tür çatlakların (daha sonra Alkali-Silika Reaksiyonu olarak adlandırılan) kimyasal bir reaksiyonun sonucu olduğu anlaşılmıştır.

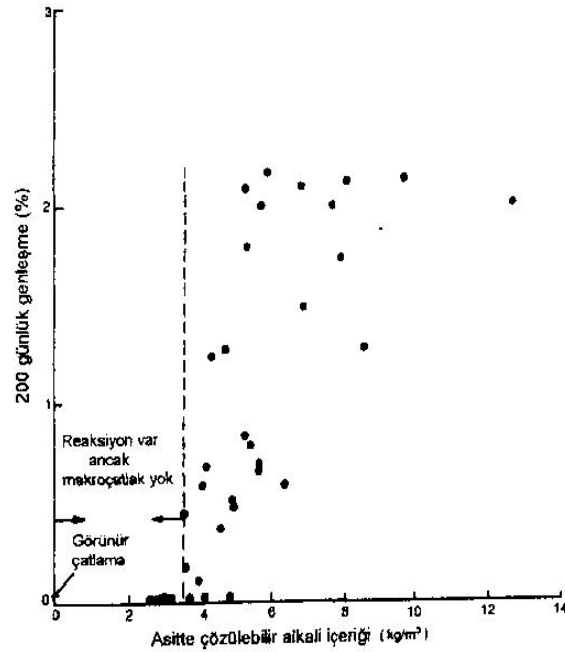
BÖLÜM 3. ALKALİ SİLİKA REAKSİYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. Alkali İçeriğinin Etkisi

Betondaki çimentonun alkali içeriği, betonun hidroksil iyon konsantrasyonunun, betonun alkali içeriğinin, reaktif silis/alkali oranının değişmesinde etkilidir. Sekil 3.1 de suda beklemiş harç çubuklarının alkali içeriğinin genleşmeye etkisi gösterilmiştir. Kullanılan harç örneklerinin çimento içeriği 670 kg/m³, su/çimento oranı 0,4, agrega/çimento oranı 2'dir. Çimentonun alkali miktarı arttıkça pesimum davranış ergisi genişler, maksimum genleşme reaktif silis/ alkali oranı 4,5-5 arasında iken oluşmaktadır [11].



Sekil 3.1 Reaktif silika/alkali oranı ile genleşme arasındaki ilişki [11].



Sekil 3.2 Çimentonun alkali içeriği ile genleşme arasındaki ilişki [11].

Sekil 3.2’de en kritik reaktif silis/alkali oranlarına sahip harç örneklerinin 200 günlük genleşme - alkali içeriği (kg/m^3) grafiği görülmektedir. Farklı seviyelerde alkali içeriğine sahip çimentoların potasyum/sodyum oranları yüksektir ve harçlardaki çimento içerikleri 340–1250 kg/m^3 arasında değişmektedir. Yapılan deneyler 5 yıl sürmüş olup deneylerde kullanılan harç çubuklarında alkali içeriği 3,5 kg/m^3 ‘ün altında olanlarda bu süre içinde çatlama ve genleşme görülmemiştir. Alkali içeriği 3,5 kg/m^3 ‘ün üzerinde olan harç çubuklarında uzun süreli genleşmelerde ani bir çıkış gözlenmiştir. Maksimum genleşme % 2,5 civarındadır.

Benzer alkali içeriklerinde farklı genleşme miktarlarına rastlanmıştır. Bunun nedenleri; çimentolardan farklı oranlarda alkali açığa çıkması, çimentoların sodyum/potasyum oranının farklı olması ve farklı hızlarda dayanım kazanımıdır [1,11].

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 çözeltiliye karışır [12].

Çimentonun üretim yöntemi de çimentonun alkali içeriğini etkiler. Çimento üretiminde son yıllarda enerji tasarrufu nedeniyle kuru yöntem tercih edilmektedir. Ancak bu yöntemde hammaddelerin ön ısıtılması sırasında kullanılan gazlar ve elektro filtrelerde tutulan çok ince parçacıkların çimentoya tekrar katılması, çimentonun alkali miktarını artırır [3,11,13,14].

Stanton, 1940'lı yıllarda çimento içeriği 600 kg/m³ 'ün üzerinde harç çubukları ile yaptığı deneyler sonucunda, çimentonun alkali içeriğinin kütlece % 0,6 'nın altında olması durumunda çatlama olmayacağı sonucuna varmıştır. Reaksiyonun oluşabilmesi için çimento alkali içeriğinin "eşdeğer Na₂O" değeri olarak % 0,6 değerini aşması gerekmektedir. Portland çimentosunun toplam alkali içeriği sodyum oksit eşdeğeri olarak aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır[15].

$$(Na_2O)_e = Na_2O + 0.658 K_2O \quad 3.1$$

Potansiyel bir ASR tehlikesi söz konusu olduğunda Kanada ve Avrupa ülkelerinde betondaki alkali miktarı 3 kg/m³ ile sınırlanmaktadır. Genel olarak ASR nedeniyle oluşan genleşmelerin azaltılması veya önlenmesi için düşük alkalili çimento kullanımı başarılı bir çözüm olmaktadır [12].

Beton içine alkali girişinin sadece çimentodan kaynaklanması durumunda alkali içeriği aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [13].

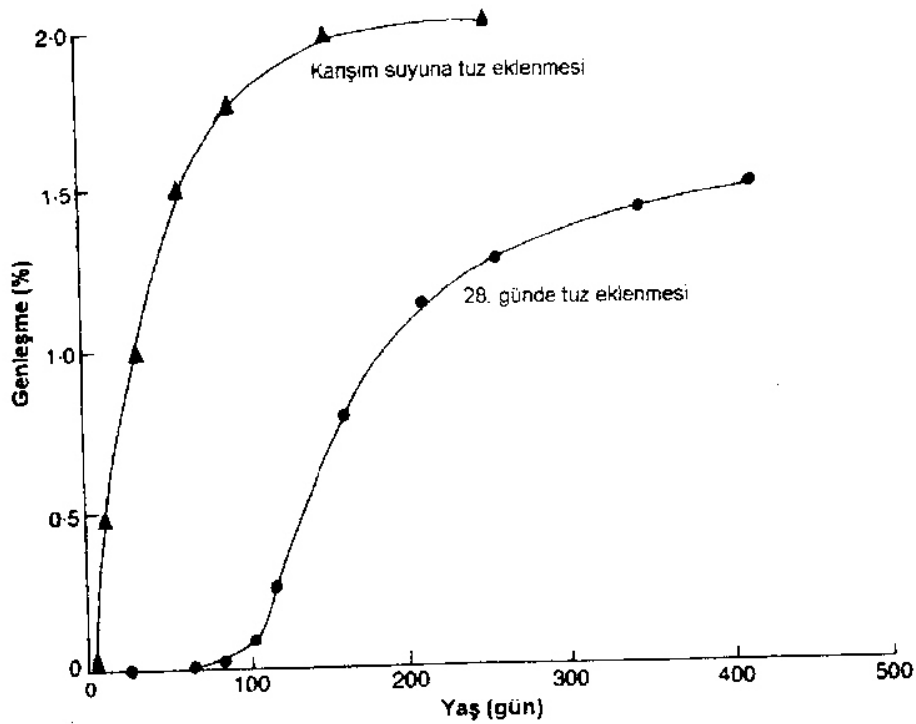
Betonun Alkali içeriği (kg/m³) = [Alkali içeriği (%)]*[Çimento Dozajı (kg/m³)]
 Çimento alkalilerinin yanı sıra bazı agregaların da betonun boşluk çözeltilerinin alkalinitesine katkıda bulunduğu belirlenmiştir[16]. Betonun boşluk çözeltilerinde hesaplanandan fazla miktarda alkali bulunmasının sebebinin kireçtaşı agregasındaki

kil mineralleri olduğunu belirlemiştir [17]. Su/Çimento oranı ile ince agrega miktarı yüksek karışımlarda bazı bazaltların betonun boşluk suyunun alkalinitesini arttırdığının gözlemlenmiştir.

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 betonda dış alkalilerin ASR'ye neden olması kaçınılmaz olup, agregalardan da boşluk suyuna alkali geçişi olduğu belirlenmiştir [15].

Kar mücadelesinde kullanılan buz çözücü tuzlar, alkali kaynağı olmakla birlikte, diğer beton malzemelerden beton içine alkali göçüne olanak sağlamaktadır. Prizini almış betona buz çözücü tuzların uygulanması hidroksil iyon konsantrasyonunu dolayısıyla ASR'den etkilenmiş olan betondaki genleşme seviyesini veya çatlama riskini arttırabilir.

Tuzun genleşme üzerindeki etkisi betonun farklı yaşları içinde incelendiğinde, 28 günlük harç örneklerine uygulandığında, tuzun karışım suyuna eklenmesine göre daha yavaş fakat oldukça büyük bir genleşme görülmüştür.



Sekil 3.3 Sodyum Kloridin ASR genleşmeleri üzerine etkisi [11].

Sekil 3.3'te NaCl'nin ASR nedeniyle harcın genleşmesi üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Harç örneklerinin su/çimento oranı 0,41, agrega/çimento oranı 2,75'tir ve sodyum klorid eklenmesi ile eşdeğer sodyum oksit seviyesi 5,2 kg/m³'e ulaşmıştır. 24 ayda, pesimum oranda veya daha yüksek oranlarda opal içeren, çatlamış betonda genleşmede büyük artışa neden olmuştur. 15 yıllık betona tuz uygulandığında ise zaten ASR nedeniyle çatlamış betonda kayda değer bir artış gözlenmemiştir [11].

Beton içerisindeki alkali metal tuzlarının sulu ortamda alkali hidroksitlere dönüşmesi, alkali agrega reaksiyonlarının oluşması için ilk basamaktır. Bu nedenlerden dolayı agrega içerisindeki alkalinin bağlı bulunduğu mineral önem taşımaktadır.

Alkali içeren bazı minerallerin farklı sıcaklıkta 100 gr. su içerisindeki çözünürlükleri Tablo 3,1'de verilmiştir [18].

Tablo 3.1 Alkali içeren bazı minerallerin 0 ve 100 0 C sıcaklıkta suda çözünülebilirlikler [18].

MİNERAL	0°C	100°C
Arcanite(K_2SO_4)	7,35	24,1
Thenardite(Na_2SO_4)	5	42
Muscovite($3Al_2O_3.K_2O.6H_2O.2H_2O$)	Çözünmez	Çözünmez
Orthoclase($Al_2O_3.K_2O.6SiO_2$)	Çözünmez	Çözünmez
Albite($Al_2O_3.Na_2O.6SiO_2$)	Çözünmez	Çözünmez

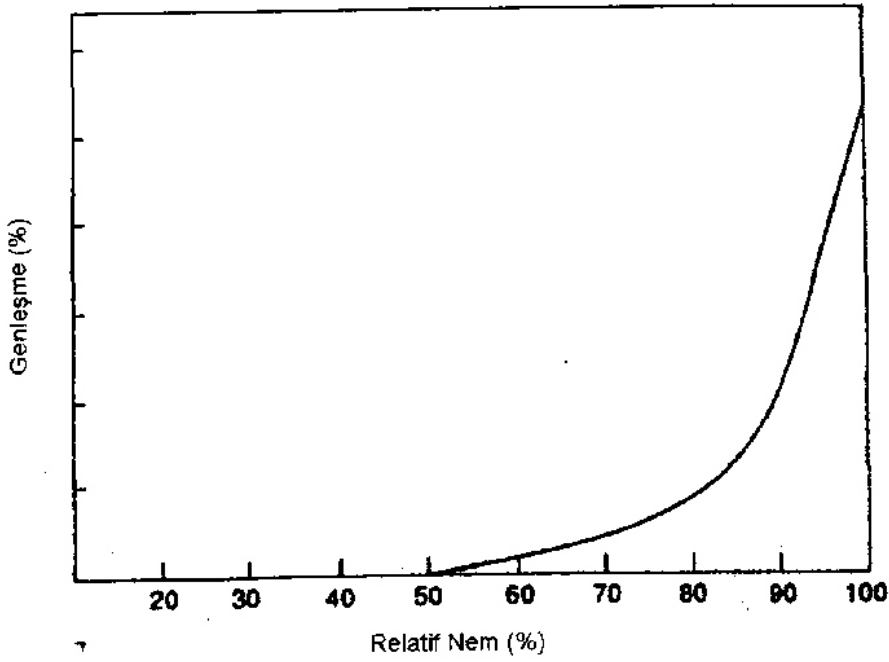
Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi agrega içerisinde, tuz formunda olmayan alkali bileşikleri alkali-agrega reaksiyonu yönünden zararsız sayılabilmektedir [18].

3.2. Rutubet ve Sıcaklık Etkisi

Mevsim şartları ASR'yi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ortamda bulunan nem ve sıcaklık artışı reaksiyonun hızlanmasına sebep olur. Sıcak iklim koşullarındaki yapılar, soğuk iklim koşullarındakilere göre ASR'ye karşı daha duyarlıdır.

Reaksiyonun başlaması ve devam etmesi için ortamda yeterli miktarda su bulunması gerekir. Su, silisin çözünmesine, alkali iyonlarının yayılmasına ve jelin büyümesine neden olur. Jel kuru hava şartlarında da oluşabilmektedir, ancak betonun genişmesi ve sonuçta bozunmaya uğraması için ilave su gereklidir. Araştırmalar bağıl nem oranı %80 'in üzerinde olan betonlarda ASR genişmelerinin oluştuğunu göstermiştir [19].

Sekil 3.4'te relatif nem ile genişme arasındaki iliksi gösterilmektedir. % 70 relatif nemin altındaki durumlarda genişme ihmal edilebilir seviyededir ancak %80'in üstüne çıkıldığında genişmede belirgin bir artış görülmektedir [1].



Sekil 3.4 Relatif nemin ASR nedeniyle betonda oluşan genleşme üzerindeki etkisi [1].

ASR genleşmesini hızlandıran nemli ortamların yanı sıra kuruma-ıslanma tekrarı da betonda alkali taşınmasının kolaylaşmasına ve alkalilerin kuruma bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olduğundan reaksiyonu hızlandırır.

Beton kuru ortamda bulunsa dahi boşluk suyu içerir ve kuruyan 10-20 cm üst tabakanın dışında beton içinde bağıl nem % 80-90 'dır. Yaklaşık % 80 'in altındaki relatif nem değerlerinde reaksiyon durmaktadır. Normal betonlarda bir miktar karışım suyu kuru ortamda bile uzun bir süre genellikle yüksek nem değerlerini sağlar. Bununla birlikte, düşük su/çimento oranlarına sahip karışımlarda su çimentonun hidratasyonu sırasında tüketilir. Bu durumda eğer dış kaynaklı bir su girişi varsa, reaksiyona giren maddelerden herhangi biri tükenene kadar reaksiyon sürecektir [1,3].

Nemin betona girişini ve reaksiyonu hızlandırmasını engellemek için düşük su/çimento kullanımı ve mineral katkı kullanımı yardımıyla geçirimsizliğin azaltılması yoluna gidilebilir

Sıcaklık artışı, ASR'yi hızlandırır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte alkalilerin reaksiyon sahasına göçü ve jelin genleşmesi hızlanır. Bu hızlanma sonuç genleşme değerini değiştirmez.

Jelin akışkanlığının artmasıyla birlikte çatlaklardan önemli bir basınç yaratmadan geçmesinden sonra, jelin su içeriğinin maksimum şişme basıncını veren bir seviyeye ulaştığı bir safha vardır. Düşük sıcaklıklarda bu periyot daha uzundur ve bu yüzden bir miktar daha fazla genleşme görülebilir [20].

Sıcaklık artışı, agregaların büyük çoğunluğunda aşırı termal gerilmelere sebep olur. Bazı agregalarla yapılan araştırmalar, aynı koşullardaki harç örneklerinin 13-20 °C aralığındaki boy değişimleri ölçümlerinin 38 °C'dekinden farklı olduğunu göstermiştir.

Yüksek ve düşük sıcaklıkların genleşme etkisi agregaya bağlıdır. Agregaların büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktiflik göstermektedir [15].

Sıcaklığın 35–40 °C'nin üzerine çıkması ile agregaların reaktifliği artmaktadır. Larbi ve Hudec'in yaptıkları çalışmada farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığı ve 80 °C) reaksiyon sonucundaki genleşmeler incelenmiş olup, oda sıcaklığında maksimum genleşme % 0,30 olurken yüksek sıcaklıkta % 0,50 'ye kadar çıkmıştır

3.3. Reaktif Agreganın Cinsinin ve Boyutunun Etkisi

Alkali silika reaksiyonunun oluşumu için ortamda herhangi bir formda reaktif silis bulunması gerekir. Betona zarar verebilmesi için %2 gibi az bir miktar yeterlidir. Reaksiyonun derecesini etkileyen en önemli parametre, agreganın içindeki silisin formudur. Reaktif silis oldukça farklı doku ve kristal yapı sergiler. Silisin doku farklılığı, kayaçlaşma sürecinde azalan soğuma hızına bağlıdır. Agregadaki silisli mineral kayaçlar oluşum sürecinde soğuma hızına bağlı olarak amorf veya camsı (kristalleşmemiş) yapıdan kriptokristal, mikrokristal ve kristal yapıya kadar geniş bir yelpazeye dağılırlar.

Bazı durumlarda kuvars kristallerinin oluşumu sırasında içsel gerilmeler oluşur, bu tür kuvars mineralleri içeren agregalar reaktiftir [3,13].

İri kristalli kuvarsın yüzeyi alkali hidroksitler tarafından çok az etkilenir. Bununla birlikte eğer kuvars flint veya çörtle olduğu gibi veya grovak gibi ağır metamorfizma geçirmiş ise reaktivite gösterebilir. Kumtaşları içerisindeki tridimit, kristobalit ve amorf silis iri kristalli kuvarslara göre oldukça reaktiftir.

Reaktivitedeki azalmaya göre silis mineralleri su şekildedir: Amorf silis, opal, stabil olmayan kristalin silis, çört, kalsedon, silisin diğer kriptokristalin formları, metamorfik olarak ayrılmış ve bozunmuş kuvars, deforme olmuş kuvars, yarı kristalleşmiş kuvars, saf kuvars.

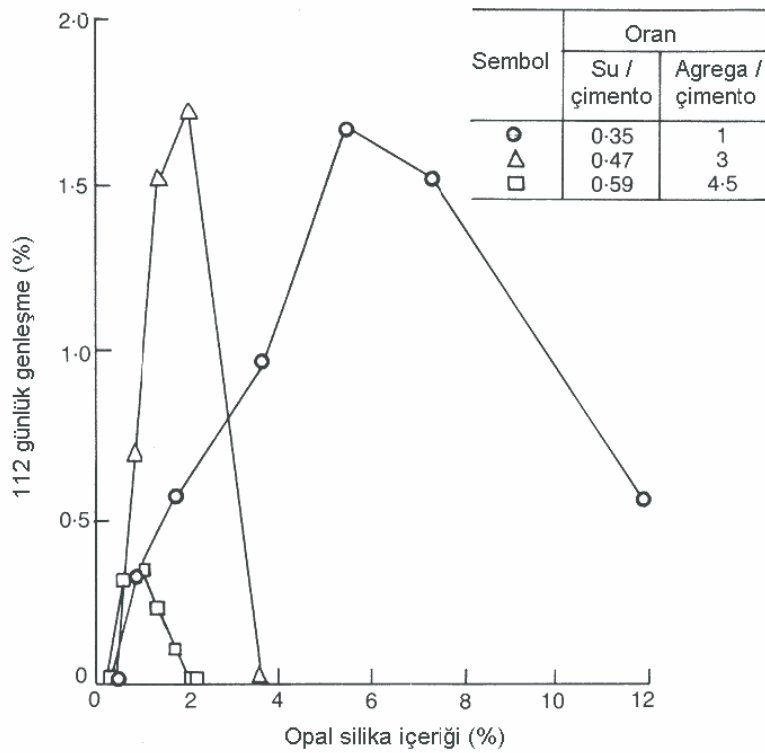
Reaktivitedeki azalmaya göre kayaçlar ise şöyledir: Tüfler dahil volkanik camlar, metakuvarsit metamorfize kumtaşları, ayrılmış granitik gnayslar, deforme olmuş granitik gnayslar, diğer silis içeren metamorfik kayaçlar, silisli ve mikalı sist ve filitler, iyi kristalize olmuş volkanik kayaçlar, pegmatitik (kabaca kristalize) volkanik kayaçlar, silis içermeyen kayaçlar [15].

Reaktif agreganın tane büyüklüğü de ASR sebebiyle oluşabilecek zararlar üzerinde etkilidir. Reaktif agreganın boyutunun etkisi, reaktif agreganın fiziksel ve mineralojik karakterine bağlıdır. Reaktif agreganın gözenekliliği de ASR bakımından önemlidir, gözenekliliği fazla olan agreganın içine boşluk çözeltisinin girişi daha kolay olmakta ve reaksiyon alanı artmaktadır [15; 11].

Agrega boyutu arttıkça maksimum genleşmeyi veren çimento/agrega oranı azalmaktadır. Agregada boyutu büyüdüğünde genleşmeler yavaş ilerlediğinden tek boyutlu agregada gradasyonunun kullanımının ASR genleşmelerini azaltmak açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir [15].

3.4. 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 kısalsabilir [12;11].

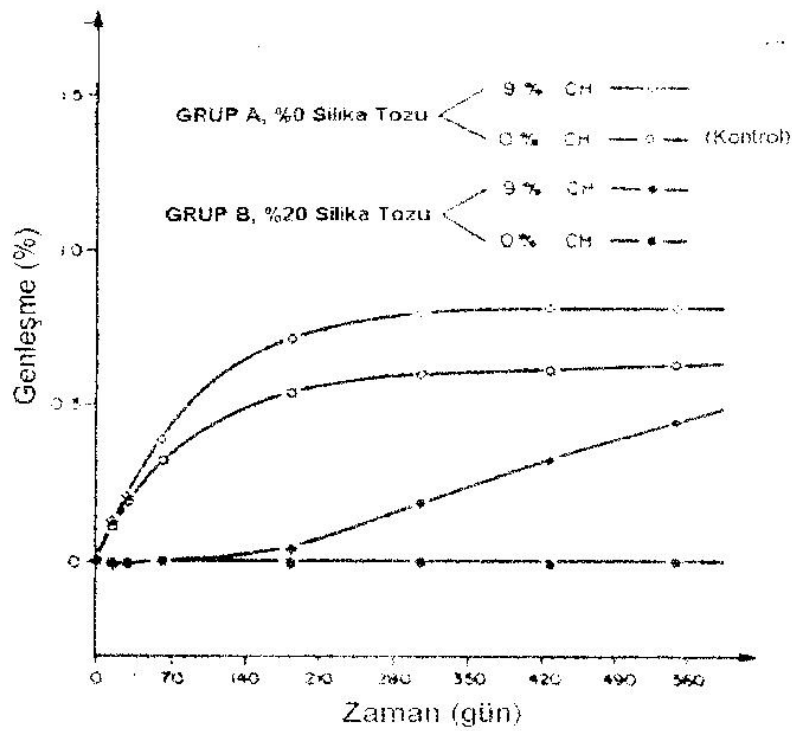


Sekil 3.5 Karışım oranlarının genleşme değerleri üzerindeki etkisi [11].

Sekil 3.5’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 [11].

3.5. Kalsiyum Hidroksitin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) Etkisi

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ‘nin alkali silika reaksiyonu üzerindeki iki önemli etkisi, OH^- iyonlarının sağlanması ve Ca^{++} iyonlarına kaynak oluşturmasıdır.



Sekil 3.6. Kalsiyum hidroksitin ASR nedeniyle harç çubuklarının genişmesine etkisi [1].

Sekil 3.6.'da Ca(OH)_2 'nin %2 opal içeren harç çubuklarının genişmesi üzerindeki etkisi görülmektedir. Harç çubukları dört takım içeren iki grup halinde dökülmüştür. Her iki grupta da Ca(OH)_2 eklenmesi genişmelerin artmasına neden olmuştur [21]

Alkali iyonlarının silikaya saldırısı, silika taneciğindeki Si-O-Si bağlarına (OH-) iyonlarının saldırısı ile sonuçlanır. Bu yüzden, (OH-) konsantrasyonu ASR'de çok önemlidir. Doygun kalsiyum hidroksit çözeltisinin pH değeri 12,5'tir. Portland çimentosu betonunda boşluk suyunun pH değeri 12,5 değerinden büyüktür. Yüksek pH değeri de silikaya daha şiddetli bir saldırıya yol açmaktadır. Reaktif silika içeren betonlarda hidroksil iyonları, siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) gruplarının etkileşimi ile tüketilir [1].

BÖLÜM 4. ALKALİ SİLİKA REAKSİYONUNU KONTROL ALTINA ALMA YÖNTEMLERİ

4.1. Giriş

ASR'ünü önlemenin en iyi yolu beton dökülmeden önce gerekli önlemleri almaktır. Bunun için bağlayıcı malzemelerin ve agregaların dikkatlice analiz edilmesi ve malzeme seçiminin verimliliğini ve ekonomikliğini optimize eden bir kontrol stratejisinin seçilmesi gerekir.

ASR' ünu önlemek için malzeme seçiminde aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir;

- Aktif silis içermeyen agregaların tercih edilmesi,
- Betonun alkali içeriğini sınırlamak,
- Ortamın nemini kontrol altında tutmak,
- Katkı maddesi kullanımı [22].

Alkali-silika reaksiyonu üç aşamada meydana gelir; reaktif silikanın çözülmesi, kalsiyum-sodyum-potasyum jelinin oluşması ve su absorpsiyonu ile jelin genişlemesi. Silisin çözülmesi hidroksit iyonlarının (OH^-) atağı neticesinde iki aşamada olur. Hidroksit iyonlarının mevcudiyeti betonda sadece $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tarafından değil aynı zamanda NaOH ve KOH tarafından da sağlanır. Silikanın çözünme hızı katı parçacıklar içindeki çatlaklarda mevcut olan alkali sıvının difüzyonundan etkilenir. İyonların türü ve iyonik konsantrasyon bu hızı kontrol eder. Çünkü tanecikler içine giren sıvı aynı zamanda hidroksit iyonlu katyonları sürükler ve bu katyonların iyonik yarıçapları difüzyonu sınırlayabilir. Bu yüzden daha küçük iyonik yarıçapa sahip potasyum katyonları daha yüksek difüzyon hızına sebep olabilir. Aynı nedenle lityum tuzları ASR'yi önleyici karışım olarak kullanılır. Çünkü daha büyük

iyonik yarıçapa sahip olan lityum hidroksit difüzyonun bazı bölgelerde oluşumuna engel olur [23].

Puzolanlar çimento harcının kirecini tutarak ortamın pH derecesini indirger ve silisin çözünürlüğünü azaltarak ASR'yi ve jel oluşumunu önler. Puzolanların bir diğer faydası ise sağladıkları geçirimsizliktir.

Kaliforniya Ulaşım Bölümünün (CALTRANS) yapmış olduğu bir çalışma sonucu almış olduğu tavsiye kararı ASR reaksiyonuyla ilgili aşağıdaki değerlendirmeleri kapsamaktadır [24].

- Çimentodaki alkali içeriğinin artması ASR'yi arttırabilir.
- ASTM C 150 standardına göre portland çimentosundaki %0.6 alkali içeriği limiti ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) ASR sonucu oluşan zararlı genleşmeyi azaltmak için çok yüksektir.
- Katkılarıdaki yüksek kalsiyum oksit (CaO yada kireç) ASR'yi tetikleyebilir.
- %10'dan fazla CaO'li Uçucu küller ASR'yi azaltmak için etkili değildir.
- F sınıfı uçucu küller ve N sınıfı puzolanlar (ASTM C 618) %30'un üzerinde çimento yerine ikame edildiğinde ASR'ye karşı etkilidir,
- Düşük kireçli (<%2) ve toplam alkali içeriği düşük (<%3) doğal puzolanlar portlan çimentosu yerine %15 ikame edildiğinde ASR'nin azaltılması yönünde oldukça etkilidir.
- Düşük miktarda silis dumanı kullanımı ASR genleşmesinin azaltılmasında etkilidir.
- Dışarıdaki alkali iyonları da ASR genleşmesini arttıracaktır.

Bu tavsiye kararı eğer uçucu kül %2'den az CaO içeriyorsa %15 ikameyi ya da %10'dan az CaO içeriyorsa (ve toplam alkali içeriği %3'den küçükse) %30 uçucu kül kullanımını içermektedir. CALTRANS'ın karşılaştırmalı çalışması F sınıfı uçucu küllerle aynı limit değerlere sahip N sınıfı doğal puzolanların (ASTM C 618) F sınıfı uçucu küllerle aynı avantajları sağladığını göstermiştir[24].

Amerika'da bazı bölgelerde ASR kontrolünde granüle yüksek fırın curufu yaygın olarak kullanılmaktadır. Curuf, etkin olabilecek uçucu kül oranından genellikle daha yüksek dozlarda (%25-50) kullanılmaktadır [24].

Beton alkalitesi söz konusu olduğunda sadece çimento ve çimentolanma özelliği olan malzemelerin alkalitesi göz önüne alınmaktadır. Diğer beton bileşenlerinin beton alkalitesine etkisi azdır. Beton içine alkali girişi sadece çimentodan kaynaklanıyorsa alkali içeriği (1) formülü ile hesaplanabilir[25].

$$\text{Betondaki alkali miktarı (kg/m}^3\text{)} = [\text{Çimento dozajı (kg/m}^3\text{)}] * [\text{Çimentonun alkali \%}]$$

(1)

Potansiyel bir ASR tehlikesi söz konusu olduğunda Kanada ve Avrupa ülkeleri ile BS 5328 standardında reaktif agrega içeren betondaki alkali miktarı 3 kg/m³ ile sınırlandırılmaktadır [24,26].

ASR'nin neden olduğu zararlı genleşmeyi azaltma yönünde katkı çimento kullanımının da olumlu yönde etkisi vardır. Portland Kompoze Çimentoda klinkerin yanındaki diğer ana bileşen curuf ise limit değer olarak %1,2 Na₂O eşdeğeri önerilmektedir. %0,6 Na₂O eşdeğerli portland çimentosuyla aynı performansı gösterecektir.

BÖLÜM 5. ALKALİ AGREGA REAKTİVİTESİNİ BELİRLEME METOTLARI

5.1. Alkali Agreganın Kimyasal Yöntemle Tayini (ASTM C 289)

5.1.1. Deney numunesinin hazırlanması

Agreganın maksimum tane çapı göz önüne alınarak agregayı temsil edecek miktarda (2-4 kg) numune alınır. Kalın agrega önce delik açıklığı 4 mm olan elekten geçecek şekilde bir çeneli kırıcıda kırılır. Elde edilen kırma taş ve ince agreganın tamamı delik açıklığı 0,250 mm olan elekten geçecek şekilde ezilir. Değirmenden çıkan ezilmiş malzeme delik açıklığı 0,250 ve 0,125 mm olan elek serisinden elenir. Delik açıklığı 0,125 mm olan elek altına geçen kısım atılır.

Delik açıklığı 0,250 mm olan elek üzerinde kalan malzeme yeniden ezilir ve elenir. Bu işleme numunenin tamamı delik açıklığı 0,250 mm olan elekten geçinceye kadar devam edilir. 0,125 mm lik elek üzerinde kalan malzeme elek üzerinde yıkanır, yıkanmış numune $105 \pm 5^\circ\text{C}$ lük etüvde 20 ± 4 saat kurutulur. Soğutulur ve 0,125 mm lik elekten yeniden elenir, bu elek üzerinde kalan kısım deney için saklanır

5.1.2. Deneyin yapılışı

- Amonyum molibdat çözeltisi :

10 g amonyum molibdat $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 100 ml damıtık su içinde çözülür. Çözelti berrak değilse süzülür. Süzüntü bir plastik şişede saklanır.

-Hidroklorik asit : Derişik, $d = 1,19$

-Hidroklorik asit (1/1) : Derişik hidroklorik asit. ile damıtık su eşit hacimde karıştırılır.

- Hidroklorik asit (0,05 N) : 0,05 N standard sodyum hidroksit çözeltisi ile ayarlanır.
- Hidroflorik asit: Derişik $d = 1,33$
- Fenolftalein çözeltisi: 1g fenolftalein 100 ml etil alkol içinde çözülür.
- Standard silis çözeltisi:

Saf, susuz sodyum silikat damıtık suda çözülerek litresinde 10 mülümol SiO_2 ihtiva eden bir çözelti hazırlanır. Plastik bir şişe içinde saklanır. Bu çözeltiden 100 mi numune alınarak gravimetrik metot ile SiO_2 konsantrasyonu tayin edilir. Bir yıllıktan eski standart silis çözeltisi kullanılmamalıdır.

- Sodyum hidroksit çözeltisi, (1 N) : $1 \pm 0,001$ N duyarlılıkla hazırlanan 1 N sodyum hidroksit çözeltisi plastik bir şişede saklanır.
- Sülfürik asit: Derişik, $d = 1,84$
- Oksalik asit çözeltisi: 10 g oksalik asit dihidrat ($\text{C}_2 \text{H}_2 \text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2 \text{O}$) 100 ml damıtık suda çözülür, plastik bir şişede saklanır.

Kimyasal analiz yöntemi için reaktivitesi belirlenecek agregalardan 0,250 mm (No:50) ve 0,125 mm'lik (No:100) elekler arasında kalan malzemedan 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 ml. 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 ± 1 °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.

Çözünmüş Silisin Tayini “Kolorimetrik Metot”

100 ml lik bir ölçülü balon jöjeye üzerine 1/1 HCl den 0,5 ml ve amonyum molibdat çözeltilisinden 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;

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

Eşitlikte;

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

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

C = Kolorimetrede ölçülen çözeltilinin silis konsantrasyonu (mmol/litre) göstermektedir.

Alkali Azalmasının Tayini “Titration Metodu”

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

Alkali azalması aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

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

Eşitlikte;

R_c = Alkali azalması (mmol/litre),

N = Hidroklorik asidin normalitesi,

V_1 = 200 ml'lik çözeltiliden çekilen örnek hacmi (ml),

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

V_3 = Tanık örnek için sarf edilen hidroklorik asit hacmi (ml) göstermektedir.

5.1.3. Deney sonuçlarının hazırlanması

Alkali Silika Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini’’ne göre alkali azalması (Rc) ve çözülmüş silis (Sc) değerleri kullanılarak grafik yardımı ile söz konusu agreganın yeri belirlenir ve agregaların zararlı veya zararsız olduğu hakkında yorum yapılır.

5.2. Uzun Süreli Harç Çubuğu Testi (ASTM C 227)

Bu metot, belirli şartlarda kürlenmiş 25x25x285 mm boyutlarındaki harç numunelerinin belirtilen süre sonucundaki boy değişimlerinin (genleşme yüzdesi) ölçülerek çimento-agrega kombinasyonlarının reaktivitelerinin belirlenmesi esasına dayanır.

5.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Harçta kullanılacak agregalar ince agrega sınıfına giren 8–16, 16–30, 30–50 ve 50–100’ nolu elek serilerinden elenerek aşağıdaki tabloda verilen karışım oran ve miktarlarında kullanılır.

Tablo 5.1. Karışım oranları

Elek göz açıklığı (mm)		Ağırlıkça, %
Üzerinden geçen elek	Üzerinde kalan elek	
4.75 (No: 4)	2.36 (No: 8)	10
2.36 (No: 8)	1.18 (No: 16)	25
1.18 (No: 16)	0.60 (No: 30)	25
0.60 (No: 30)	0.30 (No: 50)	25
0.30 (No: 50)	0.15 (No: 100)	15

Harcın karışım oranları, kullanılacak agrega türüne göre tabloda verilmektedir.



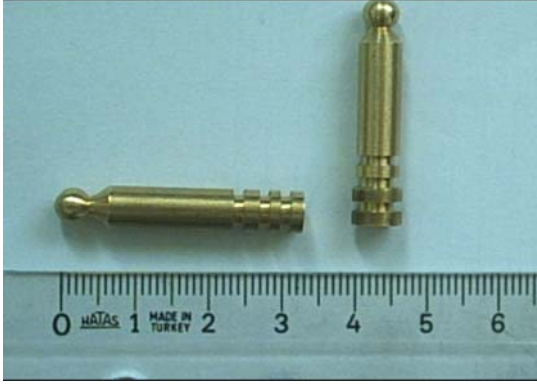
Şekil 5.1. Beton harç çubukları

5.2.2. Deneyde kullanılacak çimentonun özellikleri

Harç çubuklarının üretiminde Tip I çimento kullanılmalıdır ve kullanılan çimentonun alkali içeriği en az %0,6 Na_2O eşdeğeri olmalıdır. Bu eşdeğer, çimento içerisinde bulunan sodyum oksit (Na_2O) yüzdesiyle potasyum oksit (K_2O) yüzdesinin 0,658 ile çarpılıp toplanmasıyla bulunan değerdir. $\% (\% \text{Na}_2\text{O} + 0,658 (\% \text{K}_2\text{O}))$ şeklinde hesaplanır.

5.2.3. Harç çubuklarının üretimi

Deney için en az 4 adet harç çubuğu hazırlanır. Harç çubuklarının üretiminde, 3 adet örnek dökümüne imkân veren 25x25x285 mm boyutlarında kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp uç kısımlarına harç çubuklarının boy değişimlerini ölçmek için, 7 mm çapında ve 32 mm boyundaki pirinçten üretilmiş pimler kalıplarda açılan deliklere yerleştirilmektedir.



Şekil 5.2. Harç çubuklarının uçlarına yerleştirilen pim

5.2.4. Kalıplara harç yerleştirilişi ve kür edilişi

Kalıplara harç yerleştirilirken şişlenerek sıkıştırılmalıdır. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında $23 \pm 1,7$ °C' de 24 saat bekletilir.

Daha sonra harç çubuklarının boyları ölçülerek, alt bölgesinde su haznesi bulunan ve bu haznesi yarıya kadar su doldurulan bir kap içerisine konur. Bu kap içerisindeki su, örnekler ile temas etmeyecek şekilde yüksek bağıl nemi (%100) sağlamalıdır. Bu şekilde tasarlanmış kap içerisine konulan numuneler $37,8 \pm 1,7$ °C (100 ± 3 °F)'de sabit ısıdaki tanklara yerleştirilir.

5.2.5. Harç çubuklarının boylarının ölçüm zamanları

Harç çubukları üzerindeki ölçümler ilk olarak 14. gün, sonra 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12. aylar ve daha sonra gerekirse her 6 ayda bir uzunluk değişimi ölçülmektedir. Örneklerin boy ölçümleri alınmadan 16 saat önce saklama kapları kapalı bir şekilde $23 \pm 1,7$ °C ($73,4 \pm 3$ °F)'de kür odasına konarak soğumaya bırakılmalıdır. Bu işlemin ardından dijital komparatörle harç çubukları üzerinde boy ölçümleri yapılır.



Şekil 5.3. Dijital komparatör ile örneklerin boy ölçümü

5.2.6. Sonuçların değerlendirilmesi

Birim boy değişim yüzdelerini belirlemede aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır; ASTM C 227'ye göre boy değişimindeki verilerin 12. ay sonunda %0,1 genleşme sınırını aşması durumunda agrega, alkali silika reaktivitesi açısından “zararlıdır” sınıflandırması yapılmaktadır. Bu test metodunun dezavantajı test sürenin uzun ve zahmetli olmasıdır.

5.3. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Testi (ASTM C 1260)

Bu deney metodu, Alkali reaktivitesi belirlenecek agregalar ile üretilen harç çubuklarının alkalinitesi yüksek çözelti içerisinde, yüksek sıcaklıkta saklanması ve uzunluk değişimlerinin ölçülmesi ile gerçekleştirilmektedir.

5.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Deneyin için hazırlanacak harç çubukları, harç çubuk yöntemi (ASTM C 227) ile hazırlanan harç çubukları ile aynıdır.

5.3.2. Harç çubuklarının kür edilmesi

Harç çubuk yöntemi ile hazırlanan en az 3 adet harç çubuğu saf su içerisine konarak $80 \pm 2,0$ °C sabit ısıdaki etüvde 24 saat bekletildikten sonra ilk boy ölçümleri alınır. Harç çubuklarının içerisine konulacak alkali çözeltisi, 1 N NaOH çözeltisi, 900 ml. Saf suya 40 gr sodyum hidroksit konularak hazırlanır bu çözeltiliye sodyum hidroksit çözeltisi denir. Bu çözelti 80 °C'de sabit ısıda tutularak, harç çubukları bu çözelti içerisine konmaktadır.



Şekil 5.4. Termostat'lı kür tankı

5.3.3. Sonuçların değerlendirilmesi

Bu işlemden sonra devam eden 3, 7, 14. günlerde boy ölçümleri alınarak birim boy değişim yüzdeleri hesaplanmaktadır. Birim boy değişim yüzdelerini belirlemede aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır;

ASTM C 1260'a göre boy değişimindeki verilerin değerlendirilmesi aşağıdaki gibi yapılmaktadır;

- 14 gün sonra ölçülen boy değişimi %0,1'den küçük ise "Agrega zararsız",

- 14 gün sonra ölçülen boy değişimi %0,1 - %0,2 arasında ise “Deney süresi uzatılarak örneklerin 28 günlük boy değişimleri ölçülür”,
- 14 gün sonra ölçülen boy değişimi %0,2’den büyük ise “Agrega potansiyel olarak zararlıdır”,

Bu şekilde her agregadaki boy değişimlerine göre bir sonuca varılmaktadır.

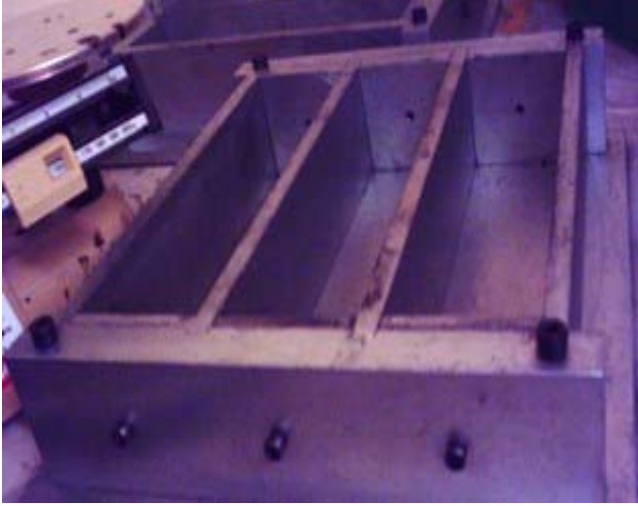
5.3.4. Deney metodunun avantaj ve dezavantajları

Agregaların, test yönteminde kullanılan ağır alkali ve yüksek sıcaklık koşullarına maruz kalma olasılıklarının düşük olması nedeniyle ASR geçmişi bulunmayan agregaların bazen test sonuçlarında reaktif oldukları ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle diğer testlerle birlikte kullanılmalıdır.

Bu sert test koşullarının avantajı ise çok yavaş reaksiyon gösteren ve uzun süreli harç çubuk metodu ile alkali potansiyeli belirlenemeyen agregalar için kullanışlı olmasıdır.

5.4. Beton Prizma Metodu (ASTM C 1293)

Beton prizma testi, 75x75x285 mm boyutlarında hazırlanan harç çubuklarının zamana bağlı olarak genleşme miktarının ölçülmesi ile çimento-agrega bileşimlerinin alkali kaynaklı genleşmelere açık olup olmadığını belirler. Bu deney metodunu uzun süreli harç çubuğu metodundan ayıran en önemli özellik, harç çubuk boyutları ve harç çubuklarının hazırlanması sırasında karışım suyuna NaOH eklenerek karışımın alkali miktarının artırılmasıdır.



Şekil 5.5. 75x75x285 mm boyutlarında harç kalıpları

5.4.1. Deneyde kullanılan agrega tipi

Bu deney metodunda, hem ince agrega hem de kaba agreganın reaktif olup olmadığı test edilebilir.

5.4.2. İnce agreganın reaktivitesi belirlenecekse yapılması gerekenler

Bu deney metodunda ince agreganın alkali reaktivitesini belirlemek isteniyorsa bunun için hazırlanacak harçlarda bulunan kaba agreganın reaktivitesi deneyden önce hızlı harç çubuk yöntemi ile belirlenmeli ve 14 günlük boy değişim yüzdesinin 0.1 den az olması gereklidir. İnce agrega deney numune örneklerine herhangi bir elek analizi yapılmadan laboratuara geldiği şekli ile teste tabi tutulur.

5.4.3. Kaba agreganın reaktivitesi belirlenecekse yapılması gerekenler

Bu deney metodunda kaba agreganın alkali reaktivitesini belirlemek isteniyorsa bunun için hazırlanacak harçlarda bulunan ince agreganın reaktivitesi deneyden önce hızlı harç çubuk yöntemi ile belirlenmeli ve 14 günlük boy değişim yüzdesinin 0.1 den az olması gereklidir. Kullanılacak agreganın maksimum dane çapı 19 mm olmalıdır. Agrega hacmi beton hacminin % 70'i kadar olmalıdır. Bu oran ayarlanırken agreganın etüv kurusu halinde olmasına dikkat edilir.

Harçta kullanılacak agregalar kaba agrega sınıfına giren 8–16, 16–30, 30–50 ve 50–100’ nolu elek serilerinden elenerek aşağıdaki tabloda verilen karışım oran ve miktarlarında kullanılır.

5.4.4. Deneyde kullanılacak çimentonun cinsi ve miktarı

Karışımında 420 kg/m^3 miktarında çimento kullanılmalıdır. Çimento olarak Tip I çimento kullanılmalı ve toplam alkali içeriği % 0,9 Na_2O eşdeğerinde olmalıdır. Bu eşdeğer, çimento içerisinde bulunan sodyum oksit (Na_2O) yüzdesiyle potasyum oksit (K_2O) yüzdesinin 0,658 ile çarpılıp toplanmasıyla bulunan değerdir.

% ($\% \text{Na}_2\text{O} + 0,658 (\% \text{K}_2\text{O})$) şeklinde hesaplanır.

5.4.5. Karışımdaki toplam alkali ve karışım suyundaki NaOH miktarı

Deney için hazırlanan harçtaki toplam alkali miktarı çimento miktarının %1,25 kadar olmalıdır. Bu miktar, karışımda 420 kg/m^3 çimento miktarı olduğu düşünülürse betonun toplam alkali içeriği $5,25 \text{ kg/m}^3$ olur. Çimentoda bulunan toplam alkali içeriği 0,9 Na_2O olduğundan dolayı betonun alkali seviyesinin istenilen seviyeye getirilebilmesi için karışım suyuna NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi katılır ve böylece çimentoda bulunan %0,9 Na_2O değeri %1,25 Na_2O değerine yükseltilmiş olur.

5.4.6. Karışım suyuna katılacak NaOH miktarı hesabı

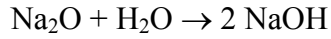
1 m^3 betondaki çimento miktarı = 420 kg

Betondaki alkali miktarı = $420 \text{ kg/m}^3 \times \%0,90 = 3,78 \text{ kg/m}^3$

Betonda belirlenmiş alkali miktarı = $420 \text{ kg/m}^3 \times \%1,25 = 5,25 \text{ kg/m}^3$

Betona eklenecek alkali miktarı = $5,25 \text{ kg/m}^3 - 3,78 \text{ kg/m}^3 = 1,47 \text{ kg/m}^3$

Beton karışımına eklenmesi gereken $1,47 \text{ kg/m}^3$ Na_2O miktarı için karışım suyuna eklenmesi gereken NaOH miktarı aşağıdaki kimyasal denklem yardımıyla hesaplanır.



Bileşimin molekül ağırlığı $\text{Na}_2\text{O} = 61,98$ $\text{NaOH} = 39,997$

Karışım suyuna eklenecek NaOH miktarı kimyasal denklem yardımıyla orantı kurularak;

$$1,47 \times 2 \times 39,997 / 61,98 = 1,898 \text{ kg/m}^3 \text{ bulunur.}$$

5.4.7. Karışımında kullanılacak su miktarı

Su/çimento oranı 0,42 ile 0,45 arasında olmalıdır. Bu oran karışımın kalıba yerleştirilmesi için yetersiz kalıyor ise oran arttırılabilir. Arttırılan oran deney raporunda belirtilmelidir. Karışımında kullanılan çimento miktarı 420 kg/m^3 olduğuna göre toplam su miktarı 176,4 – 189 lt arasında olmalıdır.

5.4.8. Kalıplara harç nasıl yerleştirilmesi kür edilmesi

Hazırlanan karışım $75 \times 75 \times 285$ mm ölçülerindeki 3 adet kalıba şişlenerek yerleştirilir. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında $23 \pm 1,7$ °C' de 24 saat bekletilir. Daha sonra harç çubuklarının boyları ölçülerek, alt bölgesinde su haznesi bulunan ve bu haznesi yarıya kadar su doldurulan bir kap içerisine konur. Bu kap içerisindeki su, örnekler ile temas etmeyecek şekilde yüksek bağıl nemi (%100) sağlamalıdır. Bu şekilde tasarlanmış kap içerisine konulan numuneler $37,8 \pm 1,7$ °C (100 ± 3 °F)'de sabit ısıdaki etüve yerleştirilir.

5.4.9. Harç çubuklarının boylarının ölçülmesi

Örneklerin boy ölçümleri alınmadan 16 saat önce saklama kapları kapalı bir şekilde $23 \pm 1,7$ °C ($73,4 \pm 3$ °F)'de kür odasına konarak soğumaya bırakılmalıdır. Bu işlemin ardından dijital komparatörle harç çubukları üzerindeki ölçümler ilk olarak 7. 28. 56. günlerde ve 3, 6, 9, 12 aylarda yapılır ve daha sonra gerekirse her 6 ayda bir uzunluk değişimi ölçülmektedir.

5.4.10. Sonuçların değerlendirilmesi

Birim boy değişim yüzdelerini belirlemede aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır; Harç çubuklarındaki genleşme bir yıl sonra % 0,04 veya daha fazla ise agregapotansiyel olarak zararlıdır sonucuna varılır. Bu deney metodu ince agregalar için iyi sonuçlar vermeyebilir. Bundan dolayı deney sonucu reaktif çıkmayan ince agregalar özellikle saha betonlarında reaktiflik gösterebilir.

5.5. Agregaların Petrografik Analizi ASTM C 295

Petrografik inceleme, minerallerin cins ve yüzdelerine 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 reaktif silisin saptanmasında faydalıdır. Agregaların yanı sıra, zarar gören beton ve harç numunelerden alınan ince kesitler üzerindeki çalışmalar sonucu, meydana gelen etkinin ASR sebebiyle olup olmadığını tanımlayabilmek mümkündür. Petrografik incelemeyi yapan kişinin bu konudaki deneyimi önemli bir faktördür. ASR üzerinde kimyasal metotlar, beton veya harç numuneleri ile testler uygulamadan önce bu analizin uygulanması zaman kazandırmak ve uygulanacak metodun agregat tipine göre seçimini kolaylaştırmak bakımından önemlidir. [22].

5.6. Jel Pat Metodu

Bu metotta agregat örneği koyu kıvamda çimento hamurunun içine gömülür ve yüzeyi bilerek agregat parçalarının açığa çıkması sağlanır. Alkalin çözeltiye batırılan hamur, stereoskopik mikroskop ile periyodik aralıklarla incelenir. Deney, 20 C derece sıcaklıkta veya yükseltilmiş sıcaklıklarda uygulanabilmektedir. Agregada opal silis içeren bileşik olması halinde birkaç gün içinde jel oluşumu gözlemlenebilir. Bu metod, petrografik mikroskop altında incelenemeyecek kadar ince dağılımlı reaktif silisin ortaya çıkarılmasına imkan verir. Bu deney sonucunda reaktif olabileceği izlenimi veren agregat hakkında yeterli saha performansı olmadığı takdirde beton veya harç prizma yöntemlerinden birinin uygulanması önerilmektedir [22].

5.7. 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 alkaline ortamdaki kimyasal kararsızlığını ortaya koymakta fakat çeşitli çimento kombinasyonlarıyla birlikte davranışını ve genleşme yaratıp yaratmayacağını belirleyememektedir. Ayrıca, 1 mm boyutunun altındaki agreganın potansiyel reaktiviteye katkısını göz önüne almamaktadır [22].

5.8. Ozmotik Hücre Metodu

Ozmotik hücre, agrega parçacığı ile çimento ara yüzeyinin modellenmesidir. Ozmotik hücre, her biri 1N 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 gözlenmesi, 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 [22].

5.9. Otoklav Metotları

Bazı araştırmacılar, harç veya beton numuneleri yüksek sıcaklık ve basınç altında alkali çözeltilisinde veya suda kaynatarak yada 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 [22] .

Bu yöntemler dışında pek çok farklı araştırma metodu mevcuttur. Kimyasal büzülme metodu, Duggan genişleme metodu vb. Önemli olan nokta; agregalar değerlendirilirken, uygulanan deney yöntemleri öncelikle agreganın saha performansı verileriyle, veri yoksa diğer deney metotlarıyla karşılaştırılmalı 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 [22].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Deneysel Çalışma Yapılan Bölgenin Özellikleri

Sakarya ili, Ülkemizin kuzey batısında, Marmara Bölgesinin kuzeydoğu ucunda yer almaktadır. Doğudan Bolu, batıdan Kocaeli ve Bursa, güneyden Bilecik ve kuzeyden de Karadeniz ile çevrelenmiştir.

Sakarya ili, Türkiye'nin coğrafik bölünmesinde Marmara Bölgesinin doğusunda yer alır. Sakarya meteoroloji istasyonunun enlem derecesi $40^{\circ}41'$, boylam derecesi $30^{\circ}26'$ dir.

Yüzölçümü 5.015 km^2 gerçek alan, 4.821 km^2 izdüşüm alanı olup rakımı 31 metredir. İl yüzey şekilleri, iklim ve doğal bitki örtüsü bakımından birbirinden farklı dört kesimden oluşmaktadır.

İlimizdeki agregaların en önemli kaynağı olan Sakarya Nehri Eskişehir'in Çifteler ilçesi yakınlarından başlar ve uzunluğu 824 km 'dir. İlimiz sınırları içindeki uzunluğu $159,5 \text{ km}$ 'dir. Adapazarı şehir merkezinin 4 km doğusundan geçen Sakarya Nehri, ovanın kuzey kesiminde sağdan Mudurnu çayını, daha ileride tepelik bir alanda soldan, Sapanca Göl'ünün fazla suyunu boşaltan Çark suyunu alır ve Karasu ilçe merkezi Yenimahalle semtinde Karadeniz'e dökülür.

İlimizdeki diğer akarsular Çark Suyu, Dinsiz Çayı, Mudurnu Çayı, Darıçayır Deresi, Maden Deresi, Melen Deresi, Karaçay Deresi, Akçay Deresi, Yırtmaç Deresi, Değirmendere ve Sapanca Dereleridir [37].

Maden kanununda yapılan değişiklikten sonra 1 a grubu olarak anılan taş, kum ve stabilize yönünden ilimiz oldukça zengindir. Ruhsatlı olarak çalışan ocakların durum Tablo 6.1.' deki gibidir:

Tablo 6.1. Sakarya ili ruhsatlı ocak alanları

Tapulu arazide	Taş ocağı	7500 m ²
Hazine arazisinde	Taş ocağı	72140 m ²
Tapulu arazide	Kum ocağı	81658 m ²
Hazine arazisinde	Kum ocağı	85188 m ²
Hazine arazisinde	Stabilize Ocağı	27361 m ²
Kamu kurumları	Taş ocağı	1634955 m ²
Kamu kurumları	Stabilize Ocağı	178171 m ²
Kamu kurumları	Kum ocağı	11000 m ²

Toplam 2.097.973 m² alanda ruhsatlı ocak faaliyetleri devam etmekte, yeni maden kanununa göre intibak işlemleri, güncelleme ve yeni ocaklar için ruhsatlandırma çalışma süreci ve kurumların ocak denetimleri devam etmektedir.

2005 yılından bu yana ilimizde ruhsatı verilen ocaklar Tablo daki gibidir [38].

6.2. Deneyin Amacı ve Kullanılan Deney yöntemleri

Bu araştırmanın amacı Sakarya bölgesindeki bazı agrega taş ocaklarından alınan kırma taş ve kırma kum agrega örneklerinin alkali silika reaktivitesine ilişkin özelliklerini belirlemektir. Bu ocaklardan alınan agrega numuneleri üzerinde;

- ASTM C289 kimyasal metot,
- ASTM C1260 Hızlandırılmış yöntem,
- ASTM C227 uzun süreli yöntem,
- ASTM C1293 beton prizma,

deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre agregaların reaktif olup olmadıklarına karar verilmiştir.

6.2.1. Kimyasal metot (ASTM C289)

Kimyasal metoda göre yapılan deneyde, farklı bölgelerden alınan 6 ayrı ocak numunesi kimyasal analize tabi tutulmuştur.

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 ml. Saf suya 40 gr sodyum hidroksit konularak hazırlanır bu çözeltiliye 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 ± 1 °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.

6.2.2. Hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi (ASTM C1260)

Bu deney metodunda her bir ocak numunesi için 4'er adet numune üretilmiştir. Numuneler üretilirken aşağıdaki karışım oranları kullanılmıştır;

Tablo 6.2. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi için karışım oranları

Malzeme		Ağırlık (kg)	Hacim (m ³)
Agrega	Ağırlıkça %		
4,75-2,36 (No 4)	10%	165,633	63,705
2,36-1,18 (No 8)	25%	414,076	159,26
1,18-0,6 (No 16)	25%	414,076	159,26
0,6-0,3 (No 30)	25%	414,076	159,26
0,3-0,15 (No.50)	15%	248,43	95,55
Çimento		444	140,95
Su		222	222

Harç çubuklarının üretiminde, 2 adet örnek dökümüne imkan veren 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplar kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Harç çubuğu üretiminde kullanılan 25x25x285 mm boyutlarında kalıplar

Kalıplara yerleştirilen harç şişlenerek sıkıştırılmıştır. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında $23 \pm 1,7$ °C' de 24 saat bekletilmiştir.

Harç çubukları saf su içerisinde konarak $80 \pm 2,0$ °C sabit ısıdaki tankta 24 saat bekletildikten sonra ilk boy ölçümleri alınmıştır. 1 N NaOH çözeltisi, 900 ml. Saf suya 40 gr sodyum hidroksit konularak hazırlanmış ve hazırlanan bu sodyum hidroksit çözeltisi 80 °C'de sabit ısıda tutularak, harç çubukları bu çözelti içerisinde konmuştur.



Şekil 6.2. Kür Tankı

Bu işlemden sonra devam eden 3, 7, 14. günlerde boy ölçümleri alınarak boy değişim yüzdeleri hesaplanmıştır

6.2.3. Uzun süreli harç çubuğu yöntemi (ASTM C227)

Bu deney metodunda her bir ocak numunesi için 4'er adet numune üretilmiştir. Numuneler üretilirken aşağıdaki karışım oranları kullanılmıştır;

Tablo 6.3. Uzun süreli harç çubuğu harç çubuğu deneyi için karışım oranları

Malzeme		Ağırlık (kg)	Hacim (m ³)
Agrega	Ağırlıkça %		
4,75-2,36 (No 4)	10%	165,633	63,705
2,36-1,18 (No 8)	25%	414,076	159,26
1,18-0,6 (No 16)	25%	414,076	159,26
0,6-0,3 (No 30)	25%	414,076	159,26
0,3-0,15 (No.50)	15%	248,43	95,55
Çimento		444	140,95
Su		222	222

Hazırlanan harç karışımları Şekil 6.1.' de görülen kalıplara ölçüm pimleri takılarak ve şişlenerek yerleştirilmiştir.

24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak numaralandırılmıştır. Daha sonra 0,001 mm hassasiyetli dijital komparatör saati ile numune boyları ölçülmüştür.



Şekil 6.3. Dijital komparatör saati

Boyları ölçülen numuneler, $37,8 \pm 1,7$ C sabit ısıdaki örnekler ile temas etmeyecek şekilde yarıya kadar su doldurulan bir kür tankına yerleştirilmiştir. (Şekil 5.4.)



Şekil 6.4. Kür Tankları

Bu işlemden sonra numunelerin dijital komparatör saati ile 14. gün, sonra 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12. aylarda boy ölçümleri alınarak boy değişim yüzdeleri hesaplanmıştır.

6.2.4. Beton prizma metodu (ASTM C 1293)

Bu metotta Tablo 5.3.'de verilen karışım oranlarına göre 75x75x285 mm boyutlarındaki harç çubuk numuneleri her bir agrega tipi için 3'er adet hazırlanmıştır.

Tablo 6.4. Beton Prizma deneyi için 1 m³ deki karışım miktarları

Malzeme		Ağırlık (kg)
Agrega	Ağırlıkça %	
19-12,5	33%	333.33
12,5-9,5	33%	333.33
9,5-4,75	33%	333.33
Çimento		420
Su		189
NaOH		1,898

Hazırlanan harç karışımları Şekil 5.6.' da görülen kalıplara ölçüm pimleri takılarak ve şişlenerek yerleştirilmiştir.

24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak numaralandırılmıştır. Daha sonra 0,001 mm hassasiyetli dijital komparatör saati ile numune boyları ölçülmüştür. (Şekil 6.3.)

Boyları ölçülen numuneler, $37,8 \pm 1,7$ C sabit ısıdaki örnekler ile temas etmeyecek şekilde su doldurulan bir kür tankına yerleştirilmiştir.



Şekil 6.5. Beton Prizma Kür Tankı

Daha sonra numunelerin 7., 28., 56. günlerde ve 3, 6, 9, 12. aylarda ölçümleri alınarak boy değişim yüzdeleri hesaplanmıştır.

6.3. Deneyde Kullanılan Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Standard TS EN 197-1 CEM I 42.5 R

Tablo 6.5. çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

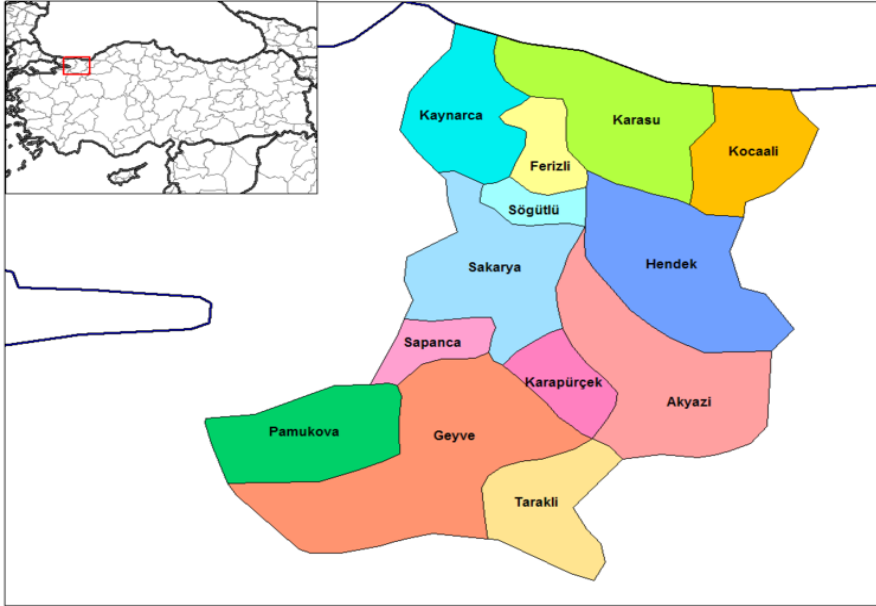
Fiziksel Özellikleri			
	Çimento	Standard	Birim
Priz Başlangıcı	156	min. 60	dakika
Priz Sonu	194	-	dakika
Özgül Ağırlık	3,21	-	g/cm ³
Hacim Genleşmesi	1	maks. 10	cm
Özgül Yüzey (Blaine)	2960	-	cm ² /g
Litre Ağırlığı	1020	-	g/l
2 Günlük Dayanım	25	min. 20	N/mm ²
28 Günlük Dayanım	57	min./maks. 42.5/62.5	N/mm ²

Kimyasal Özellikleri			
	Çimento	Standard	Birim
SO ₃	2.4	maks. 4	%
MgO	1.0	-	%
Kızdırma Kaybı	0.9	maks. 5	%
Çözünmeyen Kalıntı	0.3	maks. 5	%
Cl-	0.01>	maks. 0.1	%
Toplam Alkali	0.53	-	%
Na ₂ O + 0.658 K ₂ O			
Serbest Kireç	1.0	-	%

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

7.1. Kimyasal Metot (ASTM C289)

Deneye tabii tutulan numuneler ve bölgeleri aşağıda tablo 7.2. de verilmiştir.



Şekil 7.1. Sakarya il haritası

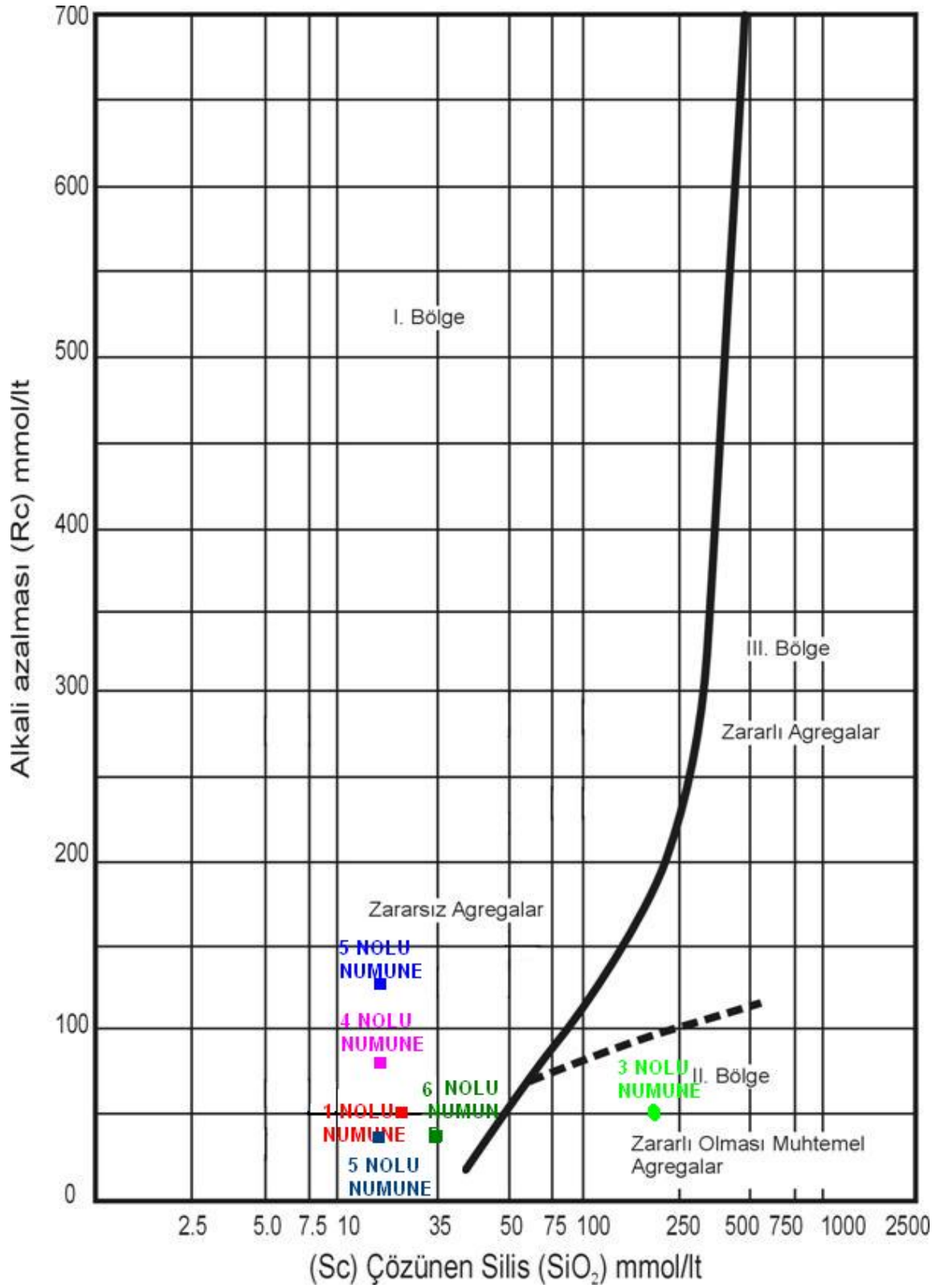
Tablo 7.1. Numune cins ve bölge isimleri

NUMUNE NO	BÖLGE İSİMLERİ	AGREGA CİNSİ
1	PAMUKOVA	KIRMA KUM
2	GEYVE	KIRMA KUM
3	ÖZTAŞ PAMUKOVA	KIRMA KUM
4	AKPINAR TAŞ OCAĞI GEYVE ÖRENCİK	KIRMA KUM
5	FERİZLİ	KIRMA KUM
6	TAŞKISIĞI	KIRMA KUM

Analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 7.2. ve Şekil 7.1. de gösterilmiştir

Tablo 7.2. Kimyasal analiz sonuçları

Agrega ocakları	R _c Alkali Azalması (mmol/lit)	S _c Çözünen Silika (mmol/lit)
1-PAMUKOVA	50	30
2-GEYVE	40	20
3- ÖZTAŞ PAMUKOVA	50	210
4- AKPINAR TAŞOCAĞI GEYVE ÖRENCİK	75	25
5- FERİZLİ	125	20
6- TAŞKISIĞI	40	35



Şekil 7.2. Çözünen silika ve alkalinite de azalma değerlerine göre, altı farklı agrega ocağına ait örneklerin, ASTM C 289 grafiği kullanılarak zararlı-zararsız agrega olarak sınıflanması

7.2. Uzun Süreli Harç Çubuğu Yöntemi ASTM C227

Deneye tabi tutulan numuneler ve bölgeleri aşağıda tablo 7.2. de verilmiştir.

Tablo 7.3. Numune ad ve bölgeleri

NUMUNE NO	BÖLGE İSİMLERİ	AGREGA CİNSİ
1	PAMUKOVA	KIRMA KUM
2	GEYVE	KIRMA KUM
3	ÖZTAŞ PAMUKOVA	KIRMA KUM
4	AKPINAR TAŞ OCAĞI GEYVE ÖRENCİK	KIRMA KUM
5	FERİZLİ	KIRMA KUM
6	TAŞKISIĞI	KIRMA KUM

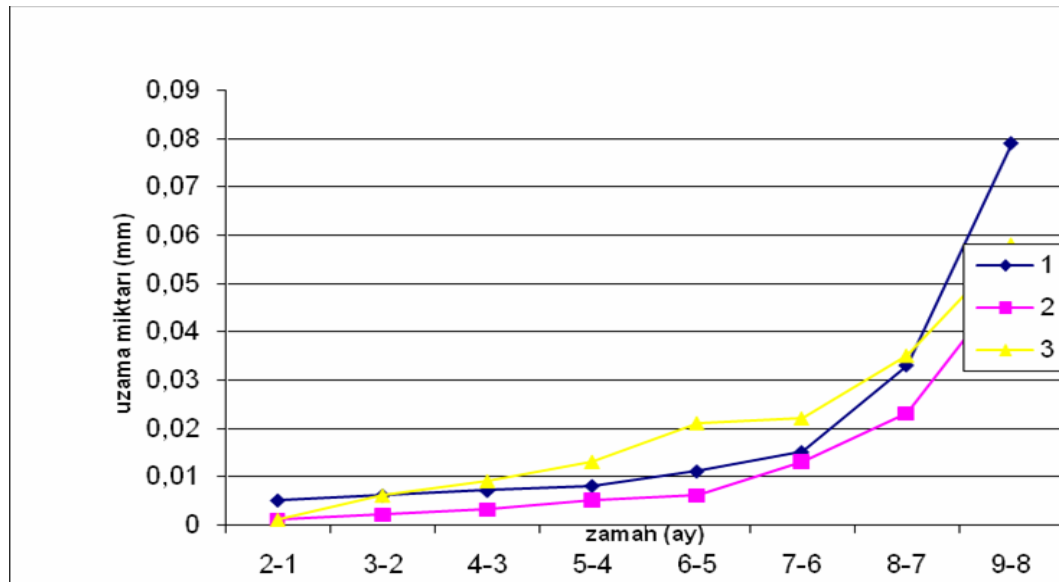
Tablo 7.4. Uzun Süreli Harç Çubuk Deneyleri (ASTM C227) Ölçüm Sonuçları

NUMUNE NO	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM	6. ÖLÇÜM	7. ÖLÇÜM	8. ÖLÇÜM	9. ÖLÇÜM
TARİH	12.08.2006	26.08.2006	12.09.2006	12.10.2006	12.11.2006	12.12.2006	12.02.2006	12.05.2007	12.08.2007
1A	2,422	2,424	2,428	2,430	2,435	2,438	2,450	2,456	2,467
1B	1,907	1,912	1,922	1,925	1,930	1,943	1,962	2,022	2,181
1C	2,709	2,711	2,712	2,718	2,720	2,735	2,754	2,798	2,835
1D	2,003	2,016	2,025	2,042	2,062	2,075	2,085	2,107	2,217
2A	2,673	2,675	2,678	2,683	2,685	2,695	2,705	2,745	2,833
2B	2,097	2,098	2,099	2,100	2,108	2,110	2,125	2,130	2,143
3A	2,809	2,812	2,817	2,821	2,827	2,835	2,849	2,885	2,922
3B	1,808	1,803	1,812	1,824	1,835	1,852	1,873	1,893	1,929
3C	2,280	2,286	2,295	2,301	2,315	2,345	2,365	2,405	2,508
3D	2,229	2,230	2,232	2,245	2,265	2,294	2,325	2,368	2,424
4A	2,863	2,864	2,865	2,867	2,870	2,874	2,892	2,901	2,920
4B	3,369	3,370	3,372	3,385	3,394	3,401	3,414	3,427	3,452
4C	2,849	2,850	2,852	2,853	2,855	2,867	2,884	2,907	2,940
4D	2,573	2,574	2,576	2,580	2,586	2,606	2,618	2,641	2,688
TARİH	18.08.2006	01.09.2006	19.09.2006	18.10.2006	18.11.2006	18.12.2006	18.02.2007	18.05.2007	18.08.2007
5A	2,816	2,860	2,866	2,886	2,888	2,889	2,892	2,910	2,928
5B	2,801	2,815	2,821	2,835	2,842	2,846	2,857	2,861	2,883
5C	2,083	2,098	2,099	2,100	2,112	2,162	2,171	2,185	2,195
6A	3,102	3,118	3,122	3,137	3,141	3,198	3,238	3,251	3,268
6B	2,338	2,340	2,355	2,367	2,382	2,397	2,412	2,425	2,458
6C	2,747	2,758	2,764	2,775	2,782	2,811	2,818	2,833	2,876
6D	1,168	1,171	1,234	1,235	1,236	1,260	1,272	1,285	1,292

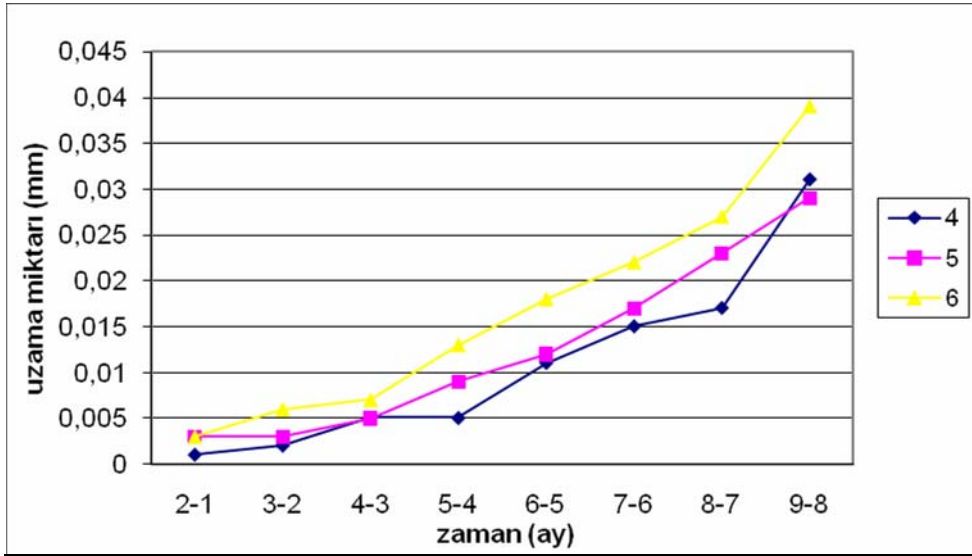
Tablo 7.5. Harç çubukları boy uzamaları (mm)

NUM. NO	2. ÖLÇÜM -1 .ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM -2 .ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM -3 .ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM -4 .ÖLÇÜM	6. ÖLÇÜM -5 .ÖLÇÜM	7. ÖLÇÜM -6 .ÖLÇÜM	8. ÖLÇÜM -7 .ÖLÇÜM	9. ÖLÇÜM -8 .ÖLÇÜM	9. ÖLÇÜM -1 .ÖLÇÜM
1	0,005	0,006	0,007	0,008	0,011	0,015	0,033	0,079	0,165
2	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	0,013	0,023	0,051	0,103
3	0,001	0,006	0,009	0,013	0,021	0,022	0,035	0,058	0,164
4	0,001	0,002	0,005	0,005	0,011	0,015	0,017	0,031	0,086
5	0,003	0,003	0,005	0,009	0,012	0,017	0,023	0,029	0,102
6	0,003	0,006	0,007	0,013	0,018	0,022	0,027	0,039	0,135

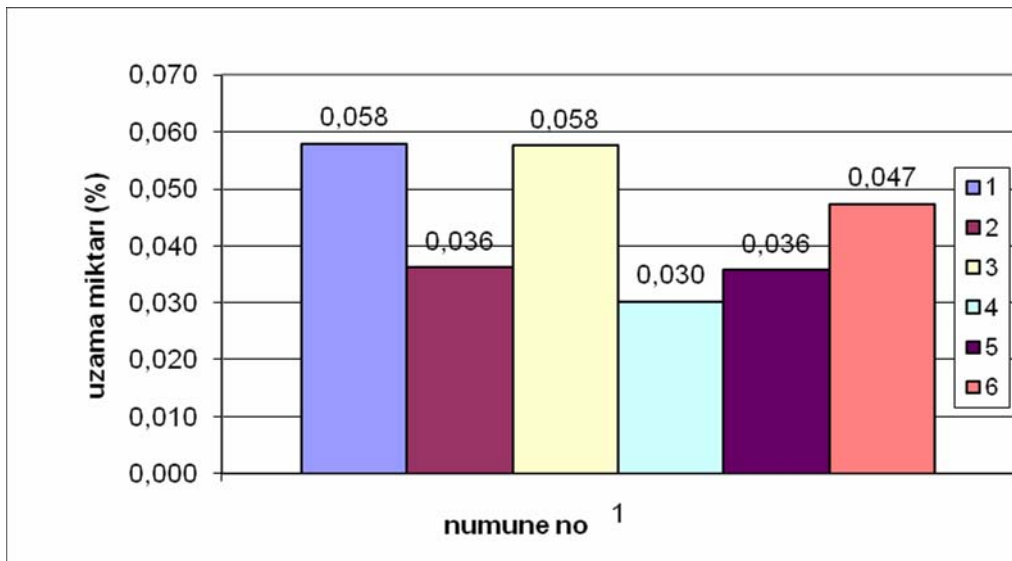
Bu değerlerden aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 7.3. 1,2,3 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri



Şekil 7.4. 4,5,6 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri



Şekil 7.5. Uzun süreli harç çubuğu metoduna göre numunelerin uzama yüzdeleri

Numunelerin uzama yüzdeleri aşağıdaki formülle bulunur:

$$\text{Uzama \%} = [\text{Son Ölçüm (mm)} - \text{İlk Ölçüm (mm)}] \times 100/285$$

7.3. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi (ASTM C1260)

Deneye tabi tutulan numuneler ve bölgeleri aşağıda tablo 7.5. de verilmiştir.

Tablo 7.6. Numune ad ve bölgeleri

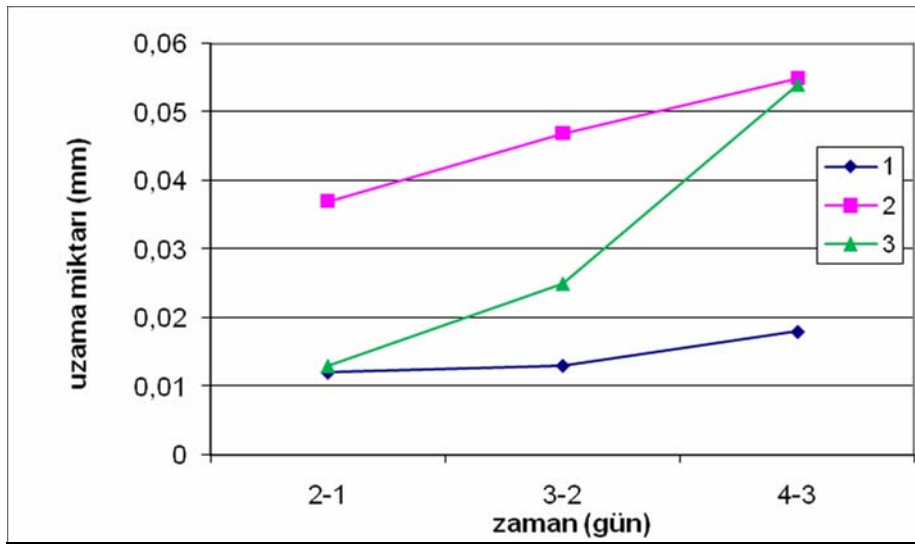
NUMUNE NO	BÖLGE İSİMLERİ	AGREGA CİNSİ
1	PAMUKOVA	KIRMA KUM
2	GEYVE	KIRMA KUM
3	ÖZTAŞ PAMUKOVA	KIRMA KUM
4	AKPINAR TAŞ OCAĞI GEYVE ÖRENCİK	KIRMA KUM
5	FERİZLİ	KIRMA KUM
6	TAŞKISIĞI	KIRMA KUM

Tablo 7.7. Hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi (ASTM C1260) ölçümleri

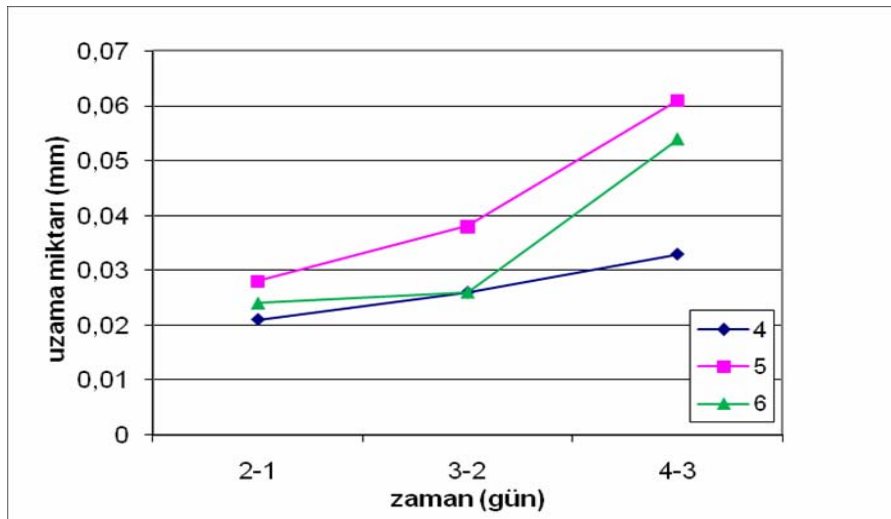
NUMUNE NO	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM
TARİH	14.08.2006	17.08.2006	21.08.2006	28.08.2006
1E	5,778	5,747	5,901	5,822
1F	5,862	6,140	5,918	5,895
1G	6,193	6,158	6,215	6,220
1H	5,459	5,429	5,522	5,526
2E	5,987	6,025	6,103	6,172
2F	6,250	6,285	6,302	6,343
3E	5,859	5,850	5,878	5,918
3F	6,571	6,585	6,602	6,647
3G	5,123	5,162	5,185	5,275
3H	6,054	6,062	6,095	6,137
4E	6,326	6,346	6,394	6,421
4F	4,951	4,959	4,963	4,997
4G	4,918	4,953	4,978	5,007
4H	4,894	4,914	4,941	4,982
5E	6,139	6,164	6,175	6,225
5F	6,479	6,525	6,598	6,675
5G	5,381	5,388	5,406	5,468
5H	4,826	4,860	4,911	4,967
6E	5,543	5,582	5,622	5,692
6F	6,452	6,487	6,540	6,622
6G	4,710	4,722	4,731	4,782
6E	7,506	7,514	7,518	7,531

Tablo 7.8. Harç çubukları boy uzamaları (mm)

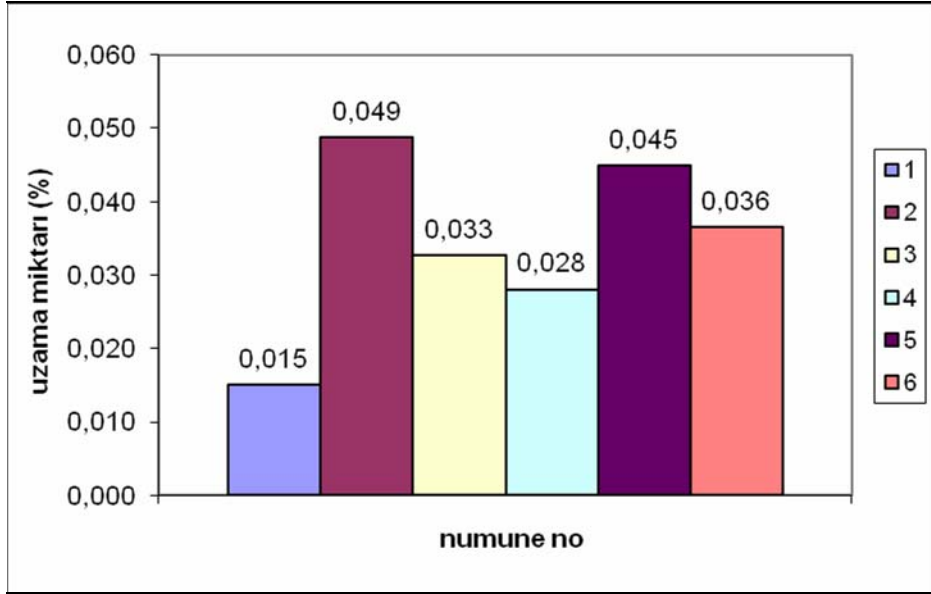
NUMUNE NO	2. ÖLÇÜM - 1. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM - 2. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM - 3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM - 1. ÖLÇÜM
1	0,012	0,013	0,018	0,043
2	0,037	0,047	0,055	0,139
3	0,013	0,025	0,054	0,093
4	0,021	0,026	0,033	0,080
5	0,028	0,038	0,061	0,128
6	0,024	0,026	0,054	0,104



Şekil 7.6. 1,2,3 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri



Şekil 7.7. 4,5,6 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri



Şekil 7.8. Hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre numunelerin uzama yüzdeleri

7.4. Beton Prizma Metodu (ASTM C1293)

Deneye tabi tutulan numuneler ve bölgeleri aşağıda tablo 7.8. de verilmiştir

Tablo 7.9. Numune Bölge ve adları

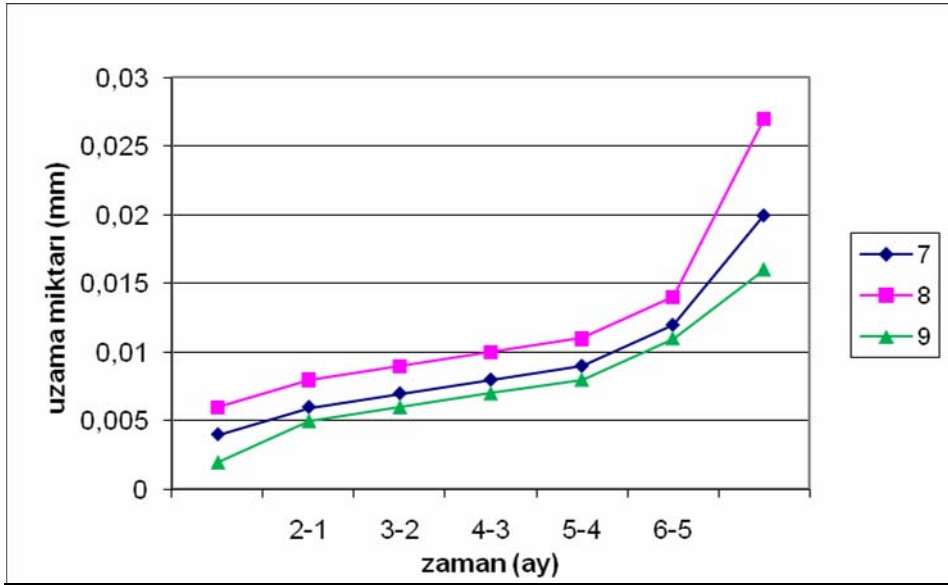
BÖLGE NO	BÖLGE İSİMLERİ	AGREGA CİNSİ
7	İKİZCE GENÇ OSMANLI	MICIR
8	GEYVE	MICIR
9	PAMUKOVA	MICIR
10	ÖZTAŞ PAMUKOVA	MICIR
11	AKPINAR TAŞOCAĞI GEYVE ÖRENCİK	MICIR
12	DÜNYALAR TAŞ OCAĞI TAŞKISIĞI	MICIR

Tablo 7.10. Beton prizma metodu numunelerinin ölçümü (ASTM C1293)

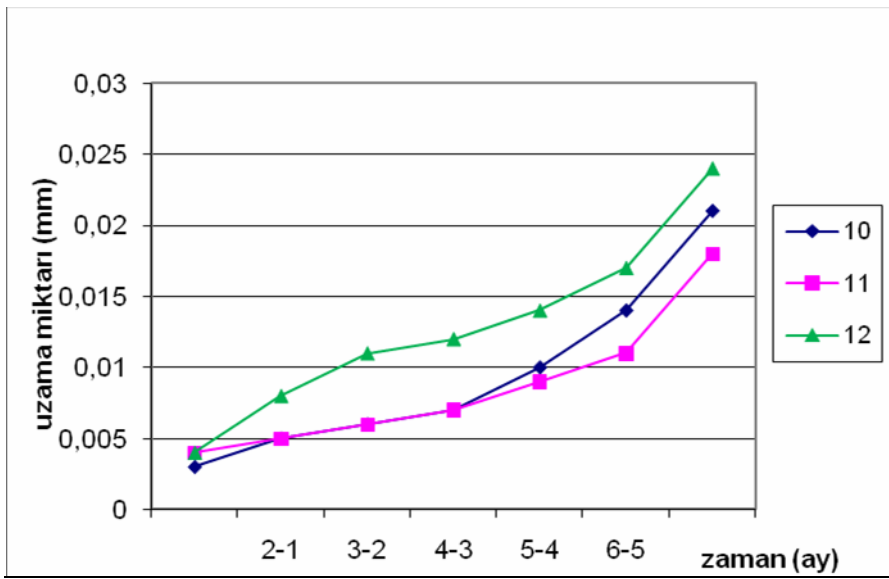
NUMUNE NO	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM	6. ÖLÇÜM	7. ÖLÇÜM	8. ÖLÇÜM
TARİH	12.08.2006	19.08.2006	09.08.2006	07.10.2006	12.11.2006	12.02.2007	12.05.2007	12.08.2007
7A	1,701	1,704	1,711	1,718	1,725	1,742	1,759	1,774
7B	1,991	1,992	1,994	1,994	2,000	2,010	2,021	2,065
7C	1,86	1,863	1,865	1,871	1,877	1,880	1,884	1,913
8A	2,064	2,066	2,069	2,074	2,079	2,094	2,107	2,129
8B	2,23	2,238	2,252	2,265	2,281	2,293	2,310	2,350
8C	2,9	2,908	2,915	2,925	2,935	2,941	2,952	2,971
9A	1,546	1,548	1,556	1,566	1,574	1,578	1,587	1,605
9B	1,659	1,662	1,663	1,665	1,671	1,684	1,697	1,711
10A	1,82	1,823	1,828	1,831	1,892	1,925	1,871	1,901
10B	2,151	2,156	2,158	2,160	1,842	1,853	2,183	2,201
10C	2,643	2,645	2,652	2,665	2,164	2,174	2,695	2,711
11A	2,65	2,654	2,660	2,665	2,671	2,682	2,692	2,709
11B	2,8	2,804	2,810	2,814	2,821	2,830	2,844	2,862
11C	2,51	2,514	2,518	2,527	2,534	2,542	2,552	2,570
12A	4,46	4,465	4,471	4,492	4,510	4,531	4,554	4,589
12B	2,51	2,511	2,527	2,537	2,545	2,551	2,572	2,592
12C	2,93	2,935	2,938	2,941	2,952	2,966	2,973	2,991

Tablo 7.11. Numunelerin Boy Uzamaları (mm)

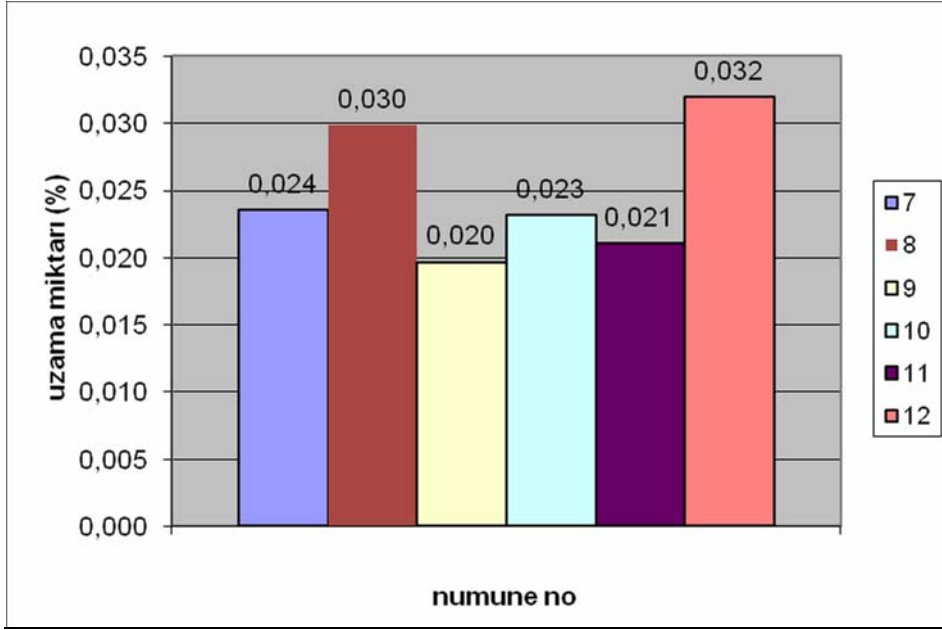
NUMUNE NO	2. ÖLÇÜM -1 .ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM -2 .ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM -3 .ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM -4 .ÖLÇÜM	6. ÖLÇÜM -5 .ÖLÇÜM	7. ÖLÇÜM -6 .ÖLÇÜM	8. ÖLÇÜM -7 .ÖLÇÜM	8. ÖLÇÜM -1 .ÖLÇÜM
7	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,012	0,020	0,067
8	0,006	0,008	0,009	0,010	0,011	0,014	0,027	0,085
9	0,002	0,005	0,006	0,007	0,008	0,011	0,016	0,056
10	0,003	0,005	0,006	0,007	0,010	0,014	0,021	0,066
11	0,004	0,005	0,006	0,007	0,009	0,011	0,018	0,060
12	0,004	0,008	0,011	0,012	0,014	0,017	0,024	0,091



Şekil 7.9. 7,8,9 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri



Şekil 7.10. 10,11,12 nolu numunelerin zamana bağlı boy uzama grafikleri



Şekil 7.11. Beton prizma deneyi numunelerinin uzama yüzdeleri

7.5. Sonuçlar ve öneriler

Sakarya ilinde beton üretimi için agrega temin edilen Geyve, Pamukova, Akpınar Ferizli, taşkısığı, ikizce agrega örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analiz, harç çubuğu ve hızlandırılmış harç çubuğu, beton prizma alkali silika reaksiyonu deneylerinden elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmelere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

7.5.1. Kimyasal analiz' e göre sonuçlar

Agrega örneklerinin kimyasal analizinde 1 no'lu Pamukova örneklerinde harcanan NAOH: 50 mmol/L, Çözünen SiO₂ :50 mmol/L 2 no'lu Geyve örneklerine harcanan NAOH : 40 mmol/L , Çözünen SiO₂ :20 mmol/L 3 no'lu öztaş Pamukova örneklerinde harcanan NAOH : 50 mmol/L , Çözünen SiO₂ :210 mmol/L3, 4 no'lu Akpınar taş ocağı Geyve örneklerinde harcanan NAOH : 75 mmol/L , Çözünen SiO₂ :25 mmol/L3, 5 no'lu Ferizli örneklerinde harcanan NAOH : 125 mmol/L , Çözünen SiO₂ : 20 mmol/L3 6 no' lu taşkısığı örneklerinde harcanan NAOH : 40mmol/L , Çözünen SiO₂ : 35 mmol/L3 olduğu analizler sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre 1,2,4,5,6, numaralı numunelerin ASTM C-289 “Test Method for

Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) standardına göre alkali silika reaksiyonu bakımından “Zararsız Agregalar” sınıfında olduğu, 3 numaralı numunenin ise ASTM C-289 “Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) standardına göre alkali agrega reaksiyonu bakımından “zararlı olması muhtemel ” sınıfında olduğu görülmüştür.

ASTM C-289 “Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) deneyi sonucunda; 1 no’lu Pamukova, 2 no’lu Geyve, 4 no’lu Akpınar taş ocağı Geyve, 5 no’lu Ferizli, 6 no’ lu taşkısığı agrega ocaklarına ait örneklerin tamamı alkali agrega reaktivitesi bakımından standartlarda belirtilen “Zararsız agregalar”ın tanımlandığı I. Bölge içerisinde yer aldığı, 3 numaralı numunenin ise ASTM C-289 “Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method) standardına göre alkali agrega reaksiyonu bakımından “zararlı olması muhtemel ” sınıfında olduğu, görülmüştür.

Kimyasal metoda göre “zararlı olması muhtemel” sonucu elde edilen, hızlandırılmış ve kısa süreli metotlara göre zararsız çıkan 3 no’lu Öztaş Pamukova agrega ocağından alınan agregalar yoğun alkali içeren ortamlarda kullanılmadan önce, ortamın alkalitesine göre test edilmeli ve zararsız olduğu görüldüğü takdirde kullanılmalıdır. Şayet kullanılmak istenirse beton içerisindeki alkali miktarı uçucu kül, silis dumanı, puzolan katkılı çimentolar kullanılarak azaltılmalıdır.

7.5.2. Uzun süreli harç çubuğu metoduna göre sonuçlar

Uzun süreli harç çubuğu metodunda ortama boy değişimlerinin 1 no’lu Pamukova % 0,058, 2 no’lu Geyve % 0,036, 3 no’lu öztaş % 0,058, 4 no’lu Akpınar taş ocağı Geyve % 0,030, 5 no’lu Ferizli %0,036, 6 no’ lu taşkısığı % 0,047 olduğu görülmüştür.

1 no’lu Pamukova, 2 no’lu geyve, 3 no’lu öztaş pamukova, 4 no’lu Akpınar taş ocağı Geyve, 5 no’lu Ferizli, 6 no’ lu taşkısığı agrega ocaklarına ait örneklerde alkali agrega reaktivitesinden kaynaklanan genleşme, % 0,1’lik genleşme sınırının

altında kaldığı için agregaların alkali silika reaktivitesi açısından zararsız olduğu görülmüştür.

7.5.3. Hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre sonuçlar

Hızlandırılmış harç çubuğu metodunda ortalama boy değişimlerinde 1 no'lu Pamukova % 0,015, 2 no'lu Geyve % 0,049, 3 no'lu öztaş % 0,033, 4 no'lu Akpınar taş ocağı Geyve % 0,028, 5 no'lu Ferizli %0,045, 6 no' lu taşkısığı %0,036 değerleri elde edilmiştir.

Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonucunda; 1 no'lu Pamukova 2 no'lu Geyve , 3 no'lu öztaş, 4 no'lu Akpınar taş ocağı Geyve, 5 no'lu Ferizli, 6 no' lu taşkısığı agrega ocaklarına ait örneklerde alkali agrega reaktivitesinden kaynaklanan genleşme, % 0,1'lik genleşme sınırının altında kaldığı için agregaların alkali silika reaktivitesi açısından zararsız olduğu görülmüştür.

7.5.4. Beton prizma metoduna göre sonuçlar

Beton prizma metodunda; 7 no'lu ikizce genç Osmanlı %0,024, 8 no'lu Geyve %0,030, 9 no'lu Pamukova %0,032, 10 no'lu öztaş Pamukova %0,036, 11 no'lu Akpınar taşocağı Geyve %0,035, 12 no' lu taşkısığı %0,032 değerleri elde edilmiştir.

7 no'lu ikizce genç osmanlı 8 no'lu Geyve, 9 no'lu Pamukova, 10 no'lu öztaş pamukova, 11 no'lu Akpınar taşocağı Geyve, 12 no' lu taşkısığı agrega ocaklarına ait örneklerde alkali agrega reaktivitesinden kaynaklanan genleşme, % 0,04'lük genleşme sınırının altında kaldığı için agregaların alkali silika reaktivitesi açısından zararsız olduğu görülmüştür.

Tablo 7.12. Deney metotlarına göre sonuçlar

NUMUNE NO	KİMYASAL METOT	HIZLANDIRILMIŞ METOT	UZUN SÜRELİ METOT	BETON PRİZMA METOTDU
1	Zararsız	0,015<0,1 zararsız	0,058<0,1 zararsız	-
2	Zararsız	0,049<0,1 zararsız	0,036<0,1 zararsız	-
3	Zararsız olması muhtemel	0,033<0,1 zararsız	0,058<0,1 zararsız	-
4	Zararsız	0,028<0,1 zararsız	0,030<0,1 zararsız	-
5	Zararsız	0,045<0,1 zararsız	0,036<0,1 zararsız	-
6	Zararsız	0,036<0,1 zararsız	0,047<0,1 zararsız	-
7	-	-	-	0,024<0,04 zararsız
8	-	-	-	0,030<0,04 zararsız
9	-	-	-	0,032<0,04 zararsız
10	-	-	-	0,036<0,04 zararsız
11	-	-	-	0,035<0,04 zararsız
12	-	-	-	0,032<0,04 zararsız

Sakarya ilinde beton yapımında agrega temin edilen numune alınan tüm ocakların (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 numaralı ocaklar) yapılan deneyler ve değerlendirmeler sonucu alkali agrega reaktivitesi açısından sakıncalı olmadığı görülmüştür.

Kimyasal metoda göre “zararlı olması muhtemel” sonucu elde edilen, hızlandırılmış ve kısa süreli metotlara göre zararsız çıkan 3 no’lu Öztaş Pamukova agrega ocağından alınan agregalar yoğun alkali içeren ortamlarda kullanılmadan önce, ortamın alkalitesine göre test edilmeli ve zararsız olduğu görüldüğü takdirde kullanılmalıdır. Şayet kullanılmak istenirse beton içerisindeki alkali miktarı uçucu kül, silis dumanı, puzolan katkılı çimentolar kullanılarak azaltılmalıdır.

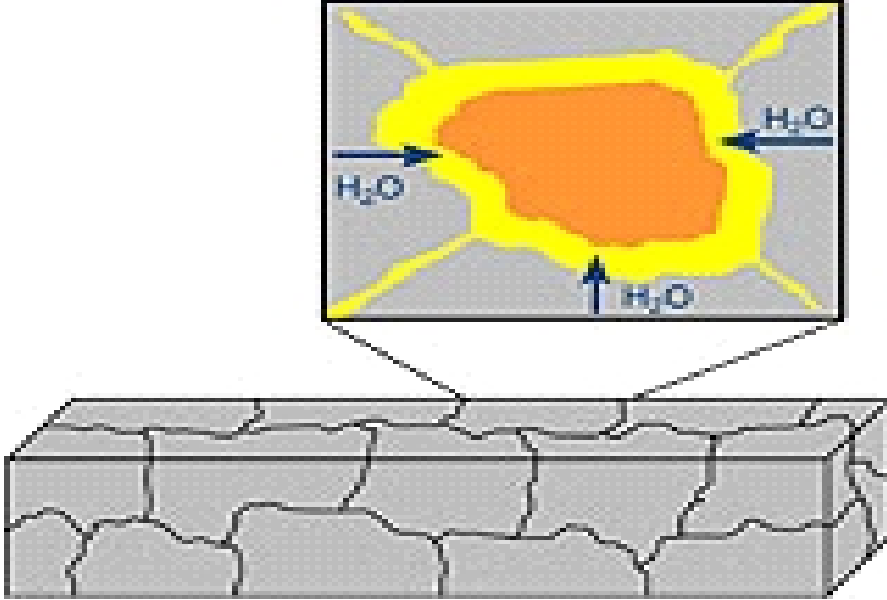
KAYNAKLAR

- [1] TOSUN, K., (2001). Uçucu Kül ve Silika Dumanının Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [2] SWAMY, R. N., (1990). The Alkali-Silica Reaction in Concrete. Scotland,UK: Thomson Litho Ltd.
- [3] SWAMY, R. N., (1992). The Alkali-Silica Reaction in Concrete. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [4] FARNY, J. A., KOSMATKA, S. H., “Betonda Alkali Agregata Reaksiyonunun Teşhis ve Kontrolü”, Çev: Kalmış, M., Güngör, N., Eribol, S., American
- [5] WAKİZAKA, Y., 2000, Alkali-silica reactivity of Japanese rocks, Engineering Geology, 56 (1-2) 211-221.
- [6] FOOKES P.G., 1980, An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. Quarterly Journal of Engineering Geology, 123, 207-229.
- [7] WAKİZAKA Y., 1998, Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution. J. Res., Public Works Res. Inst. 34 - 146.
- [8] SMİTH, M. R., and COLLİS, L., 2001, (eds.), Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction purposes, Geological Society, Engineering Geology Special Publication 17, London
- [9] DOĞANGÜN A., (2005), Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, CD ilaveli geliştirilmiş 2. Baskı, Birsen Yayınevi)
- [10] UĞUR L. O., (2002), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı.
- [11] HOBBS, D. W., (1988). Alkali-Silica Reaction in Concrete. London: Thomas Telford Ltd.
- [12] BARADAN, B., YAZICI, H., ÜN, H., (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilitesi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.Yay.

- [13] FARNY, J.A., and KOSMATKA, S.H. (1997). Diagnosis and Control of Alkali Aggregate Reaction in Concrete, Concrete Information.
- [14] NEVILLE, A. M., (1997). Properties of Concrete. England: Longman Limited.
- [15] ANDIÇ, Ö., (2002). Alkali Silika Reaksiyonun Mineral ve Kimyasal Katkılar Kullanılarak Kontrol Altına Alınması, Yüksek Lisans Tezi, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [16] GRATTAN-BELLEW, P.A., (1987). Concrete Alkali Aggregate Reactions. Canada: National Research Council of Canada.
- [17] GOUGEL, R., (1995). Alkali release by volcanic aggregates in concrete. Cement and Concrete Research, V.25, No.4, 841-852.
- [18] PERRY, R.H. ve GREEN, D., (Ed.) (1985). Perry's Chemical Engineers' Handbook. Mc Graw Hill.,
- [19] GILLOT, J.E. ve ROGERS, C.A., (1994). Alkali-aggregate reaction and internal release of alkalis. Magazine of Concrete Research, 46, No.167, 99-102.
- [20] POOLE, A. B., (1992). Introduction to Alkali Aggregate Reaction in Concrete. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [21] WANG, H., ve GILLOT, J. E., (1991). Mechanism of alkali-silica reaction and the significance of calcium hydroxide. Cement and Concrete Research, V.21, 647-654.
- [22] K. RAMYAR, H. DÖNMEZ, Ö. ANDIÇ, .Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması.
- [23] AKMAN, M.S., "Effects of the Content and Kind of Soluble Alkalis in Cements on Different Properties of Concrete", Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium, 6-10 September, İstanbul, 2000..
- [24] MALVAR, L.J., Cline G.D., Burke D.F., Rollings R., Sherman T.W., Greene J.L., "Alkali- Silica Reaction Mitigation: State of the art and Recommendations", ACI Materials Journal, V.99, pp.480-489, 2002.
- [25] FARNY, A.J, KOSMATLA, S.H., "Concrete Technologist and Director, Respectively, Construction Information Services, Portland Cement Association", American Concrete Pavement Association.
- [26] ASTM C- 1260; Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).

- [27] ASTM C- 1260; Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).
- [28] ASTM C- 150; Standard Test Method for Portland Cement.
- [29] ASTM C- 22/C 22M; Standard Test Method for Gypsum.
- [30] ASTM C- 227; Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement – Aggregate.
- [31] ASTM C- 294; Standard Test Method for Constituents of Concrete Aggregates.
- [32] ASTM C- 295; Standard Test Method for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- [33] ASTM C- 311; Standard Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete.
- [34] ASTM C- 33; Standard Test Method for Concrete Aggregates.
- [35] ASTM C- 618; Standard Test Method for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Concrete.
- [36] ASTM C- 856; Standard Test Method for Petrographic Examination of Hardened Concrete.
- [37] T.C. Sakarya Valiliği, Cumhuriyetimizin 75. Yılında Sakarya, 1998.
- [38] Sakarya İl Özel İdare Müdürlüğü.

EKLER



Betonda alkali agrega reaksiyonu ile oluşan harita çatlaklarının şematik görünümü



Betonda alkali agrega reaksiyonu ile oluşan harita çatlakları

ÖZGEÇMİŞ

Gökçe SERT, 09.09.1982 de Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2000 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. 2005 – 2006 yılları arasında Sakarya üniversitesi kampüs şantiyesi Hektaş Şirketler Grubunda Mühendis olarak çalıştı, 2006 Haziran da evlendi. 2006 Kasım ayında ESM proje bürosunda Statiker olarak işe başladı ve halen devam etmektedir.