

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI BÖLGESİNDEKİ AGREGALARIN
ALKALİ AGREGA REAKSİYONU BAKIMINDAN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Merve GÜN

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

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI BÖLGESİNDEKİ AGREGALARIN
ALKALİ AGREGA REAKSİYONU BAKIMINDAN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Merve GÜN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 11 / 09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

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

**Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER
Üye**

**Prof. Dr. Recep İLERİ
Üye**

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümü Araş. Gör. Sayın Metin İPEK'e, tez çalışmalarını birlikte yürüttüğümüz arkadaşım Sayın Gökçe SERT'e, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşim ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
AGREGA.....	2
2.1. Tanımı ve Özellikleri.....	2
2.2. Agregaların Sınıflandırılması.....	3
2.3. İdeal Agrega Standartları.....	4
2.4. Sakarya İlindeki Agrega Ocaklarının Dağılımı.....	11
BÖLÜM 3.	
ALKALİ-AGREGA REAKSİYONU.....	17
3.1. Alkali Agrega Reaksiyonu.....	17
3.2. Alkali Agrega Reaksiyonunun Belirtileri.....	20
3.2.1. Genleşme.....	22
3.2.2. Çatlaklar.....	23
3.2.3. Yüzey birikintileri.....	26
3.2.4. Popout.....	27

3.2.5. Renk değişimi.....	28
3.3. Alkali Agrega Reaksiyonuna Etki Eden Faktörler.....	28
3.3.1. Karışım oranlarının etkisi.....	28
3.3.2. Alkali içeriğinin etkisi.....	29
3.3.3. Reaktif agreganın cinsinin ve tane büyüklüğünün etkisi.....	32
3.3.4. Dış alkalilerin etkisi.....	38
3.3.5. Rutubetin etkisi.....	39
3.3.6. Sıcaklığın etkisi.....	40
3.3.7. Sürüklenmiş havanın etkisi.....	41
3.4. Alkali Agrega Reaksiyonunu Kontrol Altına Alma Yöntemleri.....	41

BÖLÜM 4.

ALKALİ-AGREGA REAKSİYONUNU BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	44
4.1. Alkali Agrega Reaksiyonunda Kullanılan Deney Yöntemleri.....	44
4.1.1. Harç çubuk deneyi.....	46
4.1.2. Hızlı harç çubuk deneyi.....	52
4.1.3. Beton prizma deneyi.....	53
4.1.4. Kimyasal yöntem.....	56
4.1.4.1. Çözünmüş silisin tayini “kolorimetrik metod”.....	57
4.1.4.2. Alkali azalmasının tayini “titrasyon metodu”.....	58
4.2. Diğer Yöntemler.....	58
4.2.1. Agregaların petrografik analizi.....	58
4.2.2. Mineral katkıların veya yüksek fırın cürufunun etkinliklerini ölçen standart deney metotları.....	59
4.2.3. Jel pat metodu.....	60
4.2.4. Alman çözünme metodu.....	60
4.2.5. Ozmotik hücre metodu.....	60
4.2.6. Otoklav metodu.....	61

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIşMA.....	62
5.1. Harç Çubuk Yöntemi.....	62
5.2. Hızlı Harç Çubuk Yöntemi.....	65

5.3. Beton Prizma Deneyi.....	66
5.4. Kimyasal Yöntem.....	68
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	69
6.1. Harç Çubuk Deneyi Sonuçları.....	69
6.2. Hızlı Harç Çubuk Deneyi Sonuçları.....	74
6.3. Beton Prizma Deneyi Sonuçları.....	79
6.4. Kimyasal Analiz Deney Sonuçları.....	82
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	92

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.	İdeal kumun granülometrik dağılımı.....	8
Şekil 2.2.	I Nolu mıcır için granülometri eğrisi.....	9
Şekil 2.3.	II Nolu mıcır için granülometri eğrisi.....	10
Şekil 2.4.	III Nolu mıcır için granülometri eğrisi.....	10
Şekil 3.1.	ASR'nin neden olduğu harita çatlakları.....	21
Şekil 3.2.	ASR'den kaynaklanan çatlaklarailişkin örnek görünüşler.....	21
Şekil 3.3.	Zemin üzerinde yanal basınca maruz kalmayan beton kaplamalarda ASR çatlakları için model.....	24
Şekil 3.4.	Çimentodaki alkali miktarının alkali silika genişlemesine etkisi...	29
Şekil 3.5.	Çimento Na ₂ O eşdeğeri %'si çimento dozajına bağlı olarak beton alkali miktarları	31
Şekil 3.6.	Farklı reaktif agrega tane boylarına sahip harç prizmalarının boyca genişmesi.....	34
Şekil 3.7.	Farklı reaktif agrega tane boylarına sahip harç prizmalarının boyca genişmesi.....	35
Şekil 3.8.	224 günlük genişleme ile agregadaki reaktif silika miktarı arasındaki bağıntı.....	36
Şekil 3.9.	Agregadaki reaktif silika bileşeni boyutunun, alkali agrega genişlemesine etkisi.....	37
Şekil 3.10.	a. Beton yollarda görülen ASR etkisi b. Köprülerde görülen ASR etkisi.....	38
Şekil 3.11.	Farklı iklimlerdeki beton kaplamalarında derinlik bağıl nem ilişkisi.....	40
Şekil 4.1.	Üçlü harç çubuğu kalıbı.....	48

Şekil 4.2.	Harç çubuklarının uçlarına yerleştirilen pim.....	48
Şekil 4.3.	Harç çubukları (Mortar bar).....	49
Şekil 4.4.	Harç çubuğu kür kabı.....	50
Şekil 4.5.	Dijital komparatör ile örneklerin boy ölçümü	51
Şekil 4.6.	Termostat'lı kür tankı.....	52
Şekil 4.7.	%100 bağıl nemi sağlayacak şekilde tasarlanmış kap.....	56
Şekil 5.1.	Harç çubuk numune kalıpları.....	64
Şekil 5.2.	Numaralandırılmış harç çubuğu numuneleri.....	64
Şekil 5.3.	Dijital komparatör saati.....	65
Şekil 5.4.	Kür tankı.....	65
Şekil 5.5.	Kür tankı.....	67
Şekil 5.6.	Beton prizma numune kalıpları.....	68
Şekil 5.7.	Kür tankı.....	69
Şekil 6.1.	1 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	72
Şekil 6.2.	2 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	72
Şekil 6.3.	3 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	73
Şekil 6.4.	4 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	73
Şekil 6.5.	5 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	74
Şekil 6.6.	6 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	74
Şekil 6.7.	Numunelerin uzama yüzdeleri.....	75
Şekil 6.8.	1 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	77
Şekil 6.9.	2 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	77
Şekil 6.10.	3 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	78
Şekil 6.11.	4 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	78
Şekil 6.12.	5 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	79
Şekil 6.13.	6 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	79
Şekil 6.14.	Numunelerin uzama yüzdeleri.....	80
Şekil 6.15.	7 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	82
Şekil 6.16.	8 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı.....	82
Şekil 6.17.	Numunelerin uzama yüzdeleri.....	83
Şekil 6.18.	Kimyasal analiz sonuçları grafiği.....	85

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Beton Kumları ve İri Agrega Standartları	7
Tablo 2.2.	TS Elek Sistemine Göre Beton Kumu Granülometrisi.....	8
Tablo 2.3.	TS Elek Sistemine Göre İri Agrega Granülometris.....	9
Tablo 2.4.	Ruhsatlı olarak çalışan ocakların durumu	12
Tablo 2.5.	2005 Yılından itibaren ruhsatı verilen ocaklar.....	13
Tablo 3.1.	Reaktivite seviyelerine göre mineral ve kayaçlar	32
Tablo 4.1.	Alkali-silika reaksiyonun belirlenmesinde kullanılan test metotları	45
Tablo 4.2.	Harç çubuğu ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri için agrega karışım oranları.....	47
Tablo 4.3.	Harç çubukları malzeme karışım miktarları	47
Tablo 4.4.	Beton prizma testi için agrega karışım oranları	55
Tablo 5.1.	Harç çubuğu deneyi için 1m ³ 'deki karışım miktarları.....	63
Tablo 5.2.	Hızlı harç çubuğu deneyi için 1m ³ 'deki karışım miktarları.....	66
Tablo 5.3.	Beton Prizma deneyi için 1 m ³ deki karışım miktarları.....	67
Tablo 6.1.	Harç çubuk deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri.....	70
Tablo 6.2.	Harç çubuk deneyi ölçüm sonuçları.....	71
Tablo 6.3.	Harç çubuk boy uzama değerleri	71
Tablo 6.4.	Hızlı harç çubuk deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri.	75
Tablo 6.5.	Hızlı harç çubuk deneyi ölçüm sonuçları.....	76
Tablo 6.6.	Hızlı harç çubuk boy uzama değerleri	76
Tablo 6.7.	Beton prizma deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri.....	80
Tablo 6.8.	Beton prizma çubuk deneyi ölçüm sonuçları	81
Tablo 6.9.	Beton prizma boy uzama değerleri.....	81
Tablo6.10.	Kimyasal analiz deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri..	83

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alkali agrega reaksiyonu, agrega

Beton endüstrisinde son yıllarda önemli bir araştırma konusu olan alkali-agrega reaksiyonu beton agregasında bulunan reaktif silisin beton içerisindeki bünyesine alarak uzun yıllar sonra ortaya çıkan bir reaksiyondur. Betonun bileşenlerinin mineralojik yapısından kaynaklanan bu reaksiyon sonucu betonun içerisinde jelleşen silis betonda çatlamalara, çekme ve eğilmede çekme dayanımının azalmasına neden olmaktadır.

Bu araştırmanın amacı Adapazarı bölgesindeki bazı agrega ocaklarının alkali silika reaktivitesine ilişkin özelliklerinin belirlenmesidir. Beton üretimi için büyük ölçüde agrega temin edilen Sakarya Nehri'nden malzeme alan agrega ocaklarından örnekler alınmış ve alınan bu agrega örnekleri üzerinde ASTM C 289 kimyasal metot, ASTM C 1293 beton prizma deneyi, ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu deneyi ve ASTM C 227 uzun süreli harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak alınan agrega numunelerindeki ASR beton için değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, uzun süreli harç çubuk deneyine göre Sakarya Adliye bölgesinden alınan agregalar ASR yönünden zararlı, Mollaköy mevki, Hendek, Ferizli, Akçay dağ malzemesi, Adliye Kalealtından alınan numuneler zararsız bulunmuştur. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyine göre Sakarya Adliye, Mollaköy mevki, Ferizli, Akçay dağ malzemesi, Adliye Kalealtından alınan numuneler ASR yönünden zararlı, Hendek bölgesinden alınan numuneler zararsız bulunmuştur. Beton prizma deneyine göre Hendek ve Akçay dağ malzemesinden alınan numuneler ASR yönünden zararsız çıkmıştır. Kimyasal metoda göre Sakarya Adliye, Mollaköy mevki, Ferizli, Akçay dağ malzemesi, Adliye Kalealtından alınan numuneler ASR yönünden zararlı, Hendek bölgesinden alınan numuneler zararlı olması ihtimal olarak bulunmuştur.

DETERMINING THE ALKALI – AGREGA REACTIVITY OF THE AGGREGATES AT ADAPAZARI REGION

SUMMARY

Key Words: Alkali aggregate reaction, aggregate

One of the important research subjects of concrete industry in recent years is alkali aggregate reactivity, which is the absorption of moisture of concrete by reactive silica of aggregates. This reactivity is caused by the mineralogical structures of the components of the concrete. The reaction causes cracks, tensile and weaknesses in flexural strength on concretes.

This study aims to determine the alkali silica reactivity of some aggregates quarries from Adapazari region. Samples were collected from aggregate quarries located in Sakarya river, which provide a significant amount of aggregate for concrete production. ASTM C 289 chemical method was carried out on the aggregate samples, followed by ASTM C 1260 accelerated mortar bar and ASTM C 227 long-term mortar bar experiments on the mortar bars. The results are commented and ASR in aggregate sample are appraised for concrete.

At the result, according to long period expenditure bar method aggregates from Sakarya Adliye are harmful for ASR in concrete, aggregates from Mollaköy, Hendek, Ferizli, Akçay mountain material, Adliye Kalealtı are harmless for ASR in concrete. According to speed long period expenditure bar method aggregates from Sakarya Adliye, Mollaköy, Ferizli, Akçay mountain material, Adliye Kalealtı are harmful for ASR in concrete, aggregates from Hendek are harmless for ASR in concrete. According to concrete prism method aggregates from Hendek and Akçay mountain material are harmless for ASR in concrete. According to chemical method aggregates from Sakarya Adliye, Mollaköy, Ferizli, Akçay mountain material, Adliye Kalealtı are harmful for ASR in concrete, aggregates from Hendek are probably harmful for ASR in concrete.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton veya betonarme yapı elemanlarından beklenen, zamanla bozulup işlevini kaybetmeden gereken servis ömürlerine ulaşmalarıdır. Ancak beklenenin aksine yapının ömrünü tamamlamadan işlevini kaybetmesine birçok faktör neden olabilir. Yapı elemanının durabilitesini belirleyen etkenler arasında beton bileşimindeki malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanan iç etkiler ve çevreden doğan dış etkileri gösterebiliriz. Bazı durumlarda, beton bileşimini oluşturan malzemelerin kendi aralarında veya çevreden gelen zararlı maddelerle kimyasal reaksiyonlara girebildiği, böylece beton hacim sabitliğinin bozulması nedeniyle yapı elemanının zarar gördüğü bilinmektedir. Alkali-Silika Reaksiyonu bu tür kimyasal bozulma reaksiyonlarından biridir [1].

1920'li ve 1930'lu yıllarda ABD, Kaliforniya'daki beton yapılarda nedeni belirsiz çatlak oluşumlarına bağlı yıkımlar tespit etmiştir. Beton malzemelerin standartlara uygun olmasına karşılık yapının imalatını takiben birkaç yıl içinde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu sorun genellikle harita çatlağı şeklinde görülür. Bazen de çatlaklardan jel çıkışı, betonun patlaması gibi sorunlar da yaşanabilir. Stanton, 1940 yılında çatlamanın kimyasal bir reaksiyondan kaynaklandığını bulmuştur. Ve bu reaksiyon daha sonra Alkali-Silika Reaksiyonu olarak adlandırılmıştır [2].

BÖLÜM 2. AGREGA

2.1. Tanımı ve Özellikleri

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir [3].

Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agrega betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir. Betonda agrega kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Agreganın kaba ve ince agrega olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agrega "mıcır" ya da "çakıl", ince agrega "kum" olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyuttur. 4 mm den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agrega, 4 mm den küçük boyuttaki kısma ince agrega denir [4].

Beton hacminin %60-80'ini agrega bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. Agreganın gereken mukavemete sahip olması ve dış etkenlere dayanabilmesidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları

karşılatabilecek nitelikte olmalıdır. Aşınmaya maruz kalacak bir betonun agregası yeterli aşınma mukavemetine sahip olmalıdır. Don yapan iklimlerde kullanılacak betonun agregası ise dayanıklılık bakımından don etkisi için konmuş standartları karşılamalıdır [5].

Agrega bileşeninin uygun bir tane boyu dağılımı (granülometri) göstermesi çok önemlidir. İyi bir granülometriye sahip agregada içindeki hava boşluğu, daha az olacaktır. Dolayısıyla, yoğunluğu da artacaktır. Bu şekilde, toplam beton hacmi içinde çimento-su harcı daha ekonomik olarak kullanılabilir ve beton istenilen yere kolaylıkla, kalitesi bozulmadan yerleştirilebilir.

Betonun sıkıştırılmasındaki kolaylık veya zorluğuna işlenebilirlik denir. "Segregasyon" diye tabir edilen bu husus betonda agregada ile harcın ayrışmasıdır. Ağır olan agregada aşağı kısımda kalırken ince harç ve su betonun üst kısmında toplanır. Dolayısıyla arzu edilen dayanıklılığa erişilemez.

Betonda agregada kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında; sertleşen betonun "hacim değişikliği" önlenmesi veya azaltılması, sertleşmiş betonun "aşınmaya karşı" dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı "dayanıklılığını" artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli "dayanımı" sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agregada bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kuruması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlaklar agregada tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur [4].

2.2. Agregaların Sınıflandırılması

A. Elde Ediliş Şekline Göre Sınıflandırma

1) Doğal Agregada (Doğal taş agregası): : Doğal taş agregada; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadadır.

2) Yapay Agregada (Sanayi ürünü agrega): Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. (Yapay taş veya Yapay kum da denir.)

B.Tane Boyutlarına Göre Sınıflama

- 1) İnce Agregada (4mm altı): : 4 mm açıklıklı kare delikli elekten geçen agregadır.
 - a. Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.
 - b. Kırma kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.
- 2) İri Agregada (4mm üstü): : 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.
 - a. Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
 - b. Kırmataş (mıcır): Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır
- 3) Taşunu (Filler) (0,25mm altı) [6]

2.3. İdeal Agregada Standartları

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bileşim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 standartının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir [7]. Tane dağılımı: Agreganın tane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir. Beton yapımında kullanılan agregalara ait tane dağılımları Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4' te verilen değerlere uygun olmalıdır.

Tane şekli: Agregada tanelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3' ten büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm' nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50' den çok olmamalıdır.

Tane dayanımı: Agrega taneleri, istenilen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır.

Betonun yapımında kullanılacak agregalar %30' dan, diğer agregalar ise ağırlıkça %45' ten az kayıp bulunmuş ise agregaya yeterli olarak kabul edilir.

Dona dayanıklılık: Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı taneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olamayan yörelerde bu özellik aranmaz.

Zararlı maddeler: Betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılışı ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkileyen maddeler şunlardır: yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar.

- **Yıkanabilir maddeler:** Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agregaya tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

- **Organik kökenli maddeler:** Humuslu ve diğer organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde buldukları zaman renk değişmesine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilirler.

- **Sertleşmeye zarar veren maddeler:**

- **Kükürtlü bileşikler:** Kükürtlü bileşikler cinslerine, agregaya içindeki miktarlarına ve yapının içinde bulunduğu ortam koşullarına bağlı olarak, betonda zararlı

değişikliklere neden olabilirler. Burada kükürtlü bileşiğin cinsi ve dağılışı önemlidir. Örneğin iyi sıkıştırılmamış betonlarda, hava akımı ve rutubet vasıtasıyla oksitlenen sülfatlar (alkali sülfatlar jibs, anhidrit gibi) zararlı olabilir. Sülfatlar betondaki kireç ve alüminyum bileşikleri ile reaksiyona girerler ve zamanla büyüyen kristaller meydana getirerek betonun parçalanmasına neden olurlar.

- Çeliğe zarar veren maddeler: Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin Nitratlar, Halojenürler (florür hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır. Ön gerilmeli beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, klor olarak hesaplandığında ağırlıkça %0,2'den fazla bulunmamalıdır. (TS706) Tablo 1'de betonun kumları ve iri agregalar için yukarıda tanımlanan standart değerler verilmektedir.

- Alkali agrega reaktivitesine neden olan faktörler: Belirli kökenli agregalar, reaksiyon yapabilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu cins bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile kuvvetli kimyasal reaksiyona girerler ve önce berrak ve yüksek konsantrasyonlu sonra yüksek viskoziteli alkali silikat çözeltisini meydana getirirler. Agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğü ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkalihidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır. Bu nedenle alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir. Betondaki alkali reaksiyonu önce normal koşullar altında sertleşmiş olan betonda zamanla yüzeye yakın bulunan alkaliye duyarlı agrega tanelerinin ayrışmasına veya betondan kopmasına, çatlaklara ve aşırı halde betonun parçalanmasına neden olur.

Tablo 2.1. Beton Kumları ve İri Agrega Standartları [8]

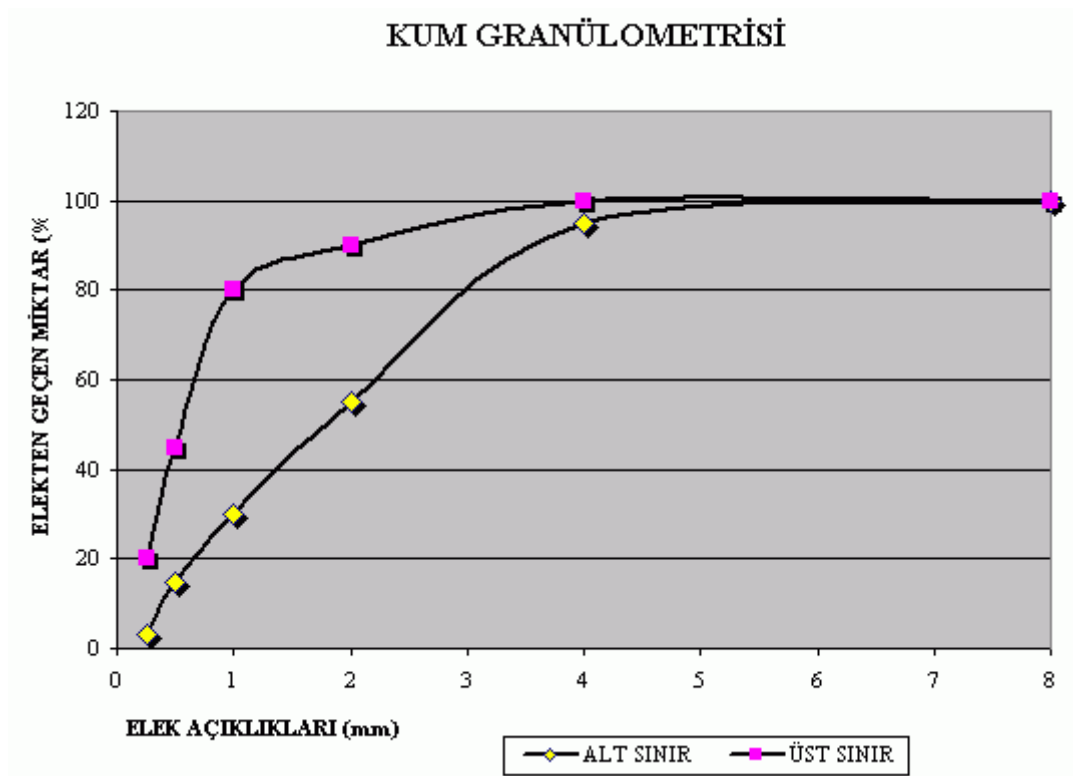
STANDARTLAR	KUM	İRİ AGREGA
Gevşek Birim Ağırlık(TS3529)	Min 1350 kg/m ³	Min 1350 kg/m ³
Özgül Ağırlık (TS3529)	Min 1350 kg/m ³	Min 1350 kg/m ³
Deniz Hayvanı Kabuğu İçeriği	Kompositenin 0,49 değerinden küçük olması durumunda uygulanır.	-
Organik Madde (TS3673)	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan numunenin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan numunenin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.
Çamurlu Madde Miktarı(TS3527)	Çökeltme deneyi sonunda çamurlu madde miktarı hacimce %5'den küçük olmalı.	63 ..m'den daha ince kil,silt veya taş unu gibi malzemelerin miktarı, yıkama deneyine göre %1,5 değerini aşmamalı.
Su Emme Miktarı (TS3526)	Max. %2	Max. %2
Dona Dayanıklılık	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %15 olmalı.	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %15 olmalı.
Alkaliye Duyarlı Taneler	Çimentoda eşdeğer alkali oksit değeri %0,6'dan büyükse kumda, alkaliye duyarlı taneler ağırlıkça %0,5'den az olmalı.	-
Biçimsiz Tane Miktarı(TS3814)		Max. %40'ı aşmamalı
Aşınma Miktarı		Bilyalı tamburda yapılan aşınma deneyi sonunda tayin edilen malzeme kaybı 500 devir sonunda en çok %45 olmalı.

Beton kumları için granülometrik dağılım: (TS3530)

Beton dökümünde kullanılan kumlar belli bir tane boyutu dağılımına sahip olmalıdır. Yani, eleme sonunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 2' ye uygun olmalıdır. Ayrıca Şekil 1' de beton kumları için granülometrik dağılım eğrisi verilmiştir [8] .

Tablo 2.2. TS Elek Sistemine Göre Beton Kumu Granülometrisi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)	
	Min.	Max.
8	100	100
4	95	100
2	55	90
1	30	80
0,50	15	45
0,25	3	20



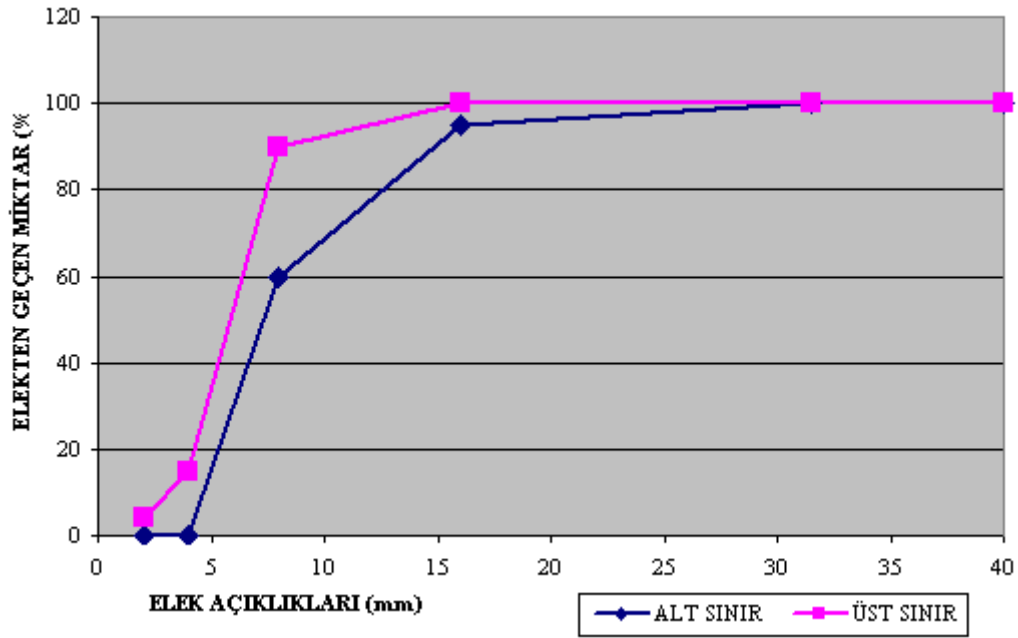
Şekil 2.1. İdeal Kumun Granülometrik Dağılımı

İri agregalar için granülometrik dağılım: (TS3530)

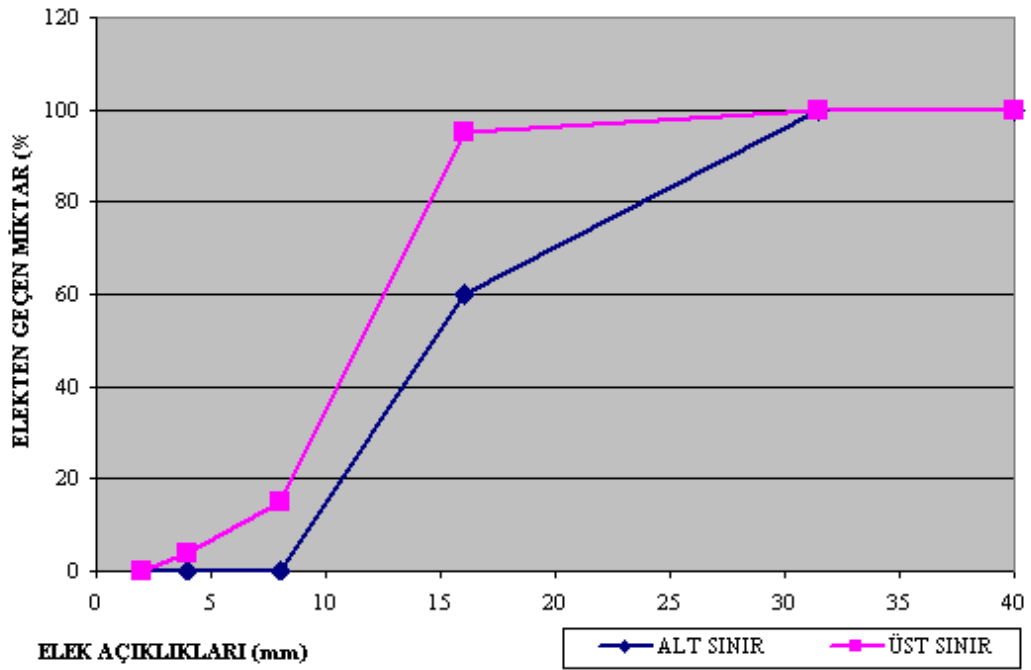
İri agrega içinde tane boyutu dağılımı çok önemlidir. Eleme sonunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 2.3.'e uygun olmalıdır. Ayrıca Şekil 2, 3 ve 4' te iri agregalar için granülometrik dağılım eğrileri verilmiştir.

Tablo 2.3. TS Elek Sistemine Göre İri Agrega Granülometrisi

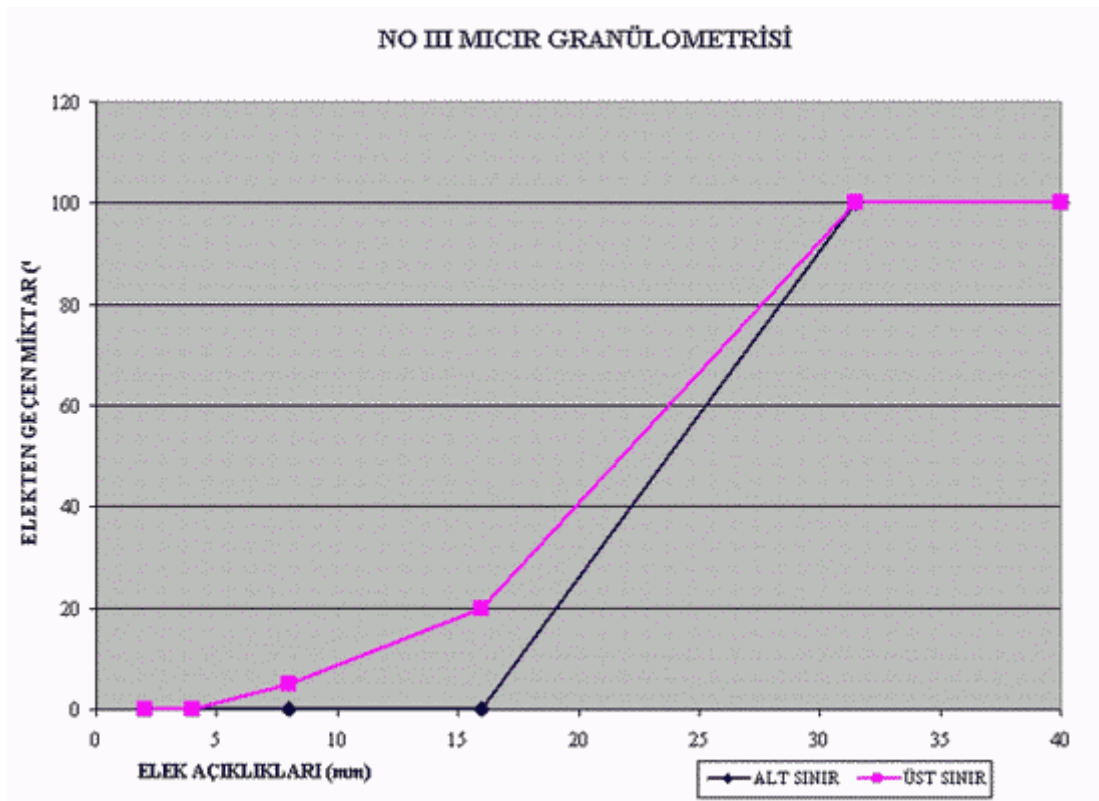
Elek Göz Açıklığı (mm)	ELEKTEN GEÇEN MALZEME (%)				
	I Nolu Mıçır	II Nolu Mıçır	III Nolu Mıçır	Balast Tuvenan	Çakıl veya Karışık Mıçır
40	100	100	100	100	100
31,5	100	100	100	0-20	95-100
16	95-100	60-95	0-20	0-10	50-70
8	60-90	0-15	0-5	0-3	20-34
4	0-15	0-4	-	-	0-10
2	0-4	-	-	-	-



Şekil 2.2. I Nolu Mıçır İçin Granülometri Eğrisi



Şekil 2.3. II Nolu Mıdır İçin Granülometri Eğrisi



Şekil 2.4. III Nolu Mıdır İçin Granülometri Eğrisi

2.4. Sakarya İlindeki Agregat Ocaklarının Dağılımı

Çalışma alanımız olan Sakarya ili Marmara Bölgesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. İl alanı, güneyden kuzeye doğru uzanarak Kocaeli pennepleni yani, yarı ovalarının doğusunda Karadeniz'e açılır. Üçüncü zamanın sonları ile dördüncü zamanın başlarında oluşmuştur. Bu jeolojik zamanda ortaya çıkan kıvrılma ve kırılma hareketleri nedeniyle Trakya'nın güneye, Kocaeli yarımadası'nın kuzeye doğru farklı yönlerde çarpılmasına neden olmuştur. Çarpılmanın etkisi Sakarya ilinde daha güçlü olmuş ve il alanı Karadeniz'e doğru eğim kazanmıştır. Sakarya Nehri'nin İç Batı Anadolu platolarından taşıdığı maddeler il alanında yığılarak alüvyal ovalar oluşturmuştur.

Yüzey şekillerinin başlıca ögesini "Adapazarı Ovası" oluşturur. Elips biçimli olan ova, doğuya ve güneydoğuya doğru bir körfez gibi sokulur. Batıya doğru Sapanca Gölünü içine alan ve İzmit körfezi'nin doğusundaki ova ile birleşen oluk biçimindeki bir çukurda uzanır. Güneydoğu yönünde ise, Samanlı dağlarının dik yamaçlarına dayanır. Sakarya Nehri, Geyve Boğazı aracılığı ile bu dağlar arasından ovaya çıkar. İlde platolar önemli bir yer tutar. Dağlar ilin güney yarısında yoğunlaşır, öbür kesimler büyüklü küçüklü taban topraklarla kaplıdır. Kuzey Anadolu sistemine bağlı dağlar, il alanına yakın kesimlerde alçak platolara dönüşerek doğu-batı yönünde uzanır. İlin orta ve batı kesimleri Kocaeli platosunun uzantısı durumundadır. Yer yer görülen düşük yükselteli tepeler dışında genellikle alçak ve düz bir yapıdadır.

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 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 [9].

Maden kanununda yapılan değişiklikten sonra 1 a grubu olarak anılan taş, kum ve stabilize yönünden ilimiz oldukça zengindir. Ruhsatlı olarak çalışan ocakların durum Tablo 2.4.' deki gibidir:

Tablo 2.4. Ruhsatlı olarak çalışan ocakların durumu

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 [10] :

Tablo 2.5. 2005 Yılından itibaren ruhsatı verilen ocaklar

Ocak sahibi şirket	İlçe-Köy-Adres	Madenin Cinsi	Yıllık Kapasite	Reserv	Durum	Açıklama
CEVAT SOYKAN	Karasu Karapınar/ Heraçma	Kum-Çakıl	10.512	52.560 m3	Faal	2090,87 m2
BETA LTD. ŞTİ.	Karasu Karapınar/ Heraçma	Kum-Çakıl	99	493 m3	Faal	8882,97 m2
YILMAZ İRİ	Pamukova Şeyhvarmaz/ Papaz Deresi	Kum-Çakıl	82		Faal	3362,51 m2
ANV KUM İŞL. LTD. ŞTİ.	Geyve Düzakçaşehir/ Sultançiftliği	Kum-Çakıl	82.125	411 m3	Faal	3913,20 m2
BARIŞ KUM LTD. ŞTİ.	Ferizli Sinanoğlu/ Seyifler	Kum-Çakıl			Faal	10158,13 m2
AĞATAŞ LTD. ŞTİ.	Merkez Mollaköy/ Karaçalılık	Kum-Çakıl	36.000	180.000 m3	Faal	13310 m2
TEMİZ İŞ SAN. TİC. AŞ.	Ferizli Sinanoğlu/ Agoplar	Kum-Çakıl	53.000		Faal	8640 m2
HENDEK HAZIR BETON LTD. ŞTİ.	Hendek Çakallıkköyü/ Kuzuyaka	Kum-Çakıl	10.447	52.236 m3	Faal	13334.80 m2
HENDEK HAZIR BETON LTD. ŞTİ.	Hendek Çakallıkköyü/ Kuzuyaka	Kum-Çakıl	29.376	146.880 m3	Faal	25733,47 m2
HENDEK HAZIR BETON LTD. ŞTİ.	Hendek Çakallıkköyü/ Büyüktarla	Kum-Çakıl	12.033	60.169 m3	Faal	6914,68 m2
TURHAN SUNA	Merkez Türkçaybaşı/ Sakarya kenarı	Kum-Çakıl			Faal	2730 m2

Tablo 2.5. (Devam) 2005 Yılından itibaren ruhsatı verilen ocaklar

Ocak sahibi şirket	İlçe-Köy-Adres	Madenin Cinsi	Yıllık Kapasite	Reserv	Durum	Açıklama
ANV KUM İŞL. LTD. ŞTİ.	Geyve Düzakçeşehir/ Ovalar	Kum-Çakıl	52.000	261.000 m3	Faal	3913,20 m2
UZUNOĞLU LTD. ŞTİ.	Merkez Taşkısığı/ Sarmacıbayırı	Kum-Çakıl			Faal	14030 m2
UZUNLAR LTD ŞTİ.	Akyazı Salihye/ Mudurnu çayı kenarı	Kum-Çakıl			Faal	6000 m2
HİKMET YAPI	Merkez Adliye/Kale civarı	Kum-Çakıl	15.000	150.000 m3	Faal	29267 m2
KARACANLAR LTD. ŞTİ.	Akyazı Salihye/ İkibent	Kum-Çakıl			Faal	37020,22 m2
GENÇ YAZICI TİC. LTD. ŞTİ.	Geyve Boğazköy/ Kumluk	Kum-Çakıl			Faal	3724 m2
TAPETSA N İNŞ. SAN. VE TİC. AŞ.	Merkez Mollaköy/ Gölüçü	Kum-Çakıl			Faal	7569 m2
SAKKUM LTD. ŞTİ.	Geyve Bozörenköyü/ Söğütler-Dışbudak	Kum-Çakıl	99.000		Faal	7896.72 m2
ZİYAETTİN KİTLİK	Merkez Solaklar/Çevrik	Kum-Çakıl			Faal	3540 m2
ERAYLAR KUM-ÇAKIL LTD.ŞTİ.	Söğütlü Mağraköyü/ Topaltarla	Kum-Çakıl	6.026	30.132 m3	Faal	4765,30 m2

Tablo 2.5. (Devam) 2005 Yılından itibaren ruhsatı verilen ocaklar

Ocak sahibi şirket	İlçe-Köy-Adres	Madenin Cinsi	Yıllık Kapasite	Reserv	Durum	Açıklama
SAKARYA NUR İNŞ. LTD. ŞTİ.	Merkez Poyrazlar/ Köyaltı-Aşağıalan	Kum-Çakıl			Faal	2479 m2
YAZICI MADEN LTD ŞTİ.	Merkez Adliye/Kalealtı	Kum-Çakıl			Faal	13500 m2
ERSİN YILDIRIM	Geyve Boğazköy/ Kumluk	Kum-Çakıl	36.000		Faal	5686,07 m2
YILMAZLAR TARIM LTD. ŞTİ.	Merkez Kumbaşıköyü /Kumluk	Kum-Çakıl	12.000	60.000 m3	Faal	4000 m2
ENGİN AD	Hendek Aktefek/Nehir kenarı	Kum-Çakıl	27.888	139.440 m3	Faal	3873,45 m2
TURTAŞ LTD. ŞTİ.	Merkez Taşkırsığı Köyü/Sarmacı Bayırı	Kum-Çakıl		47.000 m3	Faal	4000 m2
YAZICI MADEN-2	Geyve Adliye	Kum-Çakıl			Faal	13623,18 m2
KARDEŞLER	Merkez Kumbaşı	Kum-Çakıl	11.000	57.000 m3	Faal	4653,89 m2
GENÇLER İNŞ.	Merkez Aşağıkirazca	Kum-Çakıl			Faal	3622 m2
SAKARYA ADA MADEN	Ferizli Gökent	Kum-Çakıl			Faal	10936,24 m2

Tablo 2.5. (Devam) 2005 Yılından itibaren ruhsatı verilen ocaklar

Ocak sahibi şirket	İlçe-Köy-Adres	Madenin Cinsi	Yıllık Kapasite	Reserv	Durum	Açıklama
HALİL İBRAHİM AYDINLI	Karasu Tepetarla	Kum-Çakıl	4000	19.655,20	Faal	1091,96 m2
ER-NAZ	Pamukova Gökgöz	Kum-Çakıl		766.000 m3	Faal	30000 m2
ANV KUM İŞL. LTD. ŞTİ.	Pamukova Gökgöz	Kum-Çakıl	108.000	540.000 m3	Faal	30000 m2
BARIŞ KUM LTD. ŞTİ.	Karasu Limandere	Kum-Çakıl			Faal	8831,09 m2
ADAKUM	Merkez Mollaköy	Kum-Çakıl			Faal	5000.11 m2
GÜRDRA MA LTD. ŞTİ.	Geyve Boğazköy/Cevizlik	Kum-Çakıl	15,93	79.650 m3	Faal	
SEZERLER TİC. LTD. ŞTİ.	Merkez Adliye köyü/Kale Civarı	Kum-Çakıl			Faal	
GENÇLER İNŞ.	Geyve Kışlaçay/ Mezarlıktepe	Kum-Çakıl	15.000	4449.918 m3	Faal	
2. OSB BÖLGESİ	Hendek Yukarıçalca/ Yağbasan	Kum-Çakıl			Faal	
ALİ NİHAT BİRİNCİOĞLU	Hendek Hicriye/Hüseyinşeyh	Kum-Çakıl			Faal	
VEDAT TEMİZEL	Geyve Kışlaçay	Kum-Çakıl		3.470 m3	Faal	
SEZERLER TİC. LTD. ŞTİ.	Merkez Adliye Köyü	Kum-Çakıl			Faal	

BÖLÜM 3. ALKALİ-AGREGA REAKSİYONU

3.1. Alkali-Agrega Reaksiyonu

Gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde birçok betonarme yapılarda hasarlar meydana getiren ASR (alkali silika reaksiyonu), oldukça kompleks kimyasal bir 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, zamanla betonu çatlatan bir jel oluşumuna sebep olurlar. Reaksiyonun neden olduğu genleşme belli bir sınırı aştığında beton için potansiyel bir tehlike oluşturur [11].

ASR'nin oluşumu için, agrega bünyesinde reaktif silis, alkalitesi yüksek por çözeltisi ve ortamda yeterli rutubet bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa ASR nedeniyle herhangi bir genleşme de olmayacaktır. Betonda oluşan yumuşak dokunun (jel) miktarı; silikanın türü, miktarı ve alkali hidroksit konsantrasyonuna bağlıdır. ASR'nin oluşturduğu reaksiyon iki aşamada gerçekleşir:

- Alkali + Reaktif Silika \rightarrow Alkali Silika Jel Ürünleri
- Alkali Silika Jel Ürünleri + Rutubet \rightarrow Genleşme [11]

Reaksiyon sonucu, bünyesinde yüksek oranda su tutabilen bir jelin oluşumu nedeniyle genleşmenin neden olduğu basınç içsel gerilmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu olay jel oluşumuyla eş zamanlı değildir. Bu nedenle jelin varlığı mutlaka ciddi boyutta ASR tahribatı oluşturacak anlamı taşımamaktadır. Jel ileriki safhalarda çimento hamurundan su emmek suretiyle hacmini artırarak agregaya ve çimento hamurunda mikroçatlakların oluşmasına sebep olmaktadır. Mikroçatlaklarda

yayılan jel giderek artar, su emerek daha da genişir ve çatlakların genişleyip çoğalmasına, betonun çatlamasına neden olur [12].

ASR'nin belli viskozite ve özelliklere sahip jeli; şişme ve hacimsel olarak büyüme özelliğindedir. Jelin karakteristik kompozisyonu henüz tam olarak belirlenememiştir. Ancak başlangıçta az miktarda kalsiyum içeren jel, şişerek genişler ve yayılır [13].

Bazı jeller çok az, bazıları hemen hemen hiç genişme özelliği göstermezler. Eğer jel az su emme ve şişme özelliğinde ise problem yaratmaz. Çok su emerek şişme özelliği olan jelin betonda yarattığı içsel gerilmeler, betonun çekme dayanımını aşınca beton çatlamaktadır. Betonun boşluklarındaki çözeltinin reaksiyon bölgesine ulaşması ve sıcaklık jelin şişme basıncını artırır [13].

Bazı durumlarda betondaki şişme (genleşme) hacimce %2-3 mertebesine kadar ulaşır. ASR de diğer alkali agrega reaksiyonları gibi birçok faktörün etkisi altındadır. ASR diğer reaksiyonlar gibi yavaş ilerleyen bir reaksiyon olduğu için, genişme nedeniyle betonun iç yapısında oluşan hasar (çatlak) birkaç yıl sonra görünür hale gelir. ASR, beton bünyesinde oluşan ve genişmeye neden olan bir reaksiyon olması nedeniyle, ASR'nin görünür dış belirtisi harita şekilli çatlaklardır [14].

Reaksiyonun oluşabilmesi için çimento alkali içeriğinin “eşdeğer Na_2O ” değeri olarak %0,6 değerini aşması gerekir. Portland çimentosunun toplam alkali içeriği sodyum oksit eşdeğeri olarak şu ifade ile hesaplanır :

$$(\text{Na}_2\text{O})_e = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$$

Çimentoda bulunan sodyum ve potasyum oksitler çimentonun hammaddelerinden (kil, kireçtaşı, şeyl vb) kaynaklanır. Ayrıca alkaliler, çimento dışında; agrega, karışım suyu, beton katkı maddeleri, buz çözücü tuzlar, zemin suyu, beton kür suyu ve endüstriyel atık suları aracılığıyla beton bünyesine girebilir [11].

Genelde sadece çimento ve çimentolanma özelliği olan malzemelerin alkalitesi gözönüne alınmaktadır. Ancak, betona katılan kimyasal ya da mineral katkıları alkali

içeriyorsa gelen ilave alkali miktarı göz önüne alınır. Beton içine alkali girişi sadece çimentodan kaynaklanıyorsa alkali içeriği şu ifade ile hesaplanabilir :

$$[\text{Çimentonun Alkali \%}] \times [\text{Çimento Dozajı (kg/m}^3\text{)}] = \text{Betondaki Alkali Miktarı (kg/m}^3\text{)} [11]$$

Servis ömrü boyunca kuru kalan bir betonda ASR ciddi bir tehlike olmayabilir. Araştırmalar bağıl nem oranı % 80' in üzerinde olan betonlarda ASR'nin oluştuğunu göstermektedir. Düşük su/çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir yolla beton geçirimsizliği azalır, rutubetin betona girişi beton içinde dolaşımı azalır. Dolayısıyla içinde alkalilerin yayılması da azalmış olur [11].

Sıcaklık artışı reaksiyon hızını artırmaktadır. Agregaların büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktivite göstermektedir. Ayrıca sık kuruma-ıslanma tekrarı betonda alkali taşınmasını kolaylaştırmakta ve alkalilerin kuruma bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır [11].

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 Ca(OH)₂ tarafından değil aynı zamanda NaOH ve KOH tarafından da sağlanır. Silikanın çözünme hızı katı parçacıklar içindeki çatlaklarda mevcut olan alkali sıvısının difüzyonundan etkilenir. İyonların türü ve iyonik konsantrasyon bu hızı kontrol eder. Çünkü tanecikler içine giren sıvı aynı zamanda hidroksit iyonlu katyonları sürükler ve bu katyonları 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 oluşmasına engel olur [15].

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 [15].

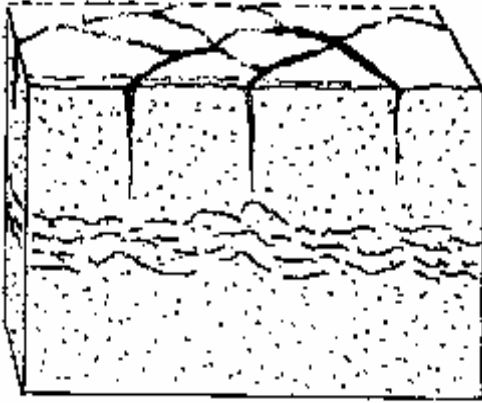
Silisin reaktivite potansiyeli, oluşumlarının tanımlanması ve belirlenmesi karmaşık ve zor bir işlemdir. Silisli bileşenlerin yapısı ve dokusu genellikle amorf, kriptokristalli, mikrokristalli ve kristalli olarak tanımlanır. Silika mineralleri büyük oranda normal hava sıcaklığında kararlı olmayan polimorfik oluşumlara sahiptir. Bileşiminde silika bulunan ve en yaygın olan mineraller kuvars, tridimit, kristobalit, opal ve kalsedon gruplarıdır [16].

Değişik silis minerallerinin reaktiviteleri kristal yapıdaki silika miktarlarına bağlıdır. Opal amorf yapıya sahiptir ve en yüksek reaktiviteye sahip silika içerir. Diğer taraftan doğal halde (dengede) bulunan kuvars, çok düzenli bir kristal yapıya sahiptir ve normal olarak reaktif değildir. Camlar, mikrokristalli ve kriptokristalli kuvarslar, deforme olmuş kuvarslar, kalsedon, tridimit, kristobalit gibi diğer silika oluşumları orta derecede reaktivite gösterirler [17].

X ray-analizi, elektron mikroskobu ve diğer cihazların kullanımıyla desteklenen petrografik incelemeler ve ince kesit çalışmaları, agrega minerallerinin belirlenmesinde yeterli bilgi sağlayabilir. Agreganın, porozitesi, tane boyu dağılımı, beton içinde reaktif parçacık miktarı ve çevre koşulları, alkali-agrega reaksiyonu sonucu ortaya çıkan genleşmeler üzerinde önemli etkiye sahip nedenlerdir [18].

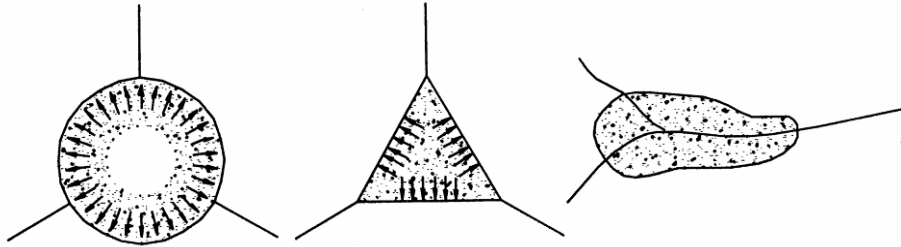
3.2. Alkali-Agrega Reaksiyonunun Belirtileri

Betonda ASR ürünleri oluşmadıkça ASR hasarından bahsedilemez. Yapılacak dikkatli incelemelerle tespit edilebilecek ASR belirtileri; genleşme, betonda çatlaklar, yüzey birikintileri, yüzey parçalanmaları-patlama ve renk değişimleridir. ASR varlığının en tipik göstergesi, genleşmelerle ortaya çıkan harita çatlağı tipindeki çatlak desenleridir (Şekil 3.1). ASR çatlaklarının deseni, yapılarda oluşan zemin ve muhtelif yüklerin neden olduğu çatlak düzenlerinden oldukça farklıdır [19].



Şekil 3.1. ASR'nin neden olduğu harita çatlakları

Yapılabilecek göz muayenesi ile; çatlakların konumu ve deseni, uzunlukları, genişlikleri, görünür derinlikleri, çatlakların agrega kesitinden mi yoksa çimento hamurundan mı geçtiği saptanabilir. ASR'nin oluşturduğu jelleşme, agrega taneciği içinde veya agrega taneciği çevresinde reaksiyon halkası biçiminde gelişebilir. Bulabildiği ölçüde su emerek enerjisini boşaltan bu jel, su emdikçe hacimsel olarak büyür(şişer). ASR'den kaynaklanan çekme gerilmeleri nedeni ile 3 veya 4 kollu yıldız şeklinde çatlaklar (Şekil 3.2.) [19].



Şekil 3.2. ASR'den kaynaklanan çatlaklara ilişkin örnek görüntüleri

ASR jelinin su emerek şişmesi sonucu beton içinde depolanan potansiyel enerji, bu çatlaklarla boşalır [19]. Reaksiyona giren tanecik sayısı arttıkça bu yıldızlar birleşerek harita çatlakları şeklinde desen oluştururlar [20]. Harita şeklinde çatlak deseni oluşturan tek olay ASR değildir. Tekrarlı donma-çözülme ve benzeri büzülme-şişme olayına neden olan mekanizmalar da harita çatlakları şeklinde çatlak oluştururlar [21].

Beton çatlakları boyunca beyazdan griye kadar değişen renklerde ASR jeli ya da kalsiyum karbonat tortuları görülebilir. Bu birikintilere bazen yüzey tortuları veya salgıları da denir. Çatlaklardan dışarı sızan bu maddeler, beyaz sarımtırak veya renksiz, viskoz, akışkan, mumsu, elastik yapışkan ya da sert olabilirler [19].

Yüzeyde veya yüzeye çok yakın bölgelerdeki parçalanmalar, tipik bir mısır patlaması gibi davranarak beton yüzeyinde küçük çukurlar oluşturur. İleri yaşlarda, ASR kaplama betonlarında daha çok görülür. Özellikle rutubetli, ıslak kohezif zeminler üzerinde olan beton kaplamalarda, rutubet yoğunlaşması patlama türü parçalanmaları artırır [19].

Yüzeyde renk kaybı veya renklenmeler, genellikle harita çatlağı ile birlikte görülür. Koyu renkli veya kararmış bölgeler genellikle ASR'den kaynaklanmaktadır. Çatlak boyunca olan bölgelerde 2-3 mm genişlikte renk açılması, beyazlaşma, pembeleşme ya da kahverengileşme görülebilir [19].

3.2.1. Genleşme

Beton ve betonarme yapılarda ASR varlığının en tipik göstergesi harita çatlağı (map cracking) türünde bir çatlak desenidir. ASR çatlaklarının deseni, yapı yada yapı elemanlarında zemin ve/veya yük etkileri ile oluşmuş çatlak düzeninden çok farklıdır. Basınç, çekme, kesme, oturma vb. nedenlerle oluşmuş çatlaklardan kolayca ayırt edilebilir. ASR çatlakları ileri yaşlarda veya ileri safhalarda kapalı eklem yerleri, pullanmış beton yüzeyler, kapak atma veya yapı elemanının farklı kısımlarının birbirlerine göre konumlarında kayma şeklinde kendini gösterir [22].

ASR'nin betonda yarattığı bozulmalar çok yavaş seyrettiği için ileri boyuttaki bozuklukların, ani göçmelerin oluşma riski azdır. ASR, yapının servis hizmetinde problemlere yol açabilir. Ayrıca tuzlu su, sülfat etkileri, tabii don ve donma çözülmenin etkilerinin hızlanmasını ve artmasını sağlar. Örneğin beton kaplamalarda ASR nedeniyle oluşan harita çatlağı biçimindeki çatlaklardan içeri giren su veya tahripkar tuzlu suların donma çözülme etkisi ile parçalanma hızlanır ve artar. Benzer şekilde ASR dışında başka nedenlerle oluşan çatlaklardan içeri giren tahripkar tuzlu

sular veya su, ASR'nin oluşumuna ve/veya hızlanmasına ve oluşturacağı hasarların artmasına neden olabilirler. Hidrolik barajlarda ASR daha ciddi bir öneme sahiptir. Özellikle yüksek hızlarda dönen güçlü ekipmanların ankrajı ve ASR ilişkisi çok önemlidir [23].

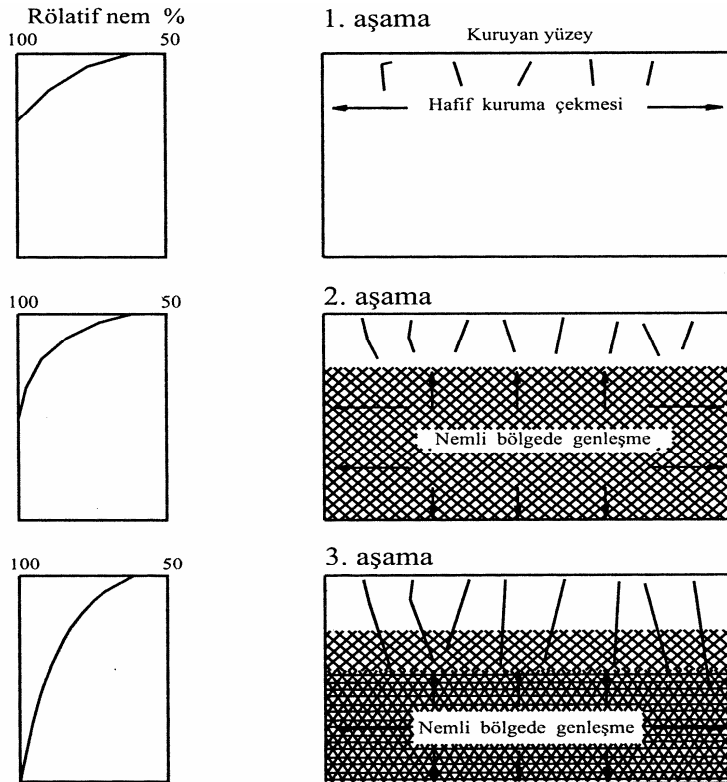
3.2.2. Çatlaklar

ASR'nin betondaki en tipik görülebilir etkisi harita çatlağı şeklindeki çatlak ağıdır. Çatlakların doğru tanımlanabilmesi için, donatı durumu, gerilme doğrultusu, mesnet koşulları ve diğer sınır koşulları ile renk değişimleri ve yüzey koşullarının çok iyi ve doğru saptanması gerekir. Geniş çatlaklar kolay fark edilebilir. İnce çatlaklar her zaman kolay görünmezler. Ancak yüzey ısıtılıp bir süre kurumaya bırakıldığında, yüzeyde çatlak olmayan yerlerdeki suyun, çatlaklardaki sudan daha çabuk buharlaşması nedeniyle kılcal çatlaklarda kolayca fark edilebilirler. Bu nedenle beton yüzeylerin yağmur sonrasında izlenmesi iyi bir zamanlamadır [24].

ASR'nin oluşturduğu jelleşme, agrega taneciği içinde veya agrega taneciği çevresinde reaksiyon halkası biçiminde gelişebilir. Bulabildiği ölçüde su emerek enerjisini boşaltan bu jel, su emdikçe hacimsel olarak büyür. Hacim artışı beton içerisinde 10 Mpa veya daha büyük çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. İyi bir yapı malzemesi olan betonun, gerçekte basınç yükü taşıyan malzeme olması, çekme dayanımının iyi olmaması ve çekme dayanımının, basıncın yaklaşık 1/8, 1/10'u kadar olduğu göz önüne alınırsa, ASR'nin BS 40 olan betonları bile kolayca çatlatabileceği açıktır [21].

Beton kaplamalarda ve bordürlerde ASR'nin neden olduğu genişmeden dolayı oluşan çatlamlar, önce rutubetin fazla olduğu serbest uçlarda ve birleşme yerlerinde oluşur. ASR çatlakları genelde enine birleşimlere dik ve serbest yol kenar uçlarına paralel ve asfalt kaplamaya karşı yöndedirler. Bu çatlaklar genellikle harita çatlağı şeklinde gelişim gösterirler. Sürekli donatılı kaplamalarda ASR çatlakları donatıya paralel gelişir. Trafikten ileri gelen statik ve dinamik yüklenmeler, ASR'nin neden olduğu çatlakların genişlik ve oluşum hızını arttırır. Şekil 3.3' de beton kaplamalarda ASR çatlaklarının gelişim hızı ve aşamaları verilmektedir. İlk aşamada kuruma

büzülmesinden kaynaklanan kılcal çatlaklar oluşur. İkinci safhada beton içinde oluşan ASR'nin neden olduğu genleşme ve çatlamlar gelişir. Üçüncü aşamada, yüzeyde sürekli kuruma, içe giren suyun reaksiyon hızını ve arttırışı gözlenir. Bu model özel olarak beton kaplamalar için oluşturulmuş olmasına karşın, olayların sırası diğer yapılarda da buna benzerdir [25].



Şekil 3.3. Zemin üzerinde yanal basınca maruz kalmayan beton kaplamalarda ASR çatlakları için model

ASR çatlakları, beton bünyesine giren suyun donup-çözülmesi sonucu oluşan çatlaklardan ayırt edilmelidir. Donma-çözülme çatlakları genellikle enine birleşim derzlerine ve serbest kenarlara paraleldirler. ASR ve donma-çözülmenin neden olduğu çatlaklar arasındaki farklılıklar şu şekildedir;

- İlk aşamada kaplama yüzeyindeki hızlı buharlaşma nedeniyle yüzeyde su kaybının neden olduğu büzülmeden dolayı çok kılcal çatlaklar oluşur. Bu aşamada ASR'nin neden olduğu çatlaklar gözlenemez. Beton bu aşamada stabildir ve bu halini uzunca bir süre korur [26].

- ASR'de ikinci aşama betonun yapıdaki yerine yerleştirilmesinden aylar hatta yıllar sonra başlayabilir. Reaktif agreganın fazlalığı ve PH değeri yüksek por çözeltileri bu aşamaya geçişi ve bu aşama süresini kısaltır. İkinci aşamada jel oluşumu ve gelişmenin neden olduğu çatlaklar oluşur ve gelişir. Jel hem agrega taneciği çatlaklarının içinde hem de agrega dış yüzeyinde oluşabilir. Jel oluşumu ilk aşamada hacimsel küçülmeye de neden olabilir. Ancak rutubet nedeniyle suyu emen jel şişerek hacimsel olarak genişlerken beton içinde çekme gerilmeleri doğmasına neden olur [26].

Serbestçe genişemeyen, yük ya da herhangi bir nedenle genişmesi sınırlandırılmış beton yüzeyler, şişmeye karşı koyamaz ve yüzey çatlakları ayrılmaya başlar. Genişleyen yüzey çatlakları, ASR'nin oluştuğunun bir göstergesidir. Genişleyen çatlaklar, yüzey sularının beton içine girişini kolaylaştırır. Bu ise oluşan jelin artmasına ve daha çok şişmesine neden olur. Bu aşamada genişleyen çatlaklardan jelin dışarı çıkışı söz konusu olur [26].

- Üçüncü aşamada ise, sürekli kuruyan yüzeye yakın bölgelerde reaksiyon hızı yavaşlar. Ancak rutubetin fazla olduğu iç kısımlarda reaksiyon hızla devam ederek jel oluşumu, artışı ve şişme basıncında artış devam eder. Böylece çatlaklar giderek genişler [26].

ASR, reaksiyona giren silika tükeninceye veya por çözelti PH'ı yeterli miktarda azalınca ya da jelin oluşumu ve genişmesini tamamen durduracak boyutta kuruma gerçekleşinceye kadar devam edecektir. Bu üç aşamalı olarak açıklanan süreç, tamamen kesilebildiği gibi, süreli ya da sürekli olarak devam da edebilir. Örneğin yapı servis ömrü boyunca rutubete karşı korur veya rutubet söz konusu olmazsa, reaksiyon bir noktadan sonra tamamen durabilir. Ancak ortam koşulları reaksiyona olanak sağladığında ASR yeniden başlayacaktır [26].

Beton kaplamalar ve bordürlerin dışındaki yapılarda gözlenen ASR çatlaklar, genellikle yapı betonlarının sürekli veya tekrarlanan su etkilerinin (rutubetinin) söz konusu olduğu kısımlarda daha çok, daha geniş ve daha tahripkardır. Örneğin iskelelerin suya yakın bölgeleri, köprü, menfez, alt geçit, üst geçit ve viyadük kanat

duvarlarında, beton bordürlerin alt kısımlarında, liman mendireklerinde, ve kolon tipi düşey elemanlarda (kılcalık nedeniyle su girişinin etkisiyle) ASR çok daha fazla tahripkardır [27].

Herhangi bir yönde basınç etkisi söz konusu olmadığında, betondaki ASR çatlakları rastgele yönlerde dir. Ancak kolon tipi düşey yük etkisinin fazla olduğu elemanlarda basınç yükü (düşey yük) etkisi nedeniyle, düşey doğrultuda beton serbestçe genişleyip deforme olmadığından, ASR çatlakları düşey yük doğrultusunda daha geniş ve düşey çatlaklar çıplak gözle bile oldukça net bir şekilde görülebilirler [20]. Çünkü yanal doğrultularda beton genişleme ve deforme olmasını engelleyen herhangi bir yanal bir basınç söz konusu değildir. Ancak düşey basınç yüküne dik, yani yere paralel doğrultudaki çatlaklar çoğu kez gözle fark edilemeyecek kadar kılcal boyutta ve azdır. Boyuna donatılar basınç gerilmelerine paralel olduğundan, doğrusal ASR çatlakları, kabaca donatıya paraleldirler. Çeliğin korozyonu nedeniyle oluşan çatlaklar hemen tam donatı üstünde gelişirken, ASR çatlakları donatılar arasında ve donatılara paralel olarak oluşup gelişir. Donatı iki yönde de eşit aralıklarda ise, kabaca dikdörtgen desenli çatlaklar gelişir [28].

Donatısız beton yapılarda ise çatlak desenini daha çok yapının serbestçe genişleyip deforme olmasını engelleyen sınır koşulları belirler. Donatısız beton barajlarda, yatay doğrultuda betonun serbestçe genişleyip genişmeyi ve deformasyonunu sınırladığından çatlaklar düşey doğrultulu değildir, tersine düşey doğrultuda deformasyonu sınırlayan koşullar olmadığından çatlaklar yatay doğrultuludur [26].

3.2.3. Yüzey birikintileri

Beton çatlakları boyunca beyazdan griye kadar değişen renklerde ASR jeli ya da kalsiyum karbonat tortuları görülebilir. Bu birikintilere bazen yüzey tortuları veya salgıları da denir. Çatlaklardan dışarı sızan bu maddeler beyaz sarımtırak ya da renksiz, viskoz, akışkan, mumsu, elastik yapışkan veya sert olabilirler [21].

Yüzey birikintileri ASR jelinin genişmesi veya başka suların çimentodaki kireci çözmesi sonucu yüzeyde beyaz veya farklı renkte birikintiler görülebilir. Bu yüzey

birikintileri ASR ürünü olmasa bile, saha etütleri, gözlemleri ve incelemeleri sırasında renklenmeler, yüzeydeki doku özellikleri, rutubetlilik durumu, yüzey sertliği vb. farkı gözlemlerin desen ve bölgelerinin kaydının tutulması son derece önemlidir. Yüzey tortuları içinde ASR jelinin bulunup bulunmadığına ilişkin yapılacak kimyasal analizler oldukça önemli ve yararlıdır [21].

3.2.4. Popout (Yüzey patlamaları, parçalanmaları)

Yüzeydeki veya yüzeye çok yakın bölgelerdeki fragmentler, tipik bir mısır patlaması (patlamış mısır) gibi davranarak beton yüzeylerinde boyutu genellikle 25-50 mm. arasında değişen oyuklar, çukurlar oluştururlar. Kum taneciği boyutundaki parçacıkların neden olduğu pop-out türü patlama ve parçalanmalar daha küçük boyutlu çukurlar oluştururlar. Çukurda genellikle, oyuk tabanında parçalanmış çatlamış bir agrega parçacığı bulunur [21].

Beton yüzeyindeki bu tür çukurların varlığı ve durumları, betonda kullanılan agreganın kalitesi hakkında önemli ipuçları, bilgiler verirler. ASR'nin neden olduğu genişmeden kaynaklanan pop-out'lar, beton yüzeyinin hemen altındaki ASR jelinin potansiyel enerjisinin boşaltılması, basınç fazlasının giderilmesi isteğinin bir sonucudur. Pop-out bölgesinde jel bulunması ise, ASR varlığının çok önemli bir kanıtıdır [21].

İleri yaşlarda ASR kopmalarının gelişmesi, artması kaplama betonlarında daha çok görülür. Özellikle rutubetli, ıslak kohezif zeminler üzerinde olan beton kaplamalarda rutubet yoğunlaşması pop-out türü parçalanmaları arttırır. Pop-out sonrası oluşan çukur yüzeydeki agregaların incelenmesi ile parçalanmaların nedeni açıklanabilir [21].

Bu tür kopma veya parçalanmalar, genellikle bir yüzey düzgünlük sorunudur. Çok yüksek hızların söz konusu olduğu havaalanı pistleri dışında, diğer kaplama veya başka yapılarda pop-out kopmaları çok ciddi bir sorun yaratmaz. Ancak yinede pop-out parçalanmalarını önleme yolları mevcuttur.

Bunlar;

- Zorunlu ve gerekli olmadıkça, düzgün çelik master yada mala ile kaymaklanmış çok düzgün pürüzsüz yüzeyler oluşturulmamalıdır.
- Kür metodu olarak, zorunlu olmadıkça kür maddeleri poliflimler, kür kaplama elemanları (kağıt) yerine ıslak kür maddeleri, su ile sisleme veya pülverize su püskürtme gibi ıslak kür metotları tercih edilmelidir.
- Katkılı çimento tipleri (katkılı çimento, cürüflü çimento, uçucu küllü çimento, vb.) ve/veya çimentolanma özelliği olan puzolanlar kullanılmalıdır [21].

ASR kaynaklı pop-out'ların varlığı, beton yapıda mutlaka genleşme ve harita desenli çatlakların oluşacağı veya ASR'nin neden olacağı diğer etkilerinde mutlaka oluşacağı anlamına gelmez. Ancak önemszenmesi de gerekir. Pop-out türü patlama ve parçalanmalar bazen yüzeyde veya yüzeye yakın bölgede bulunan poröz bir çakmak taşının su emmesi ve suyun donması sonucu genleşme ile parçalanabilir, kopmalara neden olabilir [21].

3.2.5. Renk değişimi

Yüzeyde renk kaybı ve/veya renklmeler, genellikle harita çatlağı ile birlikte görülür. Koyu renkli veya kararmış bölgeler genellikle ASR'den kaynaklanır. Çatlak boyunca olan bölgelerde 2-3 mm. genişlikte renk açılması, beyazlaşma, pembeleşme, kahverengileşme görülebilir [21].

3.3. Alkali-Agrega Reaksiyonuna Etki Eden Faktörler

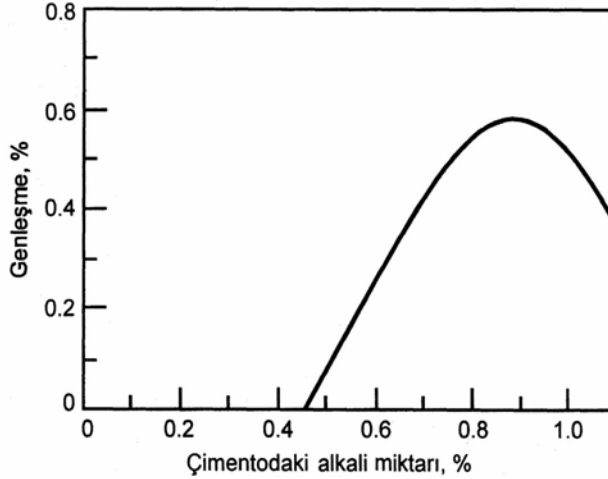
3.3.1. Karışım oranlarının etkisi

Reaktif agrega içeren bir betonun karışım oranlarını değiştirerek betonun reaktif agrega içeriği ve hidroksil iyonu konsantrasyonu değiştirilebilir. Bu değişim aynı zamanda betonun sonuçtaki genleşme miktarını da etkiler. Maksimum genleşme, reaktif alkali/silis oranının 3.5 ile 5.5 olması durumunda meydana gelmektedir. Harç ve betonların bu davranışı pratikte önemlidir.

Su altında saklanan numunelerin genleşmesi su/çimento oranına bağlı iken su altında su altında saklanmayan numunelerde reaksiyon, su buharının difüzyon hızına bağlı olarak kontrol edilmektedir [29].

3.3.2. Alkali içeriğinin etkisi

Hidrolik bağlayıcıların büyük çoğunluğunun hammaddeleri içinde gayri saf olarak alkalin mineraller bulunmaktadır. Bu, çimentolar içinde sodyum ve potasyum elementlerinin alt bileşenlerinin çoğu zaman bulunacağı anlamındadır. Bunların çimento içindeki oranları %1.3'ü pek aşmadığı halde çimento ve beton özelliklerini genellikle olumsuz yönde etkilerler. Bu maddeleri çimento üretim süreçlerinde bertaraf etmek güç ve ekonomik açıdan imkansız görülmektedir. Bu nedenle beton üretenlerin zararlı etkileri iyice bilmeleri ve önlem almaları zorunludur. Şekil 2.4' de görüldüğü gibi çimentodaki alkali miktarının yaklaşık % 0,5'den başlayarak % 0,9'a kadar yükselmesi durumunda, genleşme miktarında artma olmaktadır [30].



Şekil 3.4. Çimentodaki alkali miktarının alkali silika genleşmesine etkisi [30]

Betonda kullanılan çimentonun alkali içeriğinin değişmesi, betonun hidroksil iyon konsantrasyonunu, betonun alkali içeriğini ve reaktif silis/alkali oranını değiştirir [29].

ASR ile ilgili olarak alkali terimi genellikle, portland çimentosu bünyesinde bulunan sodyum ve potasyum alkalileri ifade etmek için kullanılır. Portland çimentosu, beton

bünyesinde mevcut alkalilerin önemli bir kaynağıdır, ancak betona, karışım suyu veya agrega gibi diğer bileşenler yoluyla da alkaliler girebilir. Gerçekte alkali taşıyan agregalar ASR ye neden olan alkaliler için önemli diğer bir kaynak olabilir ve yüksek alkaliye sahip çimento kullanılan betonda, agregadan gelenle birlikte çok daha yüksek alkali seviyeleri meydana gelir. Düşük alkaliye sahip çimento kullanılmış bazı döşeme betonlarında da ASR nedeniyle hasar meydana gelme nedeni olarak agrega da mevcut alkalinin katkısıyla reaksiyon sonucunda hasara neden olacak miktarda jelin meydana gelmesi olarak gösterilmektedir [31].

Beton alkalitesi arttıkça ASR potansiyeli de artar. Kanada ve Avrupa’da beton alkalitesi bir kavram olarak ele alınmakta, arazi performansı bir kılavuz olarak kullanılarak ASR kontrolü için beton alkalitesi ile ilgili sınırlamalar oluşturmaktadır. Bu kriter ana bağlayıcı olarak portland çimentosu, yani PÇ türü çimentoların kullanıldığı betonlar için iyi bir kriterdir. Bu kriter, beton özelliklerini iyileştirme amacıyla kullanılan ve çimentolanma özellikleri olan mineral katkıların kullanıldığı betonlar için de uygulanabilir. Beton alkalitesinin kriter olarak kullanımı halinde en doğru yaklaşım, betonu oluşturan tüm bileşenlerin alkalitesi göz önüne alınarak beton alkalitesinin belirlenmesidir [21].

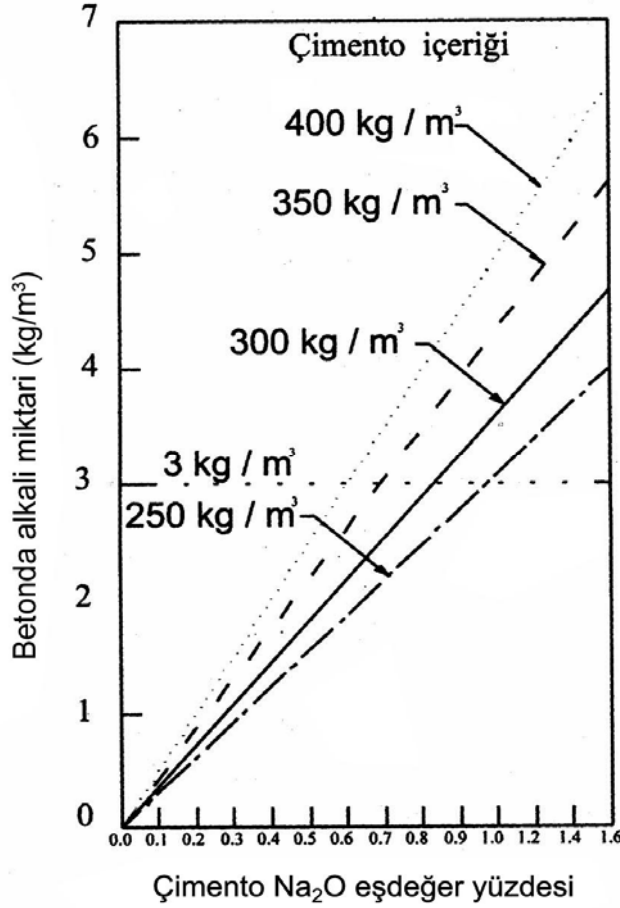
Ancak genelde sadece çimento ve çimentolanma özelliği olan malzemelerin alkalitesi göz önüne alınmaktadır. Çünkü diğer beton bileşenlerinin beton alkalitesine etkisi azdır. Bu nedenle beton alkalitesi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır [21] ;

$$[M_{\text{çimento}} (\text{kg/m}^3) \times \text{Çimentonun } \text{Na}_2\text{O} \text{ Eşdeğeri } \% \text{ ' si }] = 1\text{m}^3 \text{ Betondaki Alkali Miktarı } (\text{kg/m}^3)$$

Eğer betona katılan ve çimentolanma özelliği olan malzemeler veya beton kimyasal katkıları ile mineral katkıları varsa, bunlardan ileri gelen ilave alkali miktarı da göz önüne alınıp yukarıdaki eşitlikte belirlenen beton alkalitesine eklenmelidir [21].

Potansiyel bir alkali silika reaksiyonu (ASR) tehlikesi söz konusu olduğunda Kanada ve Avrupa ülkelerinde betondaki alkali miktarı 3 kg/m^3 ile sınırlanmaktadır [21].

Şekil 2.5.' de çimento dozajı ve çimentonun sodyum oksit (Na_2O) eşdeğeri %'sine bağlı olarak 1 m^3 betondaki alkali miktarı verilmektedir [32].



Şekil 3.5. Çimento Na_2O eşdeğeri %'si çimento dozajına bağlı olarak beton alkali miktarları [32]

Amerika Birleşik Devletlerinde beton alkalinitesi kontrol etmek için, çimento alkalinitesinin düşük düzeyde tutulması (düşük alkalili çimento) benimsenmektedir. ASR'nin neden olduğu genleşmenin azaltılması için düşük alkalili çimento kullanımı genelde kabul gören ve başarılı olan bir methodudur. ASTM C 150'de düşük alkalili çimento olarak Na_2O eşdeğeri %'si 0.60'dan az olan çimentolar kabul edilir. Düşük alkalili çimento kullanılsa bile;

- Betonda su veya bağıl nemin hareketi sonunda belli noktalarda alkali konsantrasyonu oluşursa,
- Agrega aşırı derecede reaktif ise,

- Betonda kullanılan mineral ve kimyasal katkılardan, karma suyu ve agregadan yeterli miktarda alkali ilavesi söz konusu oluyorsa,
- Çimento dozajının çok yüksek olması nedeniyle beton alkalinitesi çok yükseliyorsa, ASR tehlikesi söz konusu olabilir [21].

Bir başka yaklaşımda ise alkali miktarının toplam oksit miktarıyla ve özellikle Na₂O alkali eşdeğeri ile verilmesi yetersiz ve hatta yanıltıcıdır. Beton özelliklerine etkileyen toplam alkaliler değil arayer sıvısında çözünebilen alkali iyonlarıdır. Ayrıca potasyum ve sodyum iyonlarının etkileri, her olayda çok farklıdır, potasyumu miktar olarak sodyuma indirgeyerek sorunları basitleştirmek hatalıdır [33].

3.3.3. Reaktif agreganın cinsinin ve tane büyüklüğünün etkisi

Betonda ASR'nin 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 camsı (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 reaktifdir. Çizelgede reaktivite seviyelerine göre mineral ve kayaçlar belirtilmiştir [29].

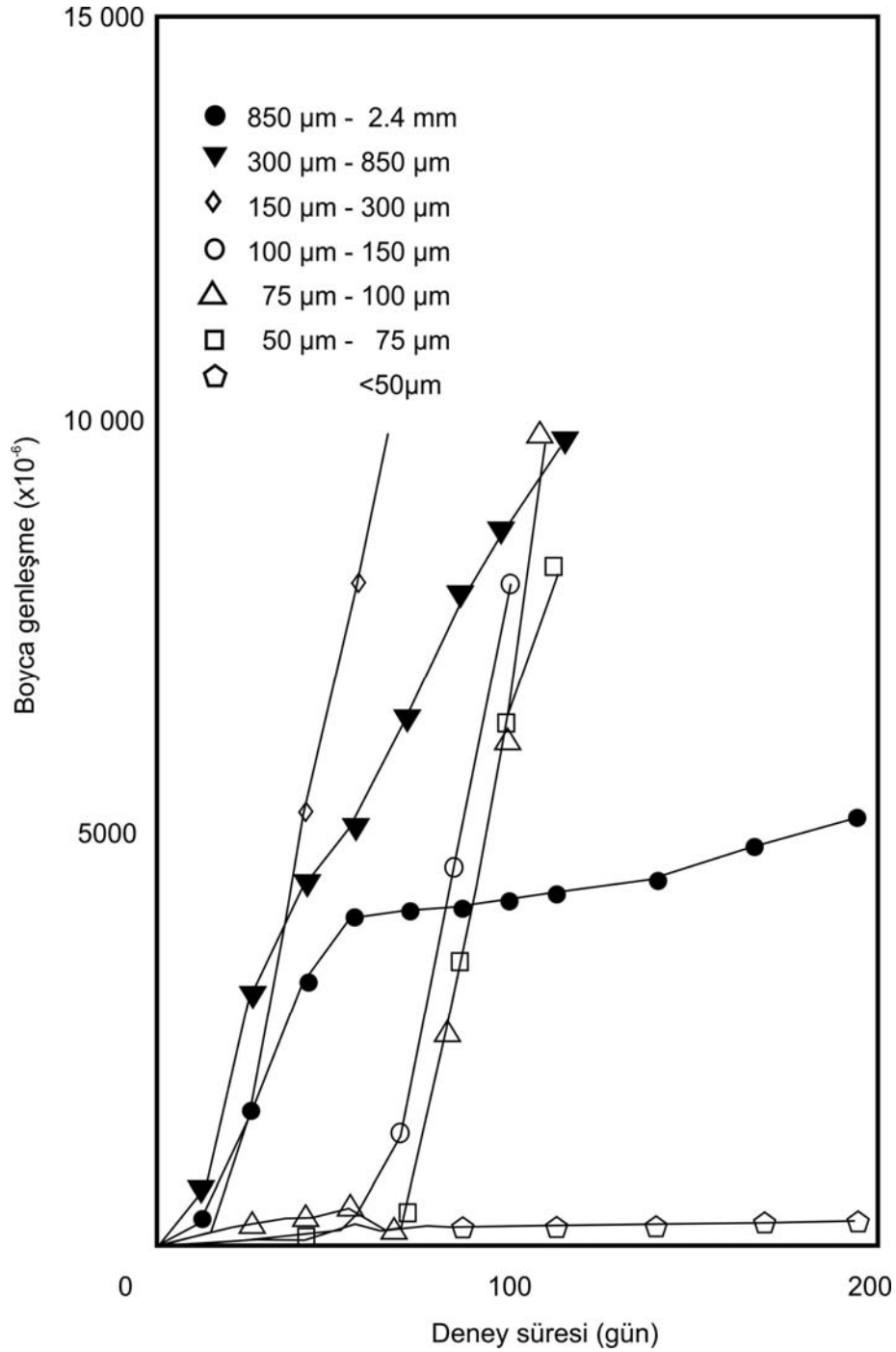
Tablo 3.1. Reaktivite seviyelerine göre mineral ve kayaçlar [29]

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

Agrega içinde ne kadar reaktif mineral bulunduğu zaman beton genişmesinin 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 agrega içinde bulunan bütün aktif silise yeterli olmayışından ve etkisiz derecede alkali silis jeli teşekkül etmesinden ileri gelmektedir [34].

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 agrega kullanılması durumunda genişlemenin maksimum olduğu görülmektedir. Ancak, 75 µm altındaki boyutlarda reaktif agreganın fazla miktarda bulunması halinde genişme 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 [31].

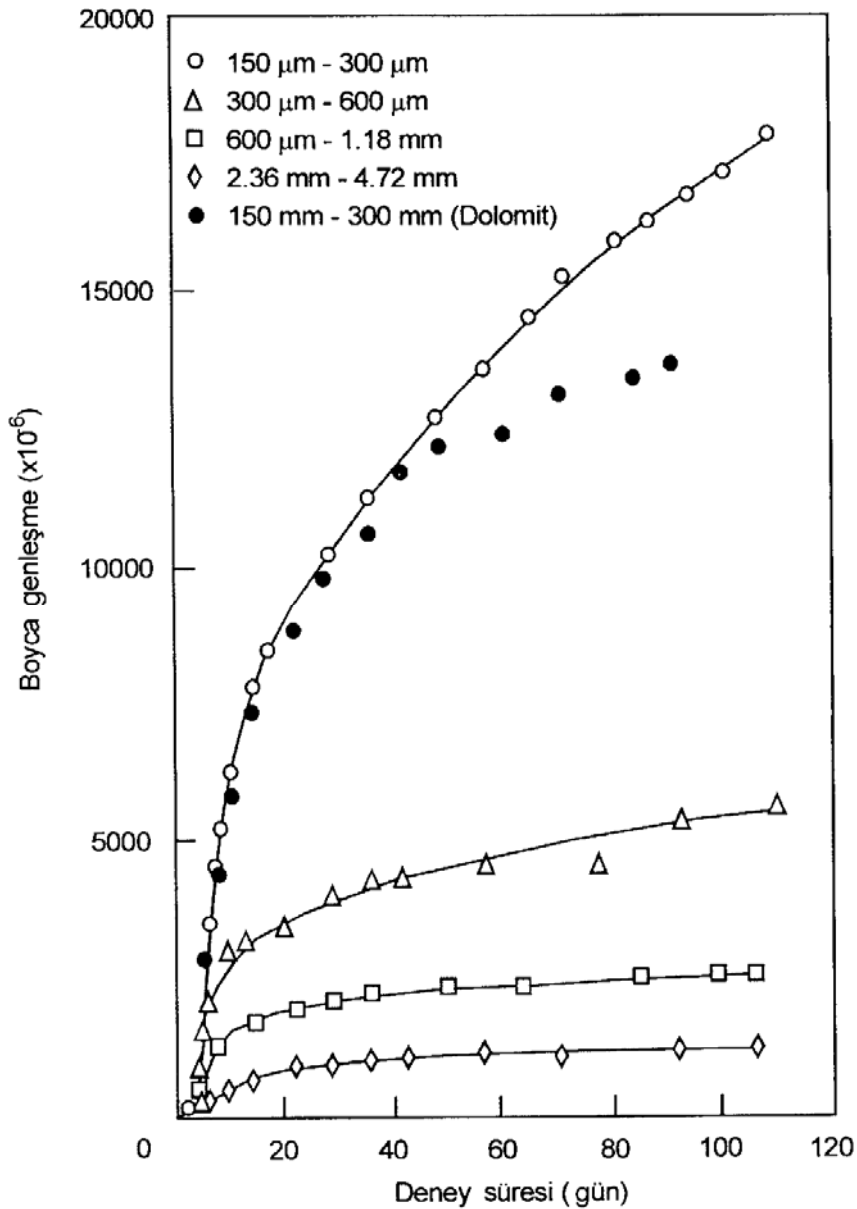
Vivian (1951) ve Zhang (1999) reaktif agrega olarak opal yumrusu içeren harç prizmalarında yaptıkları deneylerde, en fazla boyca genişmeyi 150–300 µm arasında tane boyuna sahip harç prizmalarında ölçmüşlerdir (Şekil 3.6.) [35].



Şekil 3.6. Farklı reaktif agrega tane boylarına sahip harç prizmalarının boyca genişmesi [35]

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 [36].

Hobbs ve Gutteridge (1979) tarafından yapılan diğerk bir çalışmada ise, deneylerinde reaktif agrega olarak opal-A minerali içeren Beltane opalini kullanmışlardır. Deneylerde kullandıkları çimentonun eşdeğerk alkali içeriği $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eşdeğerk}}$: %1,15 dir. 25x25x250 mm boyutlarındaki harç prizmalarında yaptıkları boyca genleşme ölçümlerinde, en fazla genleşmeyi 150-300 μm arasında tane boyuna sahip harç prizmalarında meydana geldiğini belirlemişlerdir (şekil 3.7.) [37].

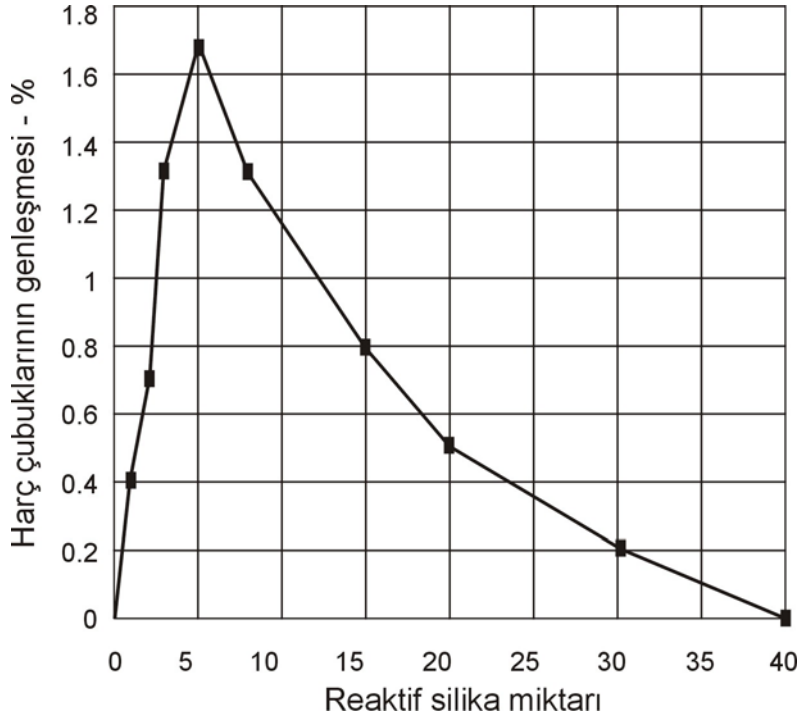


şekil 3.7. Farklı reaktif agrega tane boylarına sahip harç prizmalarının boyca genleşmesi [37]

Günümüzde, reaktif agregaları ve mineralleri tespit etmek petrografik incelemelerle mümkün olmaktadır. Bununla birlikte mikroskobik tespitlerle yapının uğradığı hasarlar arasında doğrudan bir ilişki kurmak zordur [38].

Bazı durumlarda ASR'nin sebep olduğu betondaki genişmenin miktarı, agregadaki reaktif bileşenin artışı ile artmaktadır. Buna karşılık, diğer pek çok durumda, maksimum genişme oluşması, diğer şartlar aynı kalmak kaydıyla, agregada bulunan reaktif bileşen miktarının belirli bir değeri içindir [37]. Agregadaki reaktif bileşenin bu sınır değerinden az ya da çok olması genişme miktarını azaltır. Bu durum literatürde "Sınır Değer Davranışı" olarak tanımlanmaktadır [39].

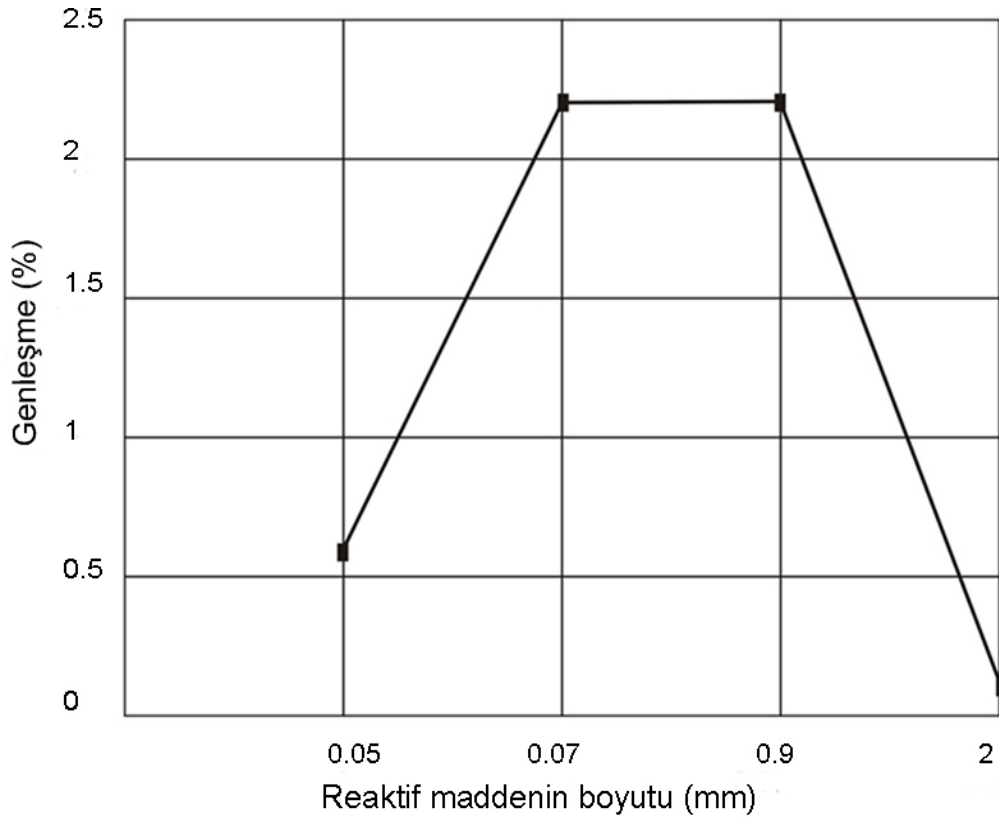
Herhangi bir agreganın en yüksek genişmeyi veren reaktif madde içeriği değeri, daha düşük su-çimento oranında ve daha yüksek çimento dozajlarında artar. Şekil 3.8.' de reaktif madde miktarının genişmeye etkisiyle ilgili bir araştırmanın sonuçları verilmiştir [40].



Şekil 3.8. 224 günlük genişme ile agregadaki reaktif silika miktarı arasındaki bağıntı [40]

Şekilden görüleceği gibi reaktif silika miktarı % 5 oranına doğru arttıkça alkali agreganın genişmesinde de artma olmaktadır. Ancak % 5 üzerindeki artma daha düşük genişlemelere 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 [41].

Sınır değer davranışına benzer olarak, reaktif agregaların betonda maksimum genişme verebilmesi için ideal boyutta olmaları gerekmektedir. Şekil 3.9.' da görüleceği gibi, genişme orta boyuttaki reaktif taneciklerde en yüksek miktardadır [41].



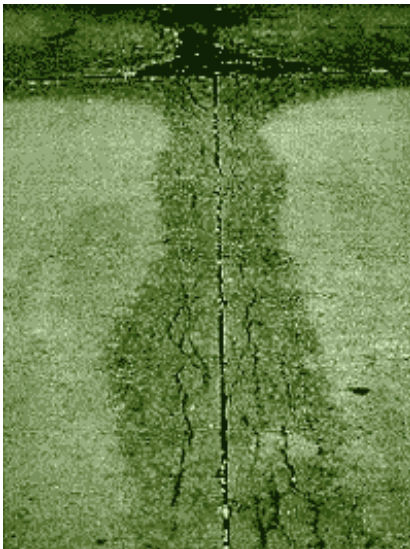
Şekil 3.9. Agregadaki reaktif silika bileşeni boyutunun, alkali agreganın genişmesine etkisi [41]

3.3.4. Dış alkalilerin etkisi

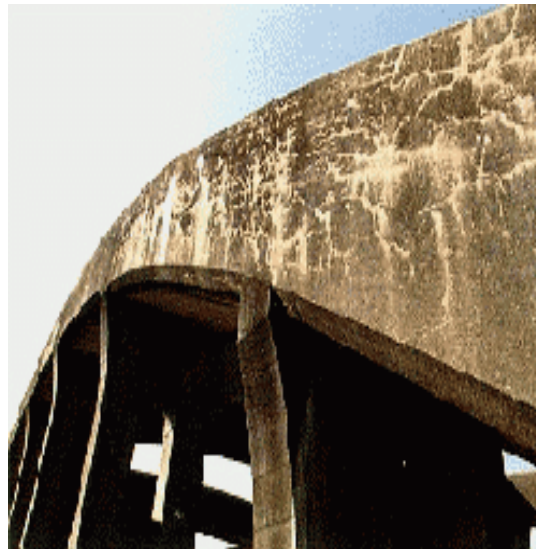
Kar mücadelesinde kullanılan tuz (NaCl), deniz suyu, beton kür suyu ve endüstriyel atık suları aracılığıyla beton bünyesine dışarıdan giren alkaliler, dış alkaliler olarak adlandırılır. Özellikle geçirimli betonlarda ve/veya çatlaklar oluşmuş betonlarda dış alkaliler ASR'nin neden olduğu genleşmeleri artırır [19].

Deniz suyunun sertleşmiş betonda oluşan ASR genleşmelerini artırıcı etkisi, hidrate C_3A ve portlandit bileşenlerinin NaCl ile oluşan reaksiyonu sonucu OH^- miktarının artması sebebiyledir [31].

Betonda çimentolanma özelliği olan mineral katkıları kullanarak daha sıkı dokulu beton elde etmek ve su/çimento oranı düşük iyi sıkıştırılmış dayanımı yüksek az geçirimli beton üretmek suretiyle dış alkalilerin betona girişi yavaşlatılabilir. Böylece ASR etkisi azaltılabilir. Koruyucu kaplama ve sızdırmazlık önlemleri, deniz suyu ve buz çözücü tuz çözeltilerinin beton bünyesine girişinin engellenmesi bakımından anlamlıdır. Ancak bu önlemlerin bir kısmı, özellikle köprü, viyadük gibi sanat yapılarının veya yürüme yollarının kaplama betonları için pratik yol olarak görülmemektedir [42].



(a)

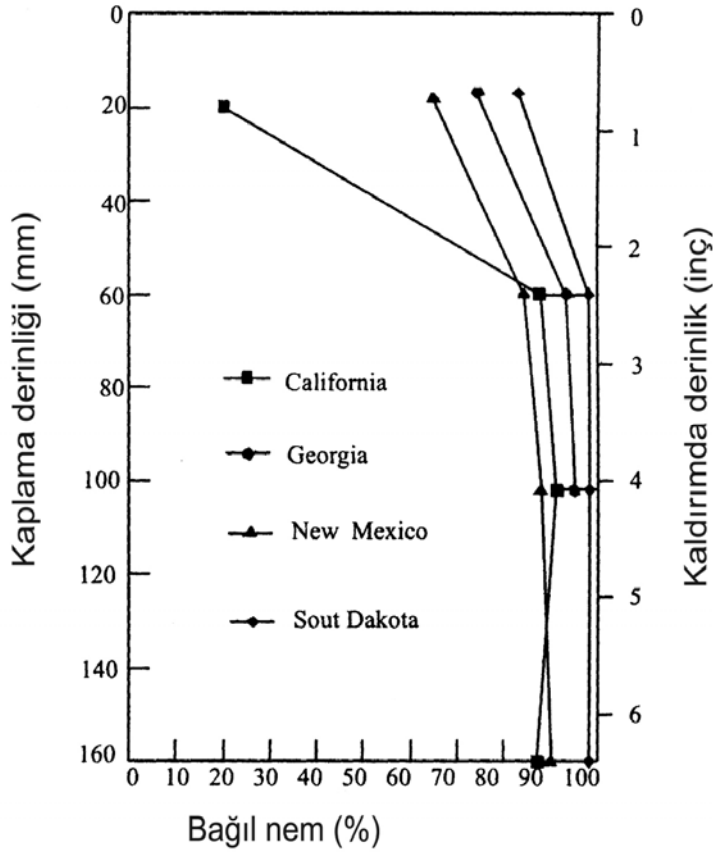


(b)

Şekil 3.10. a) Beton yollarda görülen ASR etkisi (Amerika), b) Köprülerde görülen ASR etkisi (Amerika) [31]

3.3.5. Rutubetin etkisi

Yeterli miktarda nem bulunması, kimyasal reaksiyon sırasında ortaya çıkan alkali-silika jelin bünyesine su emme kabiliyeti ile genişleme basıncı oluşturması ve böylece çekme gerilmesine neden olması bakımından önemlidir. Bu nedenle ASR nedeniyle önemli ölçüde hasar, ıslak muhafaza koşullarında ve gerçek uygulamada nemli çevre koşullarında meydana gelir. Diğer taraftan kütle betonunda, nem kaybının az olması nedeniyle, bünyede, zararlı oranda genişlemeye neden olabilecek düzeyde nem bulunabilir. Geniş boyutlu yapısal elemanlarda da, çoğu beton karışımlarında, ASR'nin oluşması ve genişleme meydana getirmesi için gerekli su, karışım suyunun hidratasyonda kullanılmayan kısmı olarak bulunur. Bu nedenlerle jel nispeten kuru çevre şartlarında da oluşabilir, ancak daha ileri düzeyde genişleme ve hasara neden olabilmesi için ilave suya ihtiyaç vardır. Nemli betonun bina iç kısımlarında kuru ortamda (atmosferdeki bağıl nem $< \%75$) bulunması durumunda muhtemelen ASR nedeniyle hasara karşı emniyetlidir, ancak yağmur, deniz suyu veya yer altı suyu etkisinde kalan betonlarda daima ASR nedeniyle hasar riski mevcuttur. Çöl gibi kuru iklim bölgelerinde, iyi kür edilmiş betonlarda beton yüzeyinin hemen altında bağıl nem $\%80$ veya daha yüksek olabilmektedir. Şekil 3.10.' da bu ilişki görülmektedir. Bu nedenle, zemin kaplamaları, istinat duvarları, temeller ve barajlar ASR tarafından kolaylıkla etkilenebilir [18].



Şekil 3.11. Farklı iklimlerdeki beton kaplamalarında derinlik bağlı nem ilişkisi [43]

Düşük su / çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir metotla beton geçirgenliği azalır; rutubetin betona girişi ve beton içerisinde yayılması azalır. Dolayısı ile beton içerisinde alkalilerin yayılması da azaltılmış olur [43].

3.3.6. Sıcaklığın etkisi

Sıcak iklim koşullarındaki yapılar, soğuk iklim koşullarına göre ASR' ye karşı daha duyarlıdır. Çünkü, ASR' nin hızı, sıcaklık arttıkça artar. Sıcaklık etkisi agregaların büyük çoğunluğunda aşırı termal genleşmelere neden olur. Bazı agregalarla 13-20 °C aralığında yapılan ASR genleşme ölçümleri sonuçlarının, 38 °C 'de yapılan ASR genleşme ölçümlerinden daha küçük genleşme değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Yüksek ve düşük sıcakların genleşmeye etkisi agreganın yapısına da bağlıdır. Agreganın büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktiflik göstermektedir [18].

Agrega reaktivitesinin oluşumunda süre ve çevre koşullarını kontrol altına almak mümkün değildir. Normal şartlarda reaktif olmayan bazı agregalar sıcaklığın 35-45 °C' ye çıkmasıyla zararlı genleşme reaksiyonları meydana getirebilir. Birçok yapı kullanım ömrü boyunca zaman zaman bu tür çevre şartlarına maruz kalabilir [14].

3.3.7. Sürüklenmiş havanın etkisi

Reaktif agregaya içeren ancak ASR sebebiyle hasar görmeyen yapılar incelendiğinde, jelin hava boşluklarını tamamen veya kısmen doldurduğu görülmektedir. Hava katkısı kullanılan betonlarda oluşan çok küçük çaplı ve aralıklı hava kabarcıkları (ortalama 50 µm çaplı, 200-250 µm aralıklı) beton içinde oluşan buzun genleşme etkisini karşıladıkları gibi jelin genleşme etkisini azaltarak betonun hasar görmesini önleyebilirler [19].

Bundan dolayı, jelin hasar görmemiş betonda hava boşluklarını doldurarak ilerlediğini ve hava sürükleyici katkı kullanımının ASR sebebiyle oluşan hasarı önleyebileceği söylenebilir [31].

3.4 Alkali-Agrega Reaksiyonunu Kontrol Altına Alma Yöntemleri

ASR'yi önlemenin en iyi yolu beton dökülmeden önce gerekli önlemleri almaktır. Bunun için bağlayıcı malzemelerin ve agregaların dikkatlice analiz edilmesi, malzeme seçiminin verimliliğini ve ekonomikliğini optimize eden bir kontrol stratejisinin seçilmesi gerekir. ASR'yi önlemek için malzeme seçiminde şu konulara dikkat edilmelidir :

- Aktif silis içermeyen agregaların tercih edilmesi
- Betonun alkali içeriğini sınırlamak
- Ortamın nemini kontrol altında tutmak
- Katkı maddesi kullanımı [29]

Kaliforniya Ulaşım Bölümünün (CALTRANS) yaptığı bir çalışma sonucu aldığı tavsiye kararı da bu görüşleri desteklemektedir. Konuyla ilgili değerlendirmeler şu şekildedir :

- 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.
- Katkılardaki yüksek kalsiyum oksit (CaO ya da 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 portland 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 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 [44].

Amerika'da bazı bölgelerde ASR kontrolünde granüle yüksek fırın cürufu yaygın olarak kullanılmaktadır. Cüruf, etkin olabilecek uçucu kül oranından genellikle daha yüksek dozlarda (%25-50) kullanılmaktadır [44].

Beton alkalitesi söz konusu olduğunda sadece çimento ve çimentolanma özelliği olan malzemelerin alkalitesi göz önüne alınmaktadır. Diğer beton bileşenlerinin beton alkalitesine etkisi azdır [21].

Potansiyel bir ASR tehlikesi söz konusu olduğunda Kanada ve Avrupa ülkeleri ile BS 5328 standardında reaktif agrega içeren betondaki alkali miktarı 3 kg/m^3 ile sınırlandırılmaktadır [44].

ASR'nin neden olduğu zararlı genleşmeyi azaltma yönünde katkılı çimento kullanımının da olumlu yönde etkisi vardır. Portland kompoze çimentoda klinkerin yanındaki diğer ana bileşen cüruf ise limit değer olarak %1,2 Na_2O eşdeğeri önerilmektedir. %0,6 Na_2O eşdeğerli portland çimentosuyla aynı performansı gösterecektir [45].

BÖLÜM 4. ALKALİ-AGREGA REAKSİYONUNU BELİRLEME YÖNTEMLERİ

4.1. Alkali-Agrega Reaksiyonunda Kullanılan Deney Yöntemleri

Alkali –agrega reaksiyonunun belirlenmesi için değişik deney metotları geliştirilmiştir. Bu deney metotları ASR'nin genleşme özelliğinden yararlanılarak yapılan deneyler ile kimyasal yolla yapılan deneyler olarak ikiye ayrılabilir. ASR'nin tespiti için kullanılan deney metotları, bu deney metotlarının süresi ve amacı hakkında genel bilgi Tablo 4.1.' de verilmiştir.

Tablo 4.1' de bulunan test metotlarından en çok kullanılan harç çubuk yöntemi (ASTM C227), hızlı harç çubuk yöntemi (ASTM C 1260), kimyasal yöntem (ASTM C289) ve beton prizma testidir (ASTM C 1293). Bu nedenle bu başlıklar birer başlık altında incelenecektir.

Tablo 4.1. Alkali-silika reaksiyonun belirlenmesinde kullanılan test metotları

Test adı	Amaç	Test özelliği	Örnek türü	Test süresi	Ölçüm	Yorum
Harç çubuk yöntemi (ASTM C 227)	Çimento-agrega bileşimlerinin alkali kaynaklı genişmelere açık olup olmadığını belirlemek	37.8°C'de su üzerinde yüksek bağıl nemde (%100) saklanan harç çubukları	En az 4 adet harç çubuğu (25x25x285 mm)	İlk ölçüm 14. gün, sonra 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12. aylar ve daha sonra gerekirse her 6 ayda bir	Uzunluk değişimi	Test özellikle karbonat agregada genişleme sergilemez. Süre uzun genişleme ASR formunda olur.
Hızlı harç çubuk testi (ASTM C 1260)	Agregada, alkali-silis reaksiyon potansiyelini belirlemek.	Harç çubuklarının 80°C'de alkali çözeltiye daldırılması.	En az 3 adet harç çubuğu (25x25x285 mm)	16 gün	Uzunluk değişimi	ASTM C 227'ye göre çok hızlı bir yöntem, yavaş reaksiyon veren agregalarda kullanışlı
Beton prizma testi (ASTM C 1293)	Çimento-agrega bileşimlerinin potansiyel ASR genişmesini belirlemek	37.8°C'de su üzerinde yüksek bağıl nemde (%100) saklanan harç prizmaları	Çimento agregası 3 adet prizma (75x75x285 mm)	İlk ölçüm 7. gün, sonra 28 ve 56. gün, daha sonra 3, 6, 9 ve 12. aylar ve gerekirse her 6 ayda bir	Uzunluk değişimi	Uzun süre gerektiriyor, ASTM C 227, 295, 289 ve 1260 da verilen yöntemlere ek olarak kullanılabilir.
Kimyasal yöntem (ASTM C 289)	Silisli agregaların potansiyel reaktivitesini belirlemek	Örnek, alkali çözelti ile 80°C'de reaksiyona sokulur.	3 adet 25 kg'lık örnek, ufalanmış ve elenmiş agrega.	24 saat	Alkalilikte azalma ve çözülen silis miktarı	Çabuk sonuç, yüksek silisli bazı agregalar düşük genişleme verebiliyor, güvenilir değil
Çimento-agrega bileşimlerinin potansiyel hacim değişimi (ASTM C 342)	Çimento-agrega bileşimlerinin potansiyel ASR genişmesini belirlemek	Su içerisinde 23°C'de saklanan harç çubukları	Çimento agregası 3 adet prizma (25x25x285 mm)	52 hafta	Uzunluk değişimi	Uzun süre çoğunlukla Oklahoma, Kansas, Nebraska ve Iowa'daki agregalar için kullanılmıştır.
Alkali-silis reaksiyon kaynaklı aşırı beton genişmelerinde mineral katkı etkisi (ASTM C 441)	ASR genişmesi kontrolünde mineral katkıların etkinliğinin belirlenmesi	Pyrex camının agregası olarak kullanıldığı harç çubukların su üzerinde 37.8°C'de yüksek bağıl nemde (%100) tutulması	3 adet harç çubuk, 3 adet kontrol çubuğu (25x25x285 mm)	İlk ölçüm 14. gün, sonra 1, 2, 3, 4, 6, 9 ve 12. aylar ve gerekirse her 6 ayda bir	Uzunluk değişimi	Yüksek reaktiviteli yapay agrega asıl agregaya benzemeyebilir, Pyrex camda alkaliler bulunur.
Doğal mineral agregaların bileşenleri (ASTM C 294)	Sık rastlanan ve önemli olan mineraller hakkında bilgi elde etmek	Görsel tanımlamalar	Farklı fakat kaynağı temsil edebilir nitelikte	Kısa süreli örneğin gözle incelenebileceği kadar	Minerallerin tanımı ve miktarları	Açıklamalar bilinen agrega kaynaklarını meydana getiren doğal mineralleri tanımlar

Tablo 4.1. (Devam) Alkali-silika reaksiyonun belirlenmesinde kullanılan test metotları

Test adı	Amaç	Test özelliği	Örnek türü	Test süresi	Ölçüm	Yorum
Beton agregalarının petrografik analizi (ASTM C 295)	Agregalarının petrografik yapısını belirlemek	Örneklerin mikroskopla gözlenmesi, elek analizi, mikroskopi, çizik ve asit testleri	Ocak bilgisine bağlı olarak değişir, 53-100 mm çaplı, 45 kg veya 300 parça yada 2 kg	Kısa süreli örneğin gözle incelenebileceği kadar	Şekil, boyut, doku, renk, mineralojik yapı, fiziksel durum	Genelde optik mikroskopi var, XRD analizi, DTA, Enfraruj spektroskopisi olabilir.
Sertleştirilmiş beton petrografik analizi (ASTM C 856)	Sertleşmiş betonun petrografik işlemlerinin tanıtımı-performansı belirleme	Çıplak gözle veya mikroskopla örnek muayenesi	1500 mm çap ve 300 mm boyunda en az bir adet karot (iç kısımdan)	Kısa süreli örnek hazırlama ve mikroskopla inceleme süresi	Agrega reaktif grubu, çatlak yön ve geometrileri, jel durumu	Örnekler stereo,polarize veya metalografik mikroskoplarla ve SEM ile incelenir.
Uranil asetat kürü (ASTM C 856 Ek)	Sertleşmiş betonda ASR ünlerini teşhis etmek	Henüz açığa çıkmış beton yüzeyin patlaması ve UV ışığı altında incelenmesi	Farklı örnekler, iç kısımdan, kırık yüzeylerden	Hızlı sonuç	Floresans yoğunluğu	Genleşmeye yol açsın veya açmasının küçük miktarlarda ASR jeli belirler.

4.1.1 . Harç çubuk deneyi (ASTM C 227)

Bu metot, belirli şartlarda kürlenmiş 25x25x285 mm boyutlarında hazırlanan harç çubuklarının belirtilen süre sonucundaki boy değişimlerinin (genleşme yüzdesi) ölçülerek çimento-agrega kombinasyonlarının alkali kaynaklı genleşmelere açık olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılır [29].

Harç çubuk yöntemi (ASTM C227) ile hızlandırılmış harç çubuk yöntemlerinde (ASTM C 1260) kullanılan harç çubukları aynı şekilde hazırlanmaktadır [45].

Harçta kullanılacak agregalar 8–16, 16–30, 30–50 ve 50–100’ nolu elek serilerinden elenerek Tablo 4.2.’ de verilen karışım oranlarında ve miktarlarında kullanılır.

Tablo 4.2. Harç çubuğu ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri için agrega 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, agrega türüne göre Su/çimento oranı ASTM C 109 “Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars” da belirtilen esaslara uygun olarak belirlenir. Bu esaslara uygun olarak dere agregası ve kırmataş harç çubuğu dökümü için gerekli malzeme karışım miktarları Tablo 4.3.’ de verilmiştir.

Tablo 4.3. Harç çubukları malzeme karışım miktarları

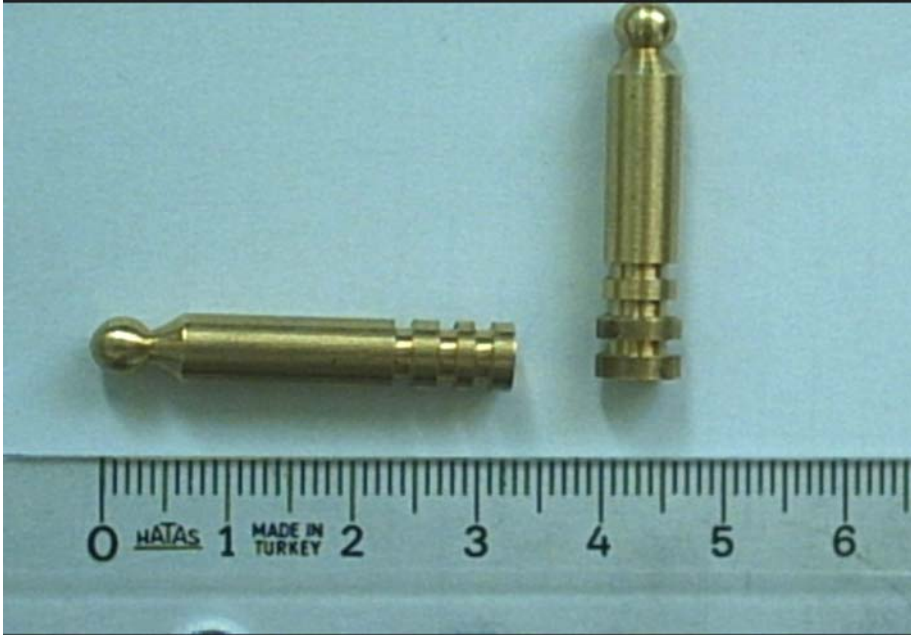
Malzeme Türü	Elek Serisi					S/Ç	Su (ml)	Çimento (gr)
	No:8	No:16	No:30	No:50	No:100			
	%10	%25	%25	%25	%15			
Doğal agrega	100 gr	250 gr	250 gr	250 gr	150 gr	0,45	199,8	444
Kırma taş agrega	100 gr	250 gr	250 gr	250 gr	150 gr	0,50	222	444

Harç çubuklarının üretiminde kullanılan çimentonun alkali içeriği en az %0,6 Na₂O eşdeğeri olmalıdır. Harç çubuklarının üretiminde, 3 adet örnek dökümüne imkan veren 25x25x285 mm boyutlarında, plastik kalıplar kullanılmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Üçlü harç çubuğu kalıbı

Resim 4.2' de görüldüğü gibi kalıba harç çubuklarının boy değişimlerini ölçmek için, 7 mm çapında ve 32 mm boyundaki pirinçten üretilmiş pimler (Şekil 2.2) kalıplarda açılan deliklere yerleştirilmektedir.



Şekil 4.2. Harç çubuklarının uçlarına yerleştirilen pim

Deney için en az 4 adet harç çubuğu hazırlanır. 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 (Şekil 4.3.) 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 (Şekil 4.4.).



Şekil 4.3. Harç çubukları (Mortar bar)



Şekil 4.4. Harç çubuğu kür kabı

Örneklerin boy ölçümleri alınmadan 16 saat önce saklama kapları kapalı bir şekilde $23 \pm 1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{F}$)’de kür odasına konarak soğumaya bırakılmalıdır. Bu işlemin ardından dijital komparatörle 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 (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Dijital komparatör ile örneklerin boy ölçümü

Birim boy değişim yüzdeleri belirlemede aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır;

$$\%L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100$$

Eşitlikte;

$\%L$ = Boy değişim yüzdesi,

ΔL = Örneğin boy değişimi (mm),

L = Örneğin ilk uzunluğu (mm),

göstermektedir.

ASTM C 227'ye göre boy değişimindeki verilerin 12. ay sonunda %0,1genleşme sınırını aşması durumunda agrega, alkali silika reaktivitesi açısından “zararlıdır” sınıflandırması yapılmaktadır. Bu test özellikle karbonat agregada genleşme sergilemez. Bu test metodunun dezavantajı test sürenin uzun olmasıdır.

4.1.2 . Hızlı harç çubuk deneyi (ASTM C 1260)

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

Deneyin için hazırlanacak harç çubukları, harç çubuk yöntemi (ASTM C 227) ile hazırlanan harç çubukları ile aynıdır. Hazırlanan en az 3 adet harç çubukları 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 4.6).



Şekil 4.6. Termostat'lı kür tankı

Bu işlemden sonra devam eden 3, 7, 14. günlerde boy ölçümleri alınarak birim boy değişim yüzdeleri harç çubuğu deney metodundaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\%L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100$$

Eşitlikte;

%L = Boy değişim yüzdesi,

ΔL = Örneğin boy değişimi (mm),

L = Örneğin ilk uzunluğu (mm),

göstermektedir.

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 [45].

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.

4.1.3 . Beton prizma deneyi (ASTM C 1293)

Beton prizma testi, 75x75x285 mm boyutlarında hazırlanan harç çubuklarının zamana bağlı olarak genişleme miktarının ölçülmesi ile, çimento-agrega bileşimlerinin alkali kaynaklı genişlemelere 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 arttırılmasıdır.

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. İnce agreganın incelik modülü 2.7 civarında olmalıdır.

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. Bu deney metodu ince agregalar için iyi sonuçlar vermeyebilir. Bundan dolayı deney sonucu reaktif çıkmayan ince agregalar özellikle saha betonlarında reaktiflik gösterebilir.

Çimento olarak Tip I çimento kullanılmalı ve toplam alkali içeriği % 0,9 Na₂O eşdeğerinde olmalıdır bu eşdeğer $(\%Na_2O + 0,658 (\%K_2O))$ şeklinde hesaplanır. Deney için hazırlanan betondaki toplam alkali miktarı çimento miktarının %1,25 kadar olmalıdır. Bu miktar, karışımda 420 kg/m³ çimento miktarı olduğu düşünülürse betonun toplam alkali içeriği 5,25 kg/m³ olur. Çimentoda bulunan toplam alkali içeriği 0,9 Na₂O olduğundan dolayı betonun alkali seviyesinin istenilen seviyeye getirilebilmesi için karışım suyuna NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi katılır ve böylece çimentoda bulunan %0,9 Na₂O değeri %1,25 Na₂O değerine yükseltilmiş olur. Karışım suyuna katılacak NaOH miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

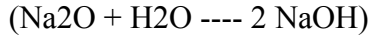
$$1 \text{ m}^3 \text{ betondaki çimento miktarı} = 420 \text{ kg}$$

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

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

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

Beton karışımına eklenmesi gereken 1,47 kg/m³ Na₂O 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;

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

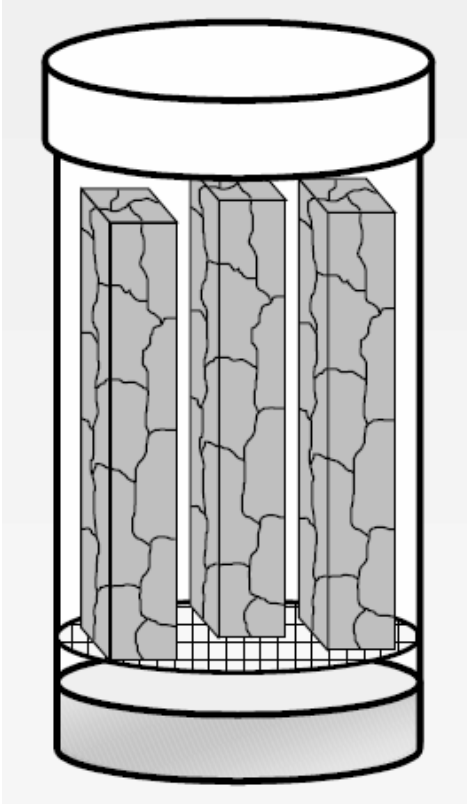
Betonda kullanılacak agreganın maksimum dane çapı 19 mm olmalıdır. Agreganın hacmi beton hacminin % 70'i kadar olmalıdır. Bu oran ayarlanırken agreganın etüv kurusu halinde olmasına dikkat edilir. Betonda kullanılan agreganın elek analizi Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 4.4 Beton prizma testi için agrega karışım oranları

Elek göz açıklığı, mm		Ağırlıkça, %
Üzerinden geçen elek	Üzerinde kalan elek	
19,0-mm	12,5-mm	33
12,5-mm	9,5-mm	33
9,5-mm	4,75-mm (No. 4)	33

Karışımında kullanılan çimento miktarı 420 kg/m^3 'tür ve 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.

Hazırlanan karışım $75 \times 75 \times 285 \text{ mm}$ ölçülerindeki 3 adet kalıba şişlenerek yerleştirilir. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında $23 \pm 1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ' 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 $37,8 \pm 1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ($100 \pm 3 \text{ }^\circ\text{F}$)'de sabit ısıdaki etüve yerleştirilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 %100 bağıl nemi sağlayacak şekilde tasarlanmış kap

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.

Harç çubuklarındaki genleşme bir yıl sonra % 0,04 veya daha fazla ise agrega potansiyel olarak zararlıdır sonucuna varılır [47].

4.1.4 . Kimyasal yöntem (ASTM C 289, TS 2517)

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 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 [48, 49].

4.1.4.1. Çözünmüş silisin tayini “kolorimetrik metot”

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;

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

Eşitlikte;

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

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

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

4.1.4.2. Alkali azalmasının tayini “titrasyon metodu”

Hazırlanan 200 ml’lik çözeltiden 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;

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

Eşitlikte;

R_c = Alkali azalması (mmol/litre),

N = Hidroklorik asidin normalitesi,

V_1 = 200 ml’lik çözeltiden 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.

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 aşağıdaki grafik yardımı ile söz konusu agreganın yeri belirlenir ve agregaların zararlı veya zararsız olduğu hakkında yorum yapılır.

4.2. Diğer Yöntemler

4.2.1. Agregaların petrografik analizi (ASTM C 295)

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 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 uygulanmadan önce bu analizin uygulanması zaman kazandırmak ve uygulanacak metodun agrega tipine göre seçimini kolaylaştırmak bakımından önemlidir [50].

4.2.2. Mineral katkıların veya yüksek fırın cürufunun etkinliklerini ölçen standart deney metodu (ASTM C 441)

Bu metot, mineral katkılarının veya yüksek fırın cürufunun agregalarla çimento alkalileri arasındaki reaksiyon sonucu meydana gelebilecek zararlı genleşmeleri önlemedeki etkinliğini inceler. Pireks camı reaktif agregası ile mineral katkı veya cüruf içeren çimento kombinasyonları kullanılarak hazırlanan harç çubuklarının standart kür koşullarında, belirli periyotlardaki genleşmeleri değerlendirilir. Önce, 400 gr yüksek alkalin çimento ile belirli gradasyondaki 900 gr pireks camı agrega kullanılarak kontrol karışımı hazırlanır. Bu karışımın 14 günlük minimum genleşmesi %0,250 olmalıdır. Cüruf dışındaki mineral katkılarda 300 gr yüksek alkalin çimento ile mutlak hacmi 100 gr çimentoya eşit miktarda ($100 \times \text{mineral katkıının yoğunluğu} / 3,15$) mineral katkı kullanılır. Kullanılan katkı cüruf ise mutlak hacmi 200 gr çimentoya eşit miktarda ($100 \times \text{cürufun yoğunluğu} / 3,15$) kullanılır. Belli durumlar için şantiyede kullanılacak oranlarda çimento-katkı karışımları ile şantiyede kullanılacak alkalinite de çimento kullanılabilir. Numunelerin döküm, kütleme ve ölçüm işlemleri ASTM C 227 'deki gibidir. Deney süresi sonunda kontrol numunesi ile katkı içeren numuneler arasındaki "genleşme miktarındaki azalma" değeri yüzde cinsinden hesaplanır. ASTM'ye göre, genleşme miktarındaki azalma değerinin %75 veya daha fazla olması halinde kullanılan mineral katkı miktarı uygundur. Belirli bir çimento-agrega kombinasyonunun kullanılması halinde ise 14 günlük maksimum genleşme değeri %0,02 olarak belirlenmiştir. Bu metodun eleştirildiği konular; pireks camı gibi çok yüksek reaktivitedeki bir malzemenin doğal agrega gibi davranmadığı ve bu sebeple gerçekçi sonuçlar alınamayacağı ve

pireks camının değişken kompozisyona sahip, ortalama alkali veren bir malzeme olması sebebiyle alkali katkısının deney sonuçlarını etkileyebileceğidir [29].

4.2.3 . Jel pat metodu

Bu metotta agrega örneği koyu kıvamda çimento hamurunun içine gömülür ve yüzeyi bilenerak agrega parçalarının açığa çıkması sağlanır. Alkalin çözeltiliye 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 gözlenebilir. 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 [29].

4.2.4 . 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 çözeltilisinde 1 saat boyunca bekletilir, kurutulup tartılan agregalardaki kütlece kayıp, “alkalide çözülebilir” olarak adlandırılmaktadır. Böylece agreganın alkalin ortamdaki kimyasal kararsızlığını ortaya koymakta fakat çeşitli çimento kombinasyonlarıyla birlikte davranışını ve genişleme yaratıp yaratmayacağını belirleyememektedir. Ayrıca, 1 mm boyutunun altındaki agreganın potansiyel reaktiviteye katkısını göz önüne almamakadır [29].

4.2.5 . Ozmotik hücre metodu

Ozmotik hücre, agrega parçacığı ile çimento ara yüzeyinin modellenmesidir. 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 odacığında”, “reaksiyon odacığında” 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 [29].

4.2.6 . Otoklav metodu

Bazı araştırmacılar, harç veya beton numuneleri yüksek sıcaklık ve basınç altında alkali çözeltisinde 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 genişleme metodu vb. Önemli olan nokta; 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 [29].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

ASR' nin tespiti için bu çalışmada 4 adet yöntem kullanılmıştır. Bunlar;

- Harç çubuk yöntemi (ASTM C 227)
- Hızlı harç çubuk yöntemi (ASTM C 1260)
- Beton prizma deneyi (ASTM C 1293)
- Kimyasal yöntem (ASTM C 289)

Bu bölümde bu yöntemlerin yapılışı sırayla incelenecektir.

5.1. Harç Çubuk Yöntemi (ASTM C227)

Bu metotta Tablo 5.1.' de verilen karışım miktarlarına göre 25x25x285 mm boyutlarındaki harç çubuk numuneleri her bir agrega tipi için 4'er adet hazırlanmıştır.

Tablo 5.1. Harç çubuğu deneyi için 1m³'deki karışım miktarları

Malzeme		Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
Agrega	Ağırlıkça %		
4,75-2,36	10%	171,392	65,92
2,36-1,18	25%	428,516	164,814
1,18-0,6	25%	428,516	164,814
0,6-0,3	25%	428,516	164,814
0,3-0,15	15%	257,14	98,9
Çimento		444	140,95
Su		199,8	199,8

Hazırlanan harç karışımları Şekil 5.1.' de görülen kalıplara ölçüm pimleri takılarak ve şişlenerek yerleştirilmiştir.

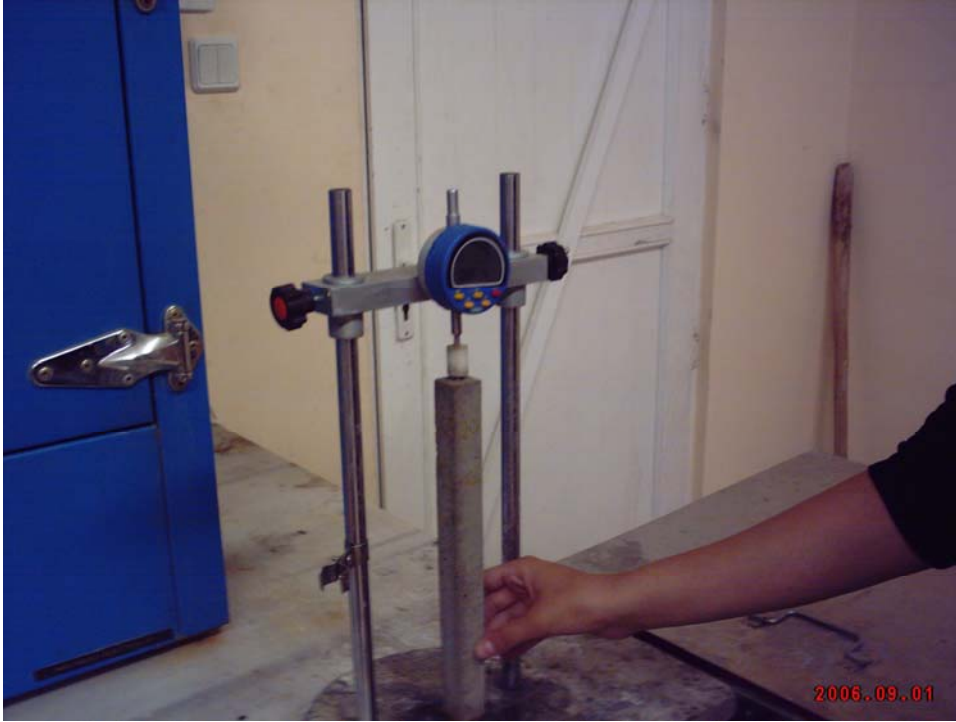


Şekil 5.1. Harç çubuk numune kalıpları

24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak numaralandırılmıştır. Daha sonra 0,001 mm hassasiyetli dijital komparatör saati ile numune boyları ölçülmüştür. (Şekil 5.2., Şekil 5.3.)



Şekil 5.2. Numaralandırılmış harç çubuğu numuneleri



Şekil 5.3. 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 5.4. Kür tankı

Bu işlemden sonra numuneler dijital komparatör saati ile 14. gün, sonra 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12. aylarda ölçülmüştür.

5.2. Hızlı Harç Çubuk Yöntemi (ASTM C 1260)

Bu metotta Tablo 5.2.' de verilen karışım miktarlarına göre 25x25x285 mm boyutlarındaki harç çubuk numuneleri her bir agrega tipi için 4'er adet hazırlanmıştır.

Tablo 5.2. Hızlı harç çubuğu deneyi için 1m³'deki karışım miktarları

Malzeme		Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
Agrega	Ağırlıkça %		
4,75-2,36	10%	171,392	65,92
2,36-1,18	25%	428,516	164,814
1,18-0,6	25%	428,516	164,814
0,6-0,3	25%	428,516	164,814
0,3-0,15	15%	257,14	98,9
Çimento		444	140,95
Su		199,8	199,8

Hazırlanan harç karışımları Şekil 5.1.' de görülen kalıplara ölçüm pimleri takılarak ve şişlenerek yerleştirilmiştir. 24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak numaralandırılmıştır. Kalıptan çıkarılan harç çubukları saf su içerisine konarak 80±2 C sabit ısıdaki suda 24 saat bekletildikten sonra ilk boy ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra numuneler 900 ml suya 40 gr NaOH (sodyum hidroksit) konularak hazırlanmış 80 C sabit ısıdaki çözeltinin içine konulmuştur. (Şekil 5.5.)



Şekil 5.5. Kür tankı

Bu işlemden sonra numuneler 3, 7, 14. günlerde ölçülmüştür.

5.3. Beton Prizma Deneyi (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 5.3. Beton Prizma deneyi için 1 m³ deki karışım miktarları

Malzeme		Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
Agrega	Ağırlıkça %	-	-
19-12,5	33%	581,438	223,63
12,5-9,5	33%	581,438	223,63
9,5-4,75	33%	581,438	223,63
Çimento		420	133,33
Su		189	189

Karışım suyuna katılan NaOH miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır:

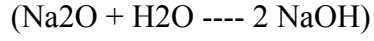
$$1 \text{ m}^3 \text{ betondaki çimento miktarı} = 420 \text{ kg}$$

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

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 $1,47 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O}$ miktarı için karışım suyuna eklenmesi gereken NaOH miktarı aşağıdaki kimyasal denklem yardımıyla hesaplanır.



Bileşimin molekül ağırlığı

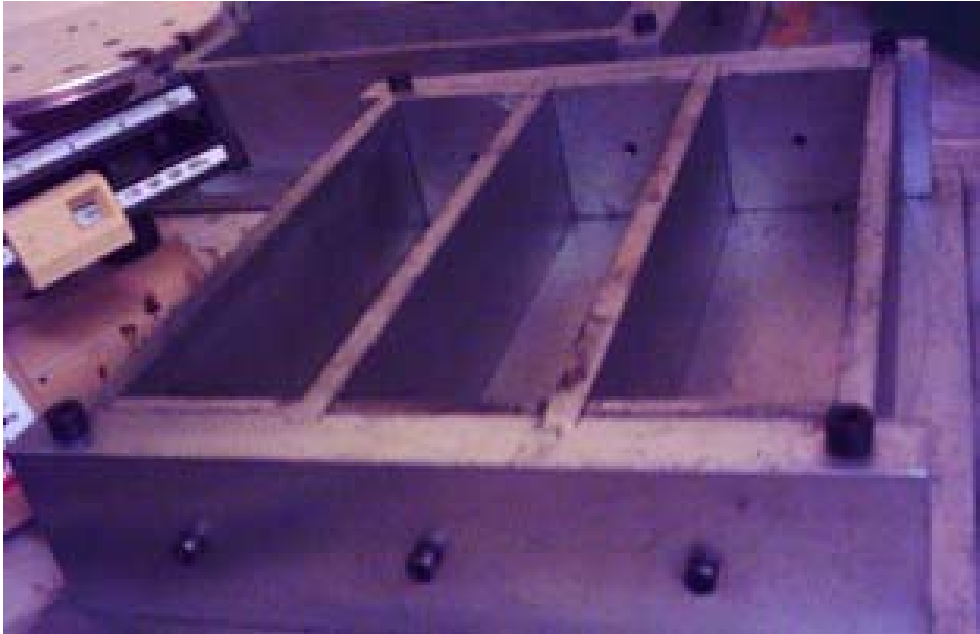
$\text{Na}_2\text{O} = 61,98$

$\text{NaOH} = 39,997$

Karışım suyuna eklenecek NaOH miktarı kimyasal denklem yardımıyla orantı kurularak;

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

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



Şekil 5.6. Beton prizma numune kalıpları

24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak numaralandırılmıştır. Daha sonra 0,001 mm hassasiyetli dijital komparatör saati ile numune boyları ölçülmüştür. (Şekil 5.3.) Boyları ölçülen numuneler, $37,8 \pm 1,7$ C sabit ısıdaki örnekler ile temas etmeyecek şekilde su doldurulan bir kür tankına yerleştirilmiştir. (Şekil 5.7.)



Şekil 5.7. Kür tankı

Daha sonra numuneler 7., 28., 56. günlerde ve 3, 6, 9, 12. aylarda ölçülmüştür.

5.4. Kimyasal Yöntem (ASTM C 289)

İnce agrega malzemelerinden alınan örnekler Sakarya Üniversitesi Kimya Bölümü laboratuvarında incelenerek kimyasal analizi yapılmıştır. Bu işlemin sonuçları 6. bölümde verilmiştir.

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Harç Çubuk Deneyi Sonuçları

Tablo 6.1.'de Harç çubuk deneyi için kullanılan malzemeler ve ait oldukları bölgeler verilmiştir.

Tablo 6.1. Harç çubuk deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri

Numune No	Numunenin Ait Olduğu Bölge Adı
1	Sakarya Adliye Mevkii Doğal Kum
2	Mollaköy Mevkii Doğal Kum
3	Hendek Doğal Kum
4	Ferizli Doğal Kum
5	Akçay Dağ Malzemesi Doğal Kum
6	Adliye Kalealtı Doğal Kum

Tablo 6.2.'de harç çubuk deneyinde bulunan değerler ve ölçüm tarihleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Harç çubuk deneyi ölçüm sonuçları (mm)

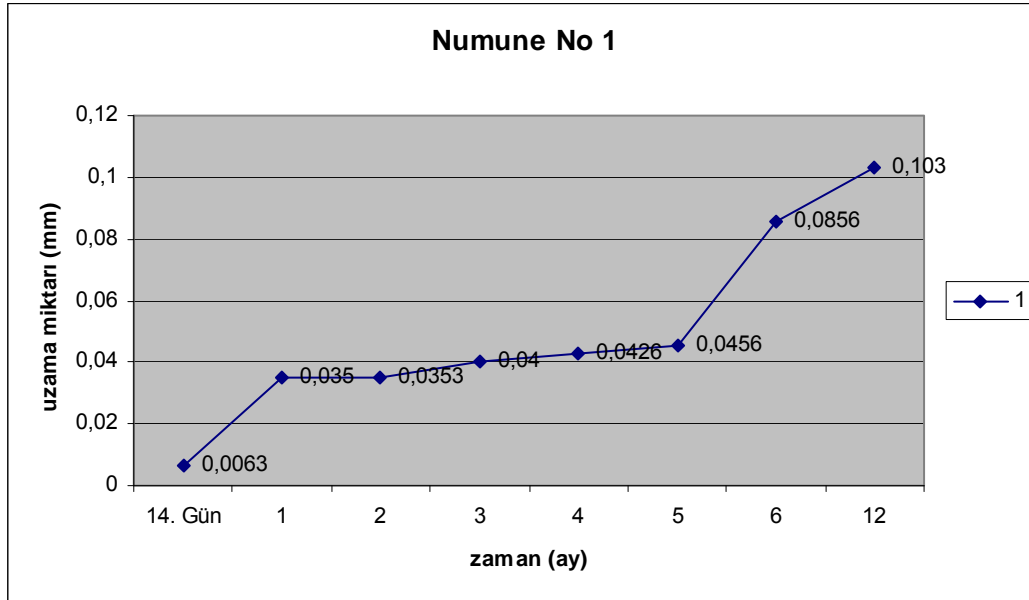
Numune No	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	4. Ölçüm	5. Ölçüm	6. Ölçüm	7. Ölçüm	8. Ölçüm	9. Ölçüm
Tarih	18.08.2006	01.09.2006	18.09.2006	18.10.2006	18.11.2006	18.12.2006	18.02.2007	18.05.2007	18.08.2007
1A	1,095	1,099	1,171	1,18	1,215	1,23	1,256	1,36	1,444
1B	2,039	2,045	2,064	2,15	2,147	2,207	2,28	2,33	2,43
1C	3,416	3,425	3,439	3,45	3,539	3,592	3,63	3,733	3,86
2B	1,95	1,956	1,966	1,97	2,112	2,09	2,06	2,067	2,121
2C	1,935	1,938	1,941	1,943	1,839	2,079	2,099	2,108	2,077
2D	2,075	2,079	2,081	2,091	2,071	1,876	1,92	1,929	1,93
3A	0,254	0,261	0,266	0,362	0,318	0,16	0,207	0,392	0,352
3B	1,03	1,037	1,044	0,968	1,027	1,077	1,07	1,107	1,07
3C	1,02	1,023	1,03	1,031	1,02	1,005	1,01	1,07	1,128
3D	0,039	0,04	0,042	0,046	0,081	0,303	0,26	0,045	0,144
4A	2,311	2,335	2,336	2,37	2,401	2,403	2,399	2,43	2,482
4B	2,701	2,71	2,726	2,613	2,666	2,675	2,922	2,864	2,828
4C	2,465	2,457	2,481	2,629	2,622	2,664	2,422	2,52	2,657
4D	2,699	2,705	2,715	2,708	2,695	2,715	2,802	2,83	2,781
5A	3,405	3,407	3,412	3,452	3,478	3,48	3,219	3,233	3,247
5B	1,128	1,154	1,191	1,223	1,286	1,294	1,76	1,732	1,734
5C	2,498	2,504	2,509	2,538	2,613	2,628	2,505	2,499	2,582
5D	2,169	2,176	2,185	2,146	2,028	2,085	2,104	2,244	2,289
6A	2,608	2,618	2,665	2,648	2,645	2,731	2,778	2,845	2,904
6B	2,61	2,619	2,605	2,516	2,656	2,529	2,564	2,589	2,57
6C	2,695	2,708	2,713	2,707	2,733	2,81	2,806	2,773	2,858
6D	3,417	3,424	2,437	3,608	3,509	3,548	3,557	3,612	3,607

Tablo 6.3.'de numunelerin boy uzama değerleri verilmiştir.

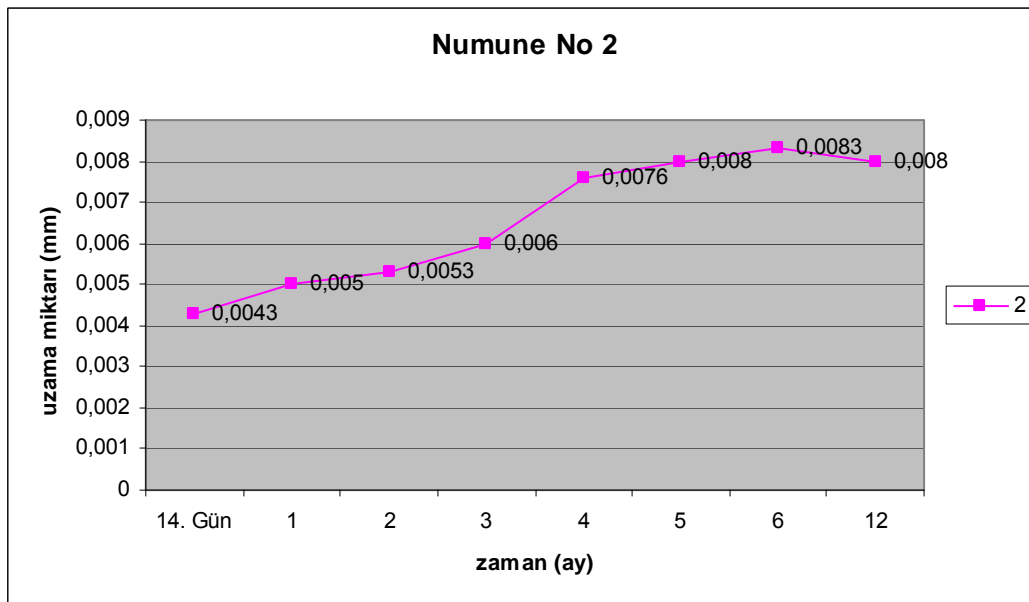
Tablo 6.3. Harç çubuk boy uzama değerleri (mm)

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	9. Ölçüm-8. Ölçüm	9. Ölçüm-1. Ölçüm
1	0,0063	0,035	0,0353	0,04	0,0426	0,0456	0,0856	0,103	0,394
2	0,0043	0,005	0,0053	0,006	0,0076	0,008	0,0083	0,008	0,016
3	0,0045	0,00525	0,00625	0,00975	0,01	0,0152	0,0167	0,02	0,087
4	0,0077	0,012	0,0155	0,016	0,017	0,022	0,0247	0,026	0,143
5	0,01	0,014	0,0155	0,02	0,0205	0,025	0,03	0,036	0,163
6	0,00975	0,013	0,0147	0,016	0,0187	0,0217	0,0285	0,03	0,152

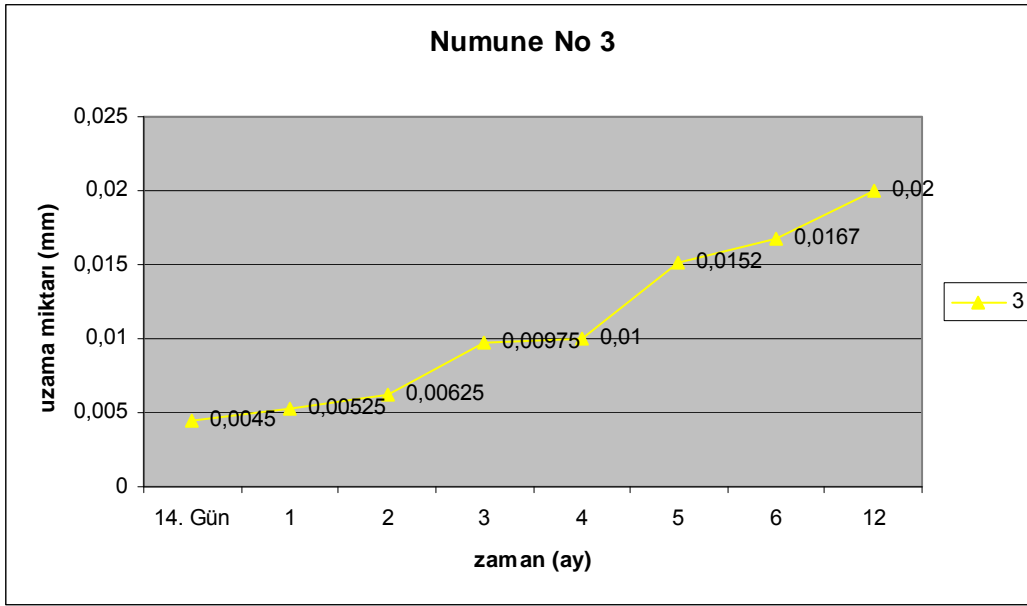
Aşağıdaki grafiklerde numunelerin zamana bağlı olarak uzama miktarları ve uzama yüzdeleri verilmiştir.



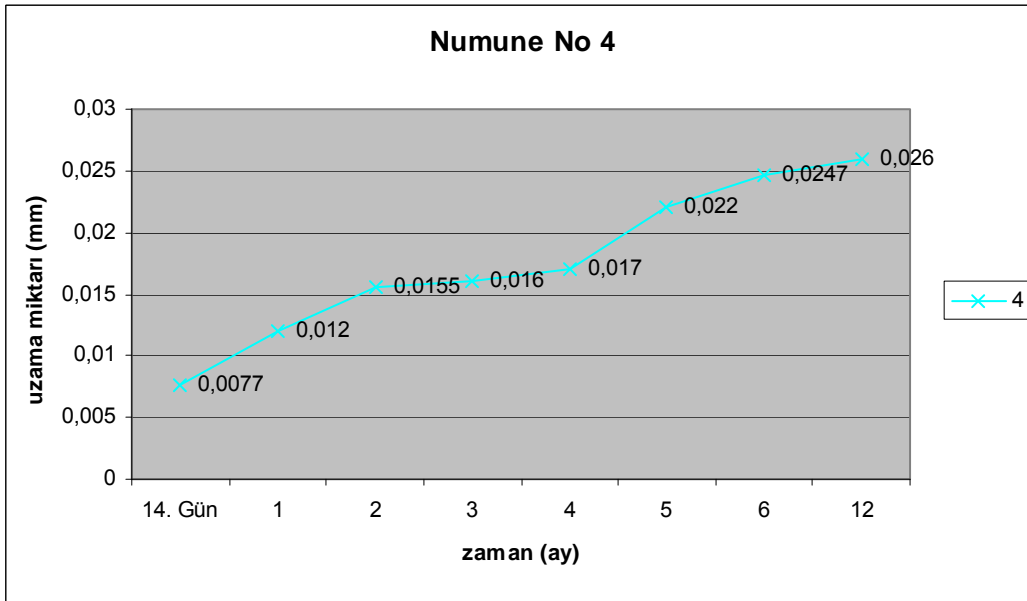
Şekil 6.1. 1 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



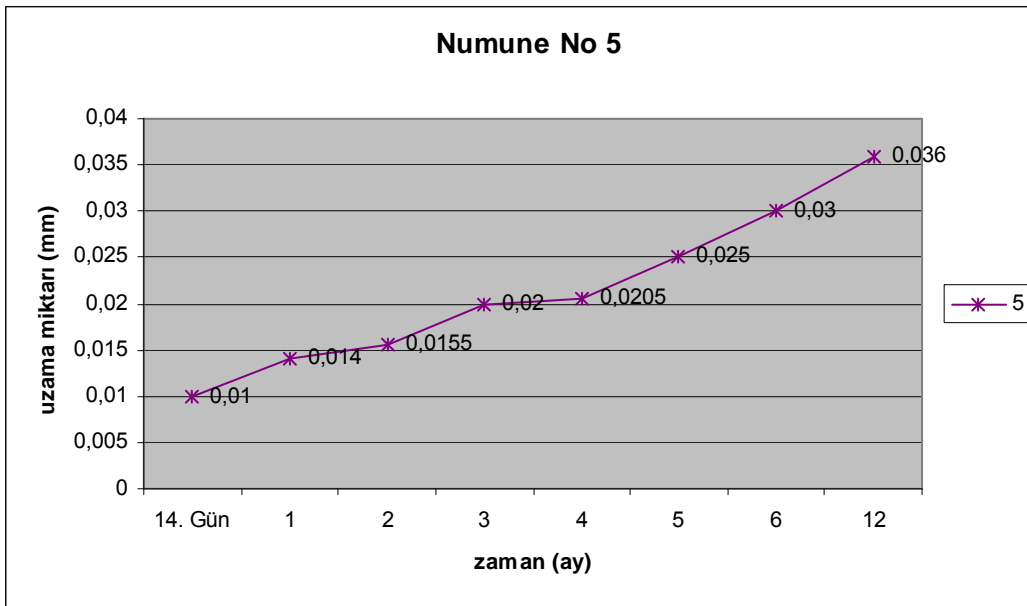
Şekil 6.2. 2 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



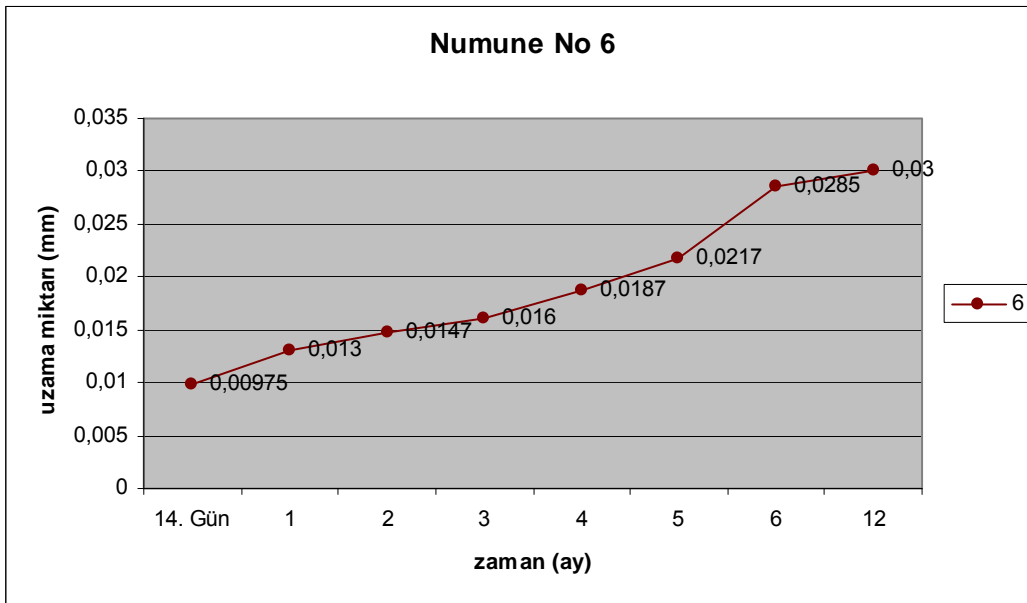
Şekil 6.3. 3 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



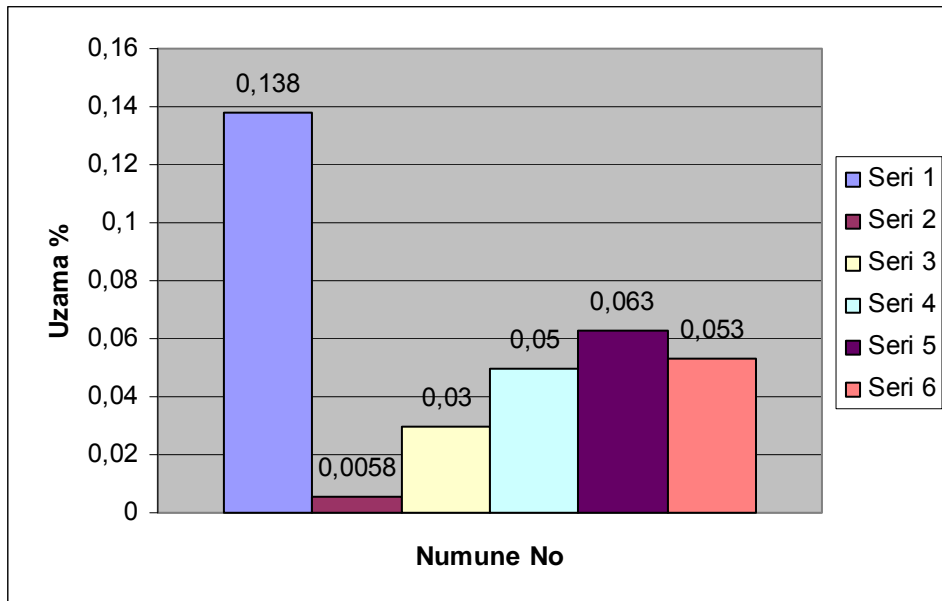
Şekil 6.4. 4 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.5. 5 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.6. 6 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.7. Numunelerin uzama yüzdeleri

Numunelerin uzama yüzdeleri aşağıdaki formülle bulunur:

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

6.2. Hızlı Harç Çubuk Deneyi Sonuçları

Tablo 6.4.'de hızlı harç çubuk deneyi için kullanılan malzemeler ve ait oldukları bölgeler verilmiştir.

Tablo 6.4. Hızlı harç çubuk deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri

Numune No	Numunenin Ait Olduğu Bölge Adı
1	Sakarya Adliye Mevkii Doğal Kum
2	Mollaköy Mevkii Doğal Kum
3	Hendek Doğal Kum
4	Ferizli Doğal Kum
5	Akçay Dağ Malzemesi Doğal Kum
6	Adliye Kalealtı Doğal Kum

Tablo 6.5.'de harç çubuk deneyinde bulunan değerler ve ölçüm tarihleri verilmiştir.

Tablo 6.5. Hızlı harç çubuk deneyi ölçüm sonuçları (mm)

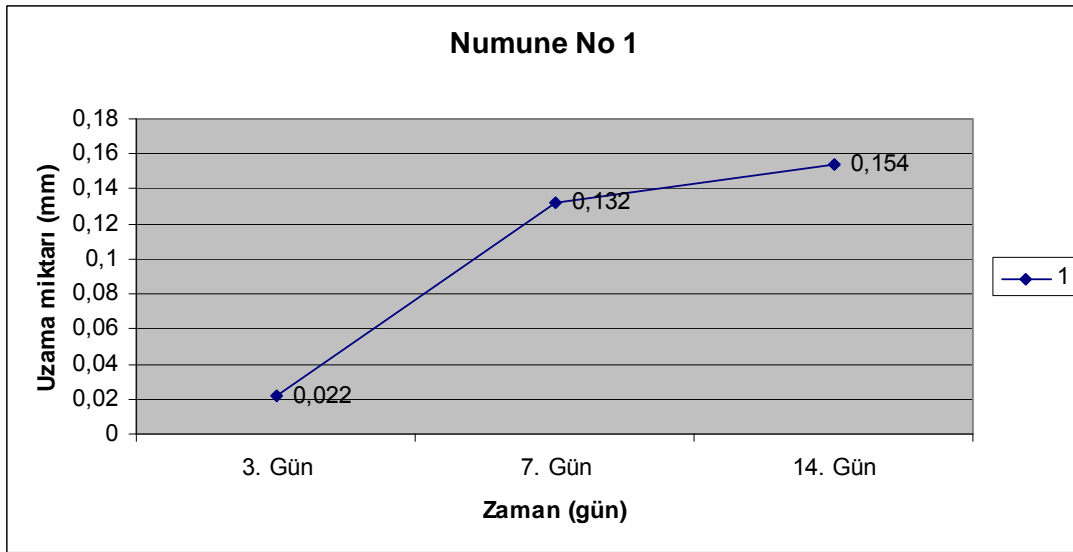
Numune No	1. Ölçüm		2. Ölçüm		3. Ölçüm		4. Ölçüm	
1E	5,9	17.08.2006	5,918	20.08.2006	6,109	24.08.2006	6,179	31.08.2006
1F	7,211	17.08.2006	7,234	20.08.2006	7,487	24.08.2006	7,573	31.08.2006
1G	6,407	17.08.2006	6,433	20.08.2006	6,647	24.08.2006	6,694	31.08.2006
2E	3,698	17.08.2006	3,7	20.08.2006	3,977	24.08.2006	4,123	31.08.2006
2F	5,596	17.08.2006	5,61	20.08.2006	5,911	24.08.2006	6,153	31.08.2006
2G	5,022	17.08.2006	5,045	20.08.2006	5,262	24.08.2006	5,647	31.08.2006
2H	4,888	17.08.2006	4,897	20.08.2006	5,179	24.08.2006	5,497	31.08.2006
3E	3,604	18.08.2006	3,654	21.08.2006	3,94	25.08.2006	3,865	01.09.2006
3F	4,481	18.08.2006	4,496	21.08.2006	4,527	25.08.2006	4,604	01.09.2006
3G	4,059	18.08.2006	4,076	21.08.2006	4,092	25.08.2006	4,166	01.09.2006
4E	3,57	18.08.2006	3,588	21.08.2006	3,978	25.08.2006	4,363	01.09.2006
4F	4,124	18.08.2006	4,134	21.08.2006	4,559	25.08.2006	4,689	01.09.2006
4G	5,927	18.08.2006	5,938	21.08.2006	6,265	25.08.2006	6,365	01.09.2006
5E	6,13	19.08.2006	6,145	22.08.2006	6,391	26.08.2006	6,663	02.09.2006
5F	5,997	19.08.2006	6,005	22.08.2006	6,211	26.08.2006	6,42	02.09.2006
5G	6,387	19.08.2006	6,4	22.08.2006	6,597	26.08.2006	6,705	02.09.2006
5H	5,298	19.08.2006	5,304	22.08.2006	5,569	26.08.2006	5,722	02.09.2006
6E	6,947	19.08.2006	6,953	22.08.2006	7,255	26.08.2006	7,845	02.09.2006
6F	5,933	19.08.2006	5,942	22.08.2006	6,32	26.08.2006	6,613	02.09.2006
6G	5,421	19.08.2006	5,427	22.08.2006	5,825	26.08.2006	6,416	02.09.2006
6H	6,341	19.08.2006	6,348	22.08.2006	6,636	26.08.2006	6,861	02.09.2006

Numunelerin boy uzama değerleri Tablo 6.6.'da verilmiştir.

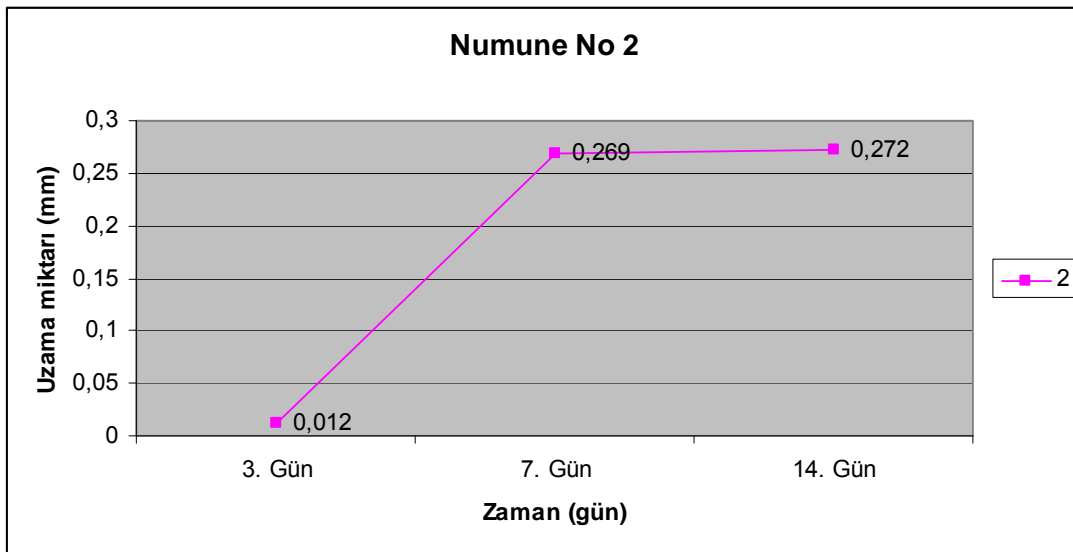
Tablo 6.6. Hızlı harç çubuk boy uzama değerleri (mm)

Numune No	2. Ölçüm-1. Ölçüm	3. Ölçüm-2. Ölçüm	4. Ölçüm-3. Ölçüm	4. Ölçüm-1. Ölçüm
1	0,022	0,219	0,067	0,309
2	0,012	0,269	0,272	0,554
3	0,027	0,111	0,025	0,163
4	0,013	0,38	0,205	0,819
5	0,0105	0,2285	0,1855	0,4245
6	0,007	0,3415	0,424	0,773

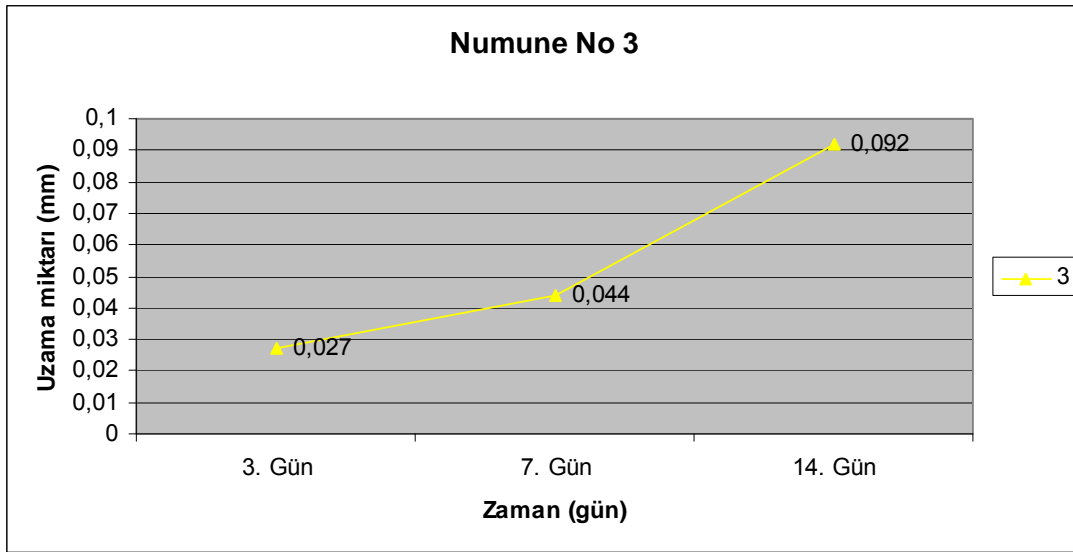
Aşağıdaki grafiklerde numunelerin zamana bağlı olarak uzama miktarları ve uzama yüzdeleri verilmiştir.



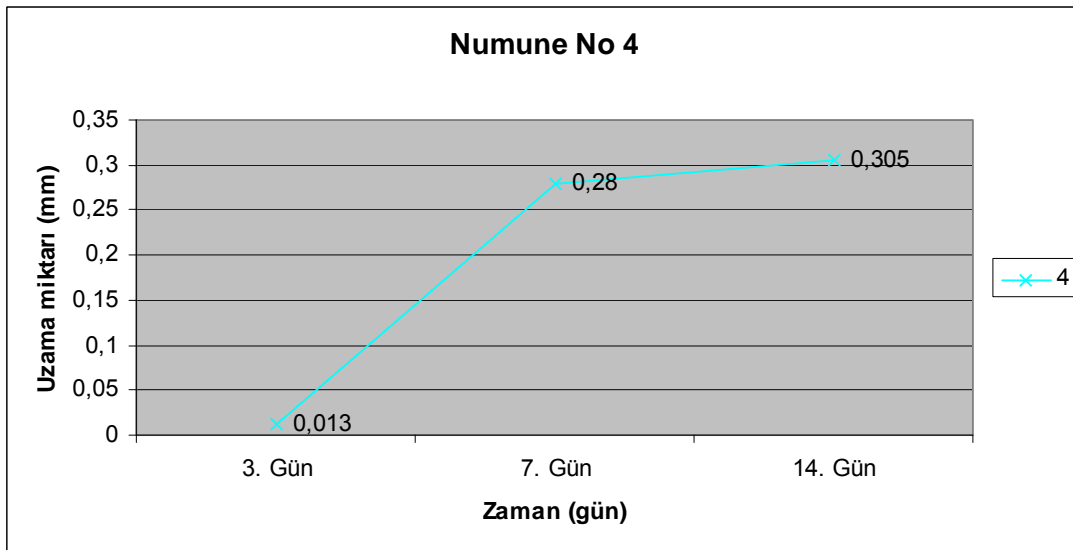
Şekil 6.8. 1 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



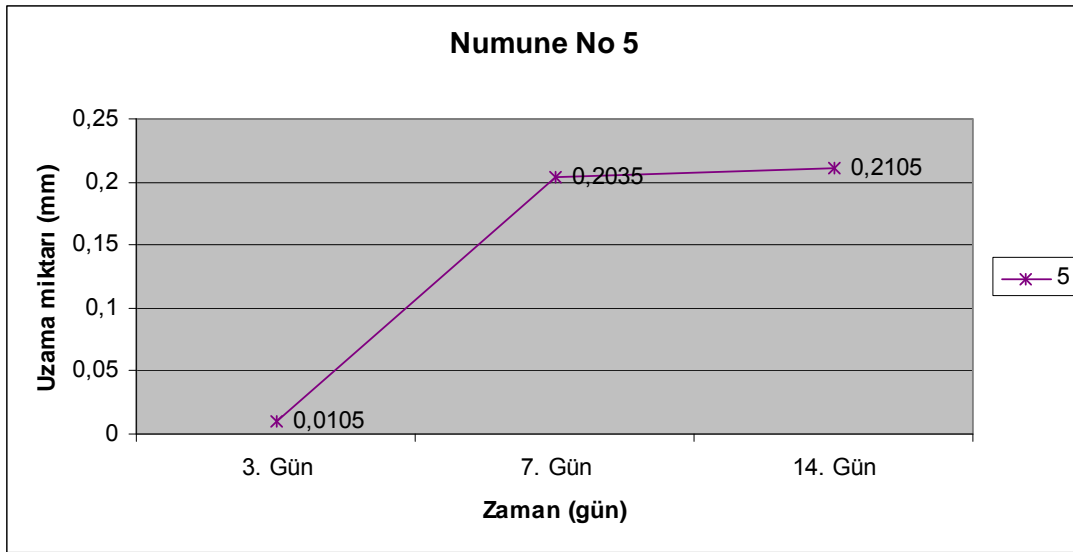
Şekil 6.9. 2 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



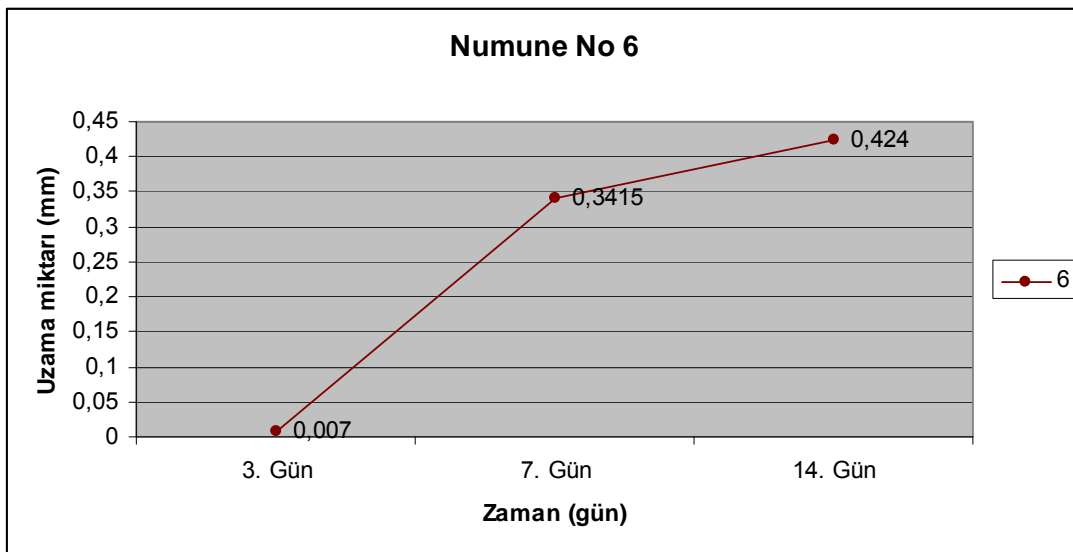
Şekil 6.10. 3 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



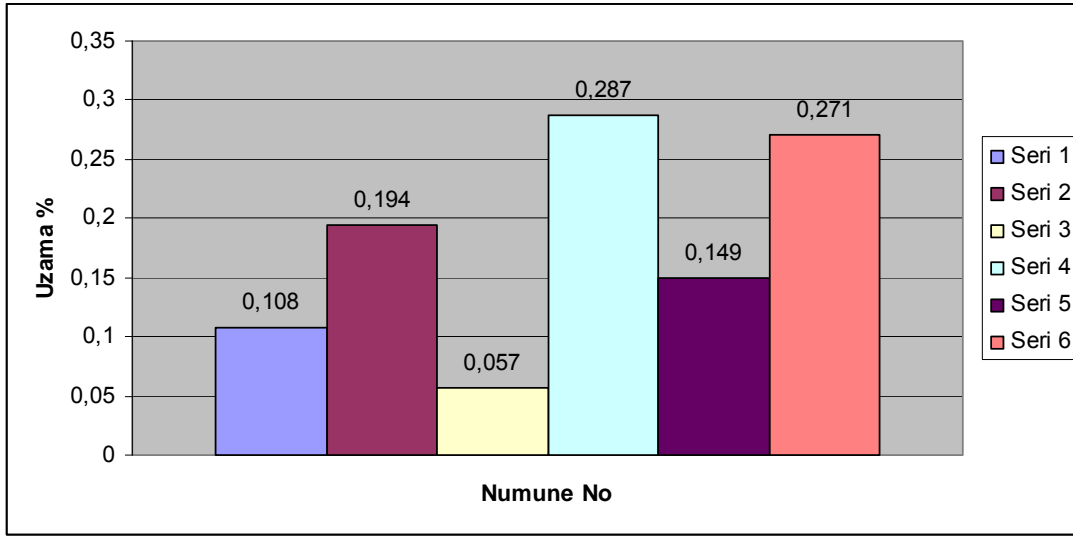
Şekil 6.11. 4 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.12. 5 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.13. 6 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.14. Numunelerin uzama yüzdeleri

Numunelerin uzama yüzdeleri aşağıdaki formülle bulunur:

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

6.3. Beton Prizma Deneyi Sonuçları

Tablo 6.7.'de beton prizma deneyi için kullanılan malzemeler ve ait oldukları bölgeler verilmiştir.

Tablo 6.7. Beton prizma deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri

Numune No	Numunenin Ait Olduğu Bölge Adı
7	Hendek Çakıl
8	Akçay Dağ Malzemesi Çakıl

Tablo 6.8.'de beton prizma deneyinde bulunan değerler ve ölçüm tarihleri verilmiştir.

Tablo 6.8. Beton prizma çubuk deneyi ölçüm sonuçları (mm)

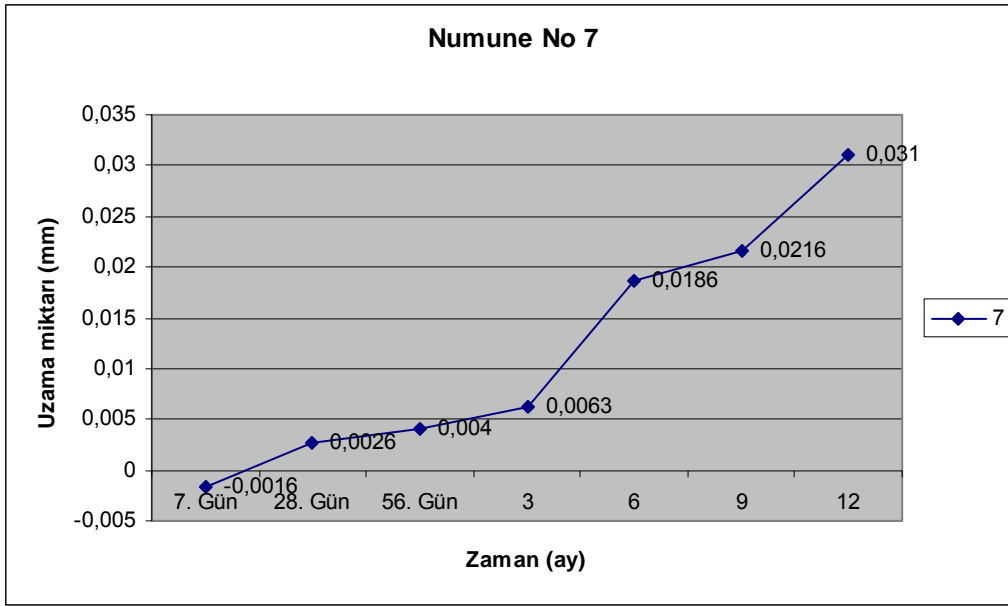
Numune No	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	4. Ölçüm	5. Ölçüm	6. Ölçüm	7. Ölçüm	8. Ölçüm
Tarih	12.08.2006	19.08.2006	09.09.2006	07.10.2006	12.11.2006	12.02.2007	12.05.2007	12.08.2007
7A	1,472	1,574	1,543	1,644	1,645	1,58	1,584	1,432
7B	2,767	2,897	2,777	2,612	2,73	2,838	2,839	2,994
7C	2,809	2,572	2,731	2,807	2,707	2,72	2,78	2,87
8A	3,888	3,789	3,808	3,831	3,836	3,931	3,92	3,922
8B	2,501	2,57	2,579	2,604	2,756	2,479	2,601	2,631
8C	2,415	2,46	2,464	2,466	2,383	2,656	2,647	2,723

Tablo 6.9.'da numunelerin boy uzama değerleri verilmiştir.

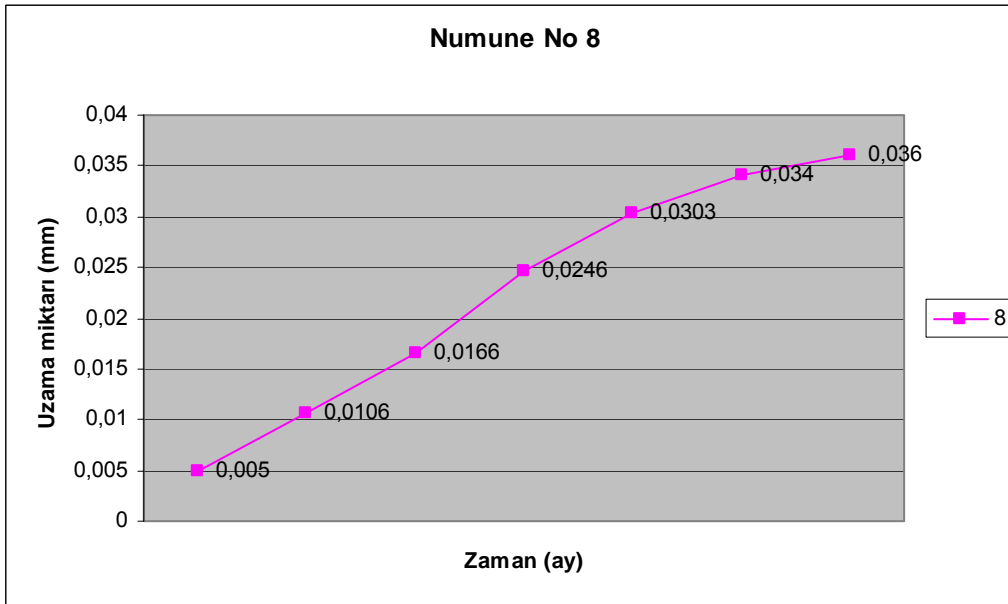
Tablo 6.9. Beton prizma boy uzama değerleri (mm)

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	-0,0016	0,0026	0,004	0,0063	0,0186	0,0216	0,031	0,082
8	0,005	0,0106	0,0166	0,0246	0,0303	0,034	0,036	0,157

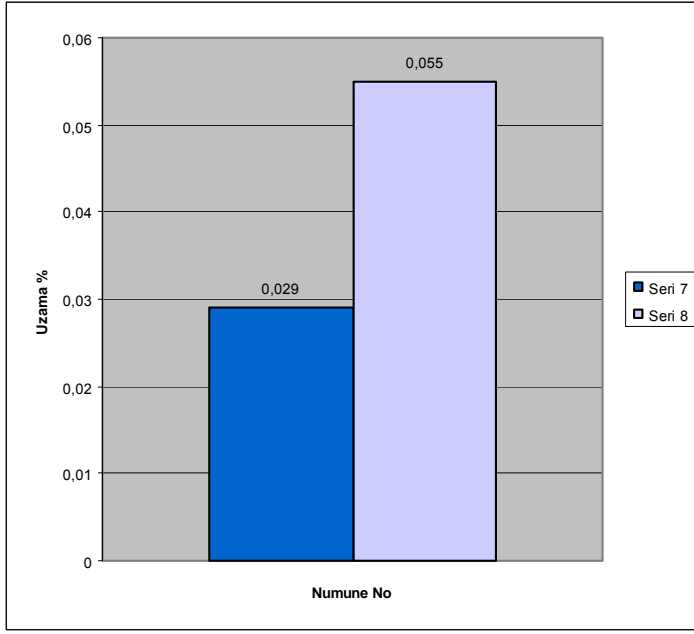
Aşağıdaki grafiklerde numunelerin zamana bağlı olarak uzama miktarları ve uzama yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 6.15. 7 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.16. 8 numaralı numunenin zamana bağlı uzama miktarı



Şekil 6.17. Numunelerin uzama yüzdeleri

Numunelerin uzama yüzdeleri aşağıdaki formülle bulunur:

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

6.4. Kimyasal Analiz Deney Sonuçları

Tablo 6.10.'de hızlı harç çubuk deneyi için kullanılan malzemeler ve ait oldukları bölgeler verilmiştir.

Tablo 6.10. Kimyasal analiz deneyinde kullanılan numune ve bölge isimleri

Numune No	Numunenin Ait Olduğu Bölge Adı
1	Sakarya Adliye Mevkii Doğal Kum
2	Mollaköy Mevkii Doğal Kum
3	Hendek Doğal Kum
4	Ferizli Doğal Kum
5	Akçay Dağ Malzemesi Doğal Kum
6	Adliye Kalealtı Doğal Kum

Kimyasal analizin sonuçları şu şekildedir:

1) Sakarya Adliye mevkiî doğal kum

Harcanan NaOH : 150 mmol/L Çözünen SiO₂ : 400 mmol/L

III. Bölge; zararlı agrega

2) Mollaköy mevkiî doğal kum

Harcanan NaOH : 250 mmol/L Çözünen SiO₂ : 420 mmol/L

III. Bölge; zararlı agrega

3) Hendek doğal kum

Harcanan NaOH : 60 mmol/L Çözünen SiO₂ : 230 mmol/L

II. Bölge; zararlı olması ihtimal agrega

4) Ferizli doğal kum

Harcanan NaOH : 250 mmol/L Çözünen SiO₂ : 460 mmol/L

III. Bölge; zararlı agrega

5) Akçay dağ malzemesi doğal kum

Harcanan NaOH : 225 mmol/L Çözünen SiO₂ : 420 mmol/L

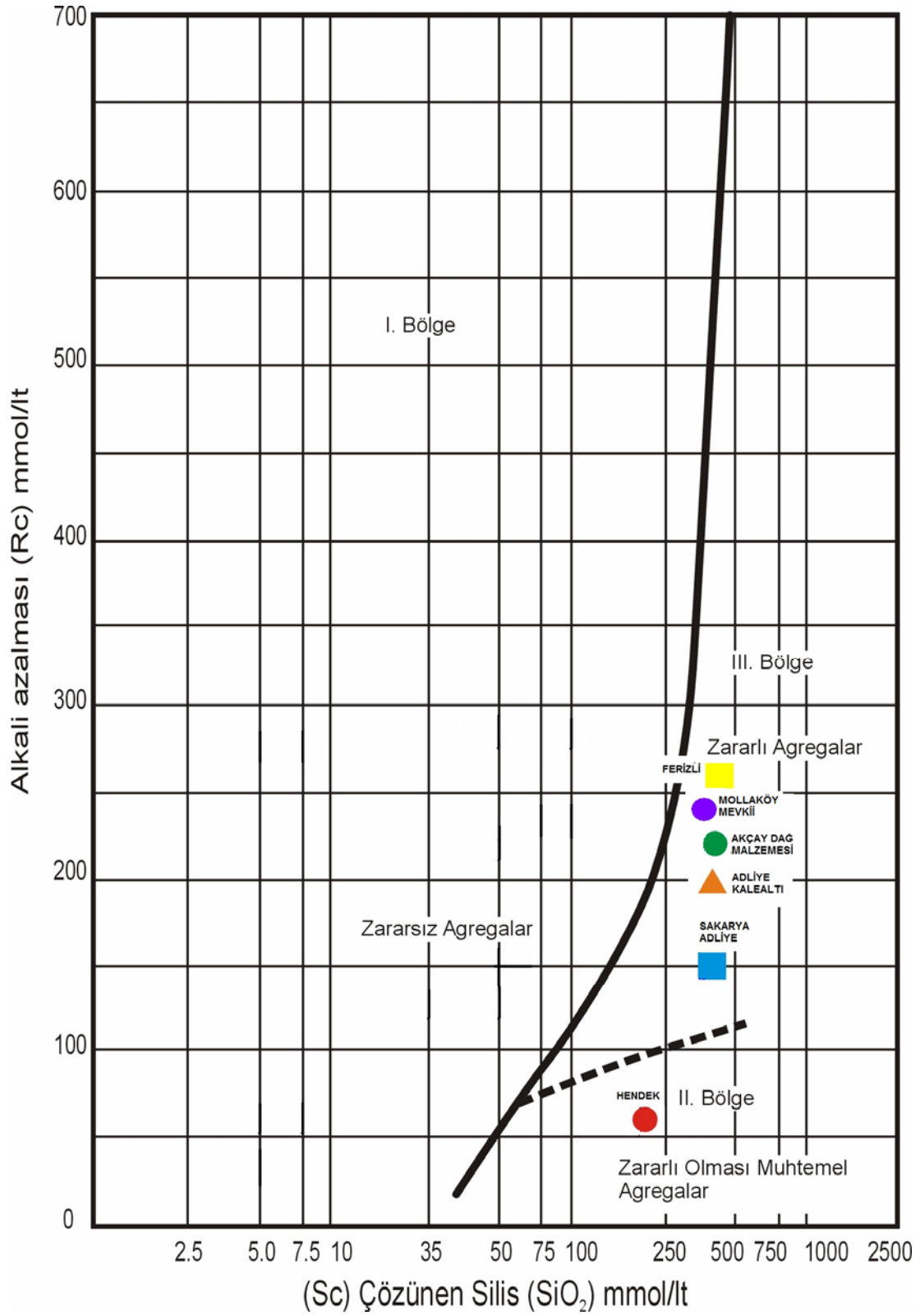
III. Bölge; zararlı agrega

6) Adliye Kalealtı doğal kum

Harcanan NaOH : 200 mmol/L Çözünen SiO₂ : 450 mmol/L

III. Bölge; zararlı agrega

Bu analizin grafiksel gösterimi Şekil 6.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Kimyasal analiz sonuçları grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1) Harç çubuk metoduna göre elde edilen sonuçlar;

- Sakarya Adliye bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,138
- Mollaköy mevkiinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,058
- Hendek bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,03
- Ferizli bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,05
- Akçay dağ malzemesi agregaların boy uzama yüzdesi %0,063
- Adliye Kalealtı bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,053

Bu deney metoduna göre; Sakarya Adliye bölgesinden alınan agregalar betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararlı bulunmuştur. Diğer bölgelerden alınan agregalar ise zararsız bulunmuştur.

2)Hızlı harç çubuk metoduna göre elde edilen sonuçlar;

- Sakarya Adliye bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,08
- Mollaköy mevkiinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,194
- Hendek bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,057
- Ferizli bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,287
- Akçay dağ malzemesi agregaların boy uzama yüzdesi %0,149
- Adliye Kalealtı bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,271

Bu deney metoduna göre; Sakarya Adliye bölgesi, Mollaköy mevki, Ferizli bölgesi, Akçay dağ malzemesi ve Adliye Kalealtı bölgesinden alınan agregalar betonda alkali agregaya reaksiyonu yönünden zararlı bulunmuştur. Hendek bölgesinden alınan agregalar ise zararsız bulunmuştur.

3) Beton prizma deney metoduna göre elde edilen sonuçlar;

- Hendek bölgesinden alınan agregaların boy uzama yüzdesi %0,029
- Akçay dağ malzemesi agregaların boy uzama yüzdesi %0,055

Bu deney metoduna göre; Hendek bölgesi agregaları betonda alkali agregaya reaksiyonu yönünden zararsız Akçay Dağ malzemesi agregaları zararlı bulunmuştur.

4) Kimyasal analiz deney metoduna göre kullanılan NaOH ve çözünen SiO₂ değerleri aşağıdaki gibidir.

Bölge Adı	Harcanan NaOH (mmol/L)	Çözünen SiO ₂ (mmol/L)
Sakarya Adliye	150	400
Mollaköy Mevkii	250	420
Hendek	60	230
Ferizli	250	460
Akçay Dağ Malzemesi	225	420
Adliye Kalealtı	200	450

Bu deney metoduna göre; Sakarya Adliye bölgesi, Mollaköy mevki, Ferizli bölgesi, Akçay dağ malzemesi ve Adliye Kalealtı bölgesinden alınan agregalar III. Bölgede çıkmıştır ve betonda alkali agregaya reaksiyonu yönünden zararlı bulunmuştur. Hendek bölgesinden alınan agregalar II. Bölgede çıkmıştır ve zararlı olması ihtimal agregaya olarak görülmüştür.

Sonuç olarak;

- Sakarya Adliye bölgesinden alınan agregalar harç çubuk, hızlı harç çubuk ve kimyasal metodların her üçünde de betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararlı bulunmuştur.
- Mollaköy mevkiinden alınan agregalar harç çubuk metoduna göre betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararsız, hızlı harç çubuk ve kimyasal metoda göre zararlı bulunmuştur.
- Hendek bölgesinden alınan agregalar harç çubuk ve hızlı harç çubuk metoduna göre betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararsız, kimyasal metoda göre zararlı olması ihtimal olarak bulunmuştur.
- Ferizli bölgesinden alınan agregalar harç çubuk metoduna göre betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararsız, hızlı harç çubuk ve kimyasal metoda göre zararlı bulunmuştur.
- Akçay dağ malzemesi agregalar harç çubuk metoduna göre betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararsız, hızlı harç çubuk ve kimyasal metoda göre zararlı bulunmuştur.
- Adliye Kalealtı bölgesinden alınan agregalar harç çubuk metoduna göre betonda alkali agrega reaksiyonu yönünden zararsız, hızlı harç çubuk ve kimyasal metoda göre zararlı bulunmuştur.

Buna göre; bu yöntemler kullanılarak zararlılık derecesi tespit edilirken farklılıkların doğması kesin bir yargıya varmayı bazen zorlaştırmaktadır. Yine de bir ara bölge kabul edilerek bunun da risk oluşturacağı göz önüne alınıp gerekli tedbirlerin alınması kaçınılmazdır. Zararlı agregaların alkalinitesi yoğun ortamlara maruz kalacak yapılarda kullanılması sakıncalıdır. Şayet kullanılmak istenirse bu deneyler daha çok sayıda örneklerle yapılarak bölgenin malzemesi hakkında ASR durumlarının ortaya konması önerilebilir. Ayrıca betonun içerisindeki çimentodan dolayı gelen alkali miktarı uçucu kül, silis dumanı veya diğer puzolanlar kullanılarak azaltılmalıdır. Bu şekilde üretilen betonların güvenilirliği kısa süreli harç çubuk metodu ile test edilmeli ve daha sonra kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] TOSUN, K., YAZICI, H., BARADAN, B., Uçucu kül ve silica tozunun alkali-silica reaksiyonuna etkisinin incelenmesi, 2000.
- [2] BEKTAŞ, F., Preventive measures against alkali-silica reaction.
- [3] ÖZİŞİK, G., 'Beton' İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1998.
- [4] ERDOĞAN, T.Y., 'Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 1995.
- [5] KOCA, C., 'Hazır Beton Sektörü Açısından Agregas Sektörüne Bakış' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 1996.
- [6] DAVRAZ, M., GÜNDÜZ, L., Doğal amorf silikanın alkali silica reaksiyonu gelişimine etkisi, BETON 2004 Kongresi, 10.
- [7] TS 706, TS 3529, TS 3526, TS 3670, TS 3527, TS 3530, TS 3814, TS 635 Standartları.
- [8] ÇAĞLAYAN, M., HABERVEREN, S., İPEKOĞLU, B., KURŞUN, İ., Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş "İSTON".
- [9] T.C. Sakarya Valiliği, Cumhuriyetimizin 75. Yılında Sakarya, 1998.
- [10] Sakarya İl Özel İdare Müdürlüğü.
- [11] NEVILLE, A.M., 'Properties of Concrete', John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 1997.
- [12] NEVILLE, A.M., 'Properties of Concrete', Longman Scientific & Technical, England, 1981.
- [13] DIAMOND, S., BARNEYBACK, R.S., STUBLE, L.J., "On the Physics and Chemistry of Alkali-Silica Reactions", Proceedings of the Fifth Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Pretoria, South Africa, National Building Research Institute, 1981

- [14] BİNAL, A., “Beton Agregalarında Alkali Silika Reaksiyonu Etkisinin Belirlenmesi İçin Harç Prizma Deneyi Tasarımı ve Uygulaması”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, 2002.
- [15] 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, İstanbul, 2000.
- [16] INESON, P.R., “Siliceous Components in Aggregates”, Cement and Concrete Composites, 1990.
- [17] WEN, H.X., “Alkali Aggregate Reaction in Concrete, Lecture Notes”, Civil Engng. Dept., Hong Kong Univ., Hong Kong, 1998.
- [18] SWAMY, R.N., “Alkali-Aggregate Reaction in Concrete; Material and Structural Implications”, Sciences in Concrete Technology, Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 1992.
- [19] ARSLAN, M., Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları ve Dayanıklılığı), Atlas Yayınevi, 2001.
- [20] POOLE, A.B., “Introduction to Alkali-Aggregate Reaction in Concrete”, In the Alkali-Silica Reaction in Concrete, Edited by SWAMY, R.N., New York, Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [21] FARNY, J.A., Kosmatka, S.H., “Betonda Alkali Agrega Reaksiyonunun Teşhis ve Kontrolü”, Çeviren: KALMIŞ, M., GÜNGÖR, N., ERİBOL, S., American Concrete Pavement Association (ACPA), 1998.
- [22] ACI 221./R, “Guide for Use of Normal Weight and Heavy Weight Aggregates in Concrete”, America Concrete Institute ACI Manual Concrete Practice, 2000.
- [23] DANAY, A., “Structural Mechanics Methology in Diagnosing and Assesing Long-Term Effects of Alkali-Aggregate reactivity in Reinforced Concrete Structures”, Detroit, ACI Material Journal, American Concrete Institute, 1994.
- [24] NATESAIYER, K., HOVER, K., “Cornell’s Gel Flouresence Test Identifies ASR Products in Concrete”, Concrete Technology Today, Skokie, Illinois Portland Cement Association, 1992.
- [25] HELMUTH, R., “Alkali-Silica Reactivity: An Overview of Research, SHRP-C-342”, Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, 1993.

- [26] STARK, D., "Handbook for the Identification of Alkali-Silica Reactivity in Highway Structures, SHRP-C/FR-91-101", Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, 1993.
- [27] LIU, T.C., "Causes of Deterioration", Lesson 201, Maintenance and Repair of Concrete Structures, Vicksburg, Miss., U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, 1981.
- [28] FIGG, J., "ASR-Inside Phenomena and Outside Effects (Crack Origin and Pattern)", In Concrete Alkali Aggregate Reactions, edited by Bellew, G., Patrick, E., Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, Proceedings of the 7 th International Conference, 1987.
- [29] RAMYAR, K., DÖNMEZ, H., ANDİÇ, Ö., "Alkali Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması", ANKARA, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü, 2002.
- [30] WOODS, H., "Durability of Concrete Construction", Detroit Michigan, American Concrete Institute, 1968.
- [31] SHRP, "Alkali Silica Reactivity Library Handbook for Identification ASR", <http://leadstates.tamu.edu/asr/>, 2003.
- [32] HAWKINS, M.R., "Alkali Aggregate Reaction: Minimizing the Risk of Alkali-Silica Reaction, Guidance Notes, Report of a Working Party", Wexham Springs, Slough, UK, Cement and Concrete Association, 1983.
- [33] AKMAN, M.S., "Çimentolar İçindeki Çözünen Alkalilerin Miktar ve Türlerinin Beton ve Harç Özelliklerine Etkileri", Çimento ve Beton Dünyası, 2002.
- [34] YALÇIN, H., ÖZALP, R., "Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri", Ankara, Devlet Su İşleri Yayını, 1974.
- [35] VIVIAN, H.E., "Studies in Cement-Aggregate reaction, XIX: The Effect On Mortar Expansion of the Particle Size of the Reactive Component in the Aggregate", Australian Journal of Applied Science, 1951.
- [36] DIAMOND, S., THAULOW, N., "A study of Expansion Due to Alkali Silica Reaction as Conditioned by the Grain Size of the Reactive Aggregate", Cement and Concrete research, 1974.
- [37] HOBBS, D.W., GUTTERIDGE, W.A., "Particle Size of Aggregate and Its Influence Upon the Expansion Caused by the Alkali-Silica Reaction", Magazine of Concrete Research, 1979.

- [38] HEWLETT, P.C., "Lea's Chemistry of Cement and Concrete 4 th ed.", London, John Wiley and Sons Inc., 1998.
- [39] HEWLETT, P.C., "Lea's Chemistry of Cement and Concrete 4 th ed.", London, John Wiley and Sons Inc., 1998.
- [40] VIVIAN, H.E., "Studies in Cement Aggregate Reaction the Effect on Mortar Expansion of Amount of Reactive Component 2 nd ed.", Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Bull., 1950.
- [41] MINDESS, S., YOUNG, J.F., "Concrete", New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1981.
- [42] TORDOFF, M.A., "Assesment of Prestressed Concrete Bridges Suffering from Alkali-Silica Reaction", Cement and Concrete Composites, 1990.
- [43] STARK, D., "Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity, SHRP-C343", Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, 1992.
- [44] 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 Marerials Journal, 2002.
- [45] ZICHAO, W., NAIK, T.R., "Chemically Activated Blended Cements", ACI Marerials Journal, 2003.
- [46] ASTM C-1260-94, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates, (Mortar Bar Method)", Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 1994.
- [47] ASTM C-1293, "C1293-01 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, 1994.
- [48] ASTM C-289-94, "C1293-01 Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates /Chemical Method)", Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, Ameriacn Society for Testing and Materials, 1994.
- [49] TS 2517, "Alkali-Agrega Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini", Ankara Türk Standartları Enstitüsü, 1977.
- [50] ASTM-C-295, Standard Test Method for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.

ÖZGEÇMİŞ

Merve Gün, 15.04.1983 de Adapazarı' nda doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2001 yılında Sakarya Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında başladığı SAÜ İnşaat Mühendisliği bölümünü 2005 yılında bitirdi. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Bölümünde yüksek lisansa başladı. 2006-2007 döneminde Hektaş İnşaat Şirketinde 7 ay SAÜ kampus inşaatlarında şantiye şefi olarak çalıştı.