



**HARÇLARDA KULLANILAN BAZI PUZOLİNİK
MALZEMELERİN TANE BOYUTUNUN ALKALİ -
SİLİKA REAKSİYONUNA VE BASINÇ
DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fahri YENTÜRK

Danışman
Prof. Dr. Bahri ERSOY
MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
Haziran 2019

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.53 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HARÇLARDA KULLANILAN BAZI PUZOLİNİK
MALZEMELERİN TANE BOYUTUNUN ALKALİ-SİLİKA
REAKSİYONUNA VE BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Fahri YENTÜRK

Danışman
Prof. Dr. Bahri ERSOY

MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Fahri YENTÜRK tarafından hazırlanan “Harçlarda Kullanılan Bazı Pozolinik Malzemelerin Tane Boyutunun Alkali-Silika Reaksiyonuna ve Basınç Dayanımına Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 2.0.../06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Bahri ERSOY

Başkan : Prof. Dr. Alper ÖZKAN
Konya Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bil. Fak.

Üye : Prof. Dr. Bahri ERSOY
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

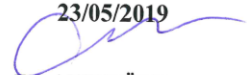
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23/05/2019

Fahri YENTÜRK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**HARÇLARDA KULLANILAN BAZI PUZOLİNİK MALZEMELERİN TANE
BOYUTUNUN ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA VE BASINÇ DAYANIMINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fahri YENTÜRK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bahri ERSOY

Bu çalışmada, beton harcının alkali silika reaksiyonuna (ASR) bazı puzolinik madde olarak kullanılan mineral katkıların tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda Soma termik santrali dip külü (taban külü) ve Gördes zeoliti beş farklı öğütme süresi (0, 30, 60, 180 ve 240 dk) kullanılarak öğütme işlemi gerçekleştirildi ve beş farklı tane boyut grubuna sahip mineral katkı elde edildi. Her bir tane boyutundaki katkılardan sırasıyla %10, 20 ve 30 oranında çimento yerine ikame edilerek beton harçları hazırlandı. Harç hazırlamada agrega olarak Doğancık köyü (Sultandağı/Afyonkarahisar) deresinden alınan doğal ince agrega ve CEM-I 42,5 çimentosu kullanıldı. Hazırlanan harç çubuklarına TS 13517'ye göre hızlandırılmış harç çubuğu yöntemiyle ASR'den kaynaklı genleşme miktarları belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda, alkali silika reaksiyonunu bastırması ve genleşmeyi engellemesi bakımından en iyi sonuçları dip külü için 240 dk. öğütülmüş (d_{50} :16,79 μ m) ürünün %30 ikamesi ile elde edilmiştir. Bu ürün katkısız üretilen harca göre genleşme oranını %85,86 oranında azalttığı ve basınç dayanımında ise önemli oranda bir azalmaya (%2,45) neden olmadığı saptanmıştır. Zeolit ile yapılan çalışmalarda ise en iyi sonucun 240 dk. öğütülmüş (d_{50} :10,49 μ m) ürünün %10 ikamesi ile elde edilmiştir. Zeolitin %10 ikamesi ile üretilen harçlarda genleşmelerin mineral katkısız harçlarla hazırlananlara göre yaklaşık %98 azaldığı, ancak basınç dayanımında da yaklaşık %29 oranında bir azalma olduğu saptanmıştır.

2019, xii + 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton harcı, Alkali silika reaksiyonu, Pozolinik katkı, Tane boyutu, Zeolit, Dip külü, Taban külü, Basınç dayanımı



ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENCE IN PARTICLE SIZE OF
SOME POZZOLINIC MATERIALS USED IN MORTARS ON ALKALI-SILICA
REACTION AND PRESSURE STRENGTH**

Fahri YENTÜRK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Bahri ERSOY

In this research, the effect of the particle size of mineral additive used as some pozzolanic substance on the alkali silica reaction (ASR) of the concrete mortar was investigated. In this context, Soma thermal power plant bottom ash (floor ash) and Gördes zeolite were grinded using five different grinding times (0, 30, 60, 180 and 240 min) and a mineral additive with five different particle size was obtained. Concrete mortars were prepared by substituting respectively 10%, 20 and 30 of cement from each particle size additive. The natural thin aggregate and CEM-I 42.5 cement taken from Doğancık village (Sultandağı / Afyonkarahisar) stream were used as aggregate in the preparation of mortar. Percent expansion values of the mortars resulting from ASR were determined by accelerated mortar bar method according to TS 13517. As a result of the studies, the best results for suppressing alkali silica reaction and preventing expansion for bottom ash, 240 min. (d_{50} :16,79 μ m) obtained with a 30% substitution of the product obtained. This product, according to the mortar produced without additive, decreased the rate of expansion by 85,86% and compressive strength did not cause a significant decrease (2.45%). In the studies with zeolite, the best result was obtained with a 10% substitution of the product obtained at the grinding time of 240 min (d_{50} :16,79 μ m). The decrease by ~ 98% in the expansion compared to those prepared with mineral additive, but in the pressure strength the decrease by ~29% was determined in the mortars produced with 10% substitution of zeolite.

2019, xii + 75 pages

Keywords: Concrete mortar, Alkaline silica reaction, Pozzolanic additive, Particle size, Zeolite, Bottom ash, Floor ash, Compressive strength.



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında verdiği destek ve yapmış olduğu katkılarından dolayı tez danışmanım olan hocam Pof. Dr. Bahri ERSOY'a, deneysel çalışmalarım sırasındaki ve sonrasındaki katkılarından dolayı Pof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na ve çalışmalarımda yardımcı olan Arş. Gör. Hakan ÇİFTÇİ'ye ve Öğr. Gör. Zeyni ARSOY'a ve manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına 17.FEN.BİL.53 numaralı proje ile destek veren Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Fahri YENTÜRK
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
2.1 Betonda Kullanılan Agregalar ve Özellikleri	6
2.1.1 Agregaların Sınıflandırılması	6
2.1.1.1 Kaynağına Göre Agregalar	6
2.1.1.2 Tane Boyutlarına Göre Agregalar	6
2.1.2 Agregalarda Aranılan Özellikler	7
2.2 Alkali Agregası Reaksiyonu	10
2.2.1 Alkali – Agregası Reaksiyonları Çeşitleri	10
2.2.1.1 Alkali – Karbonat Reaksiyonu	10
2.2.1.2 Alkali – Silikat Reaksiyonu	11
2.2.1.3 Alkali – Silika Reaksiyonu (ASR)	12
2.2.2 Alkali-Silika Reaksiyonunun Belirtileri	15
2.2.2.1 Genleşme ve Çatlama.....	15
2.2.2.2 Yüzey Birikintileri	16
2.2.3 Alkali – Silika Reaksiyonuna Etki Eden Faktörler	16
2.2.3.1 Agreganın Reaktifliği.....	16
2.2.3.2 Betonun Alkali İçeriği.....	17
2.2.3.3 Nem Etkisi.....	18
2.2.3.4 Sıcaklığın Etkisi	19
2.2.3.5 Agreganın Tane Büyüklüğü	19
2.2.3.6 Su/Çimento Oranı	20
2.2.4 Alkali – Silika Reaksiyonunu Belirleme Yöntemleri	20
2.2.4.1 Harç Çubuk Deneyi (TS 13516, ASTM C 227).....	20

2.2.4.2 Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi (TS 13517, ASTM 1260)	22
2.2.4.3 Beton Prizma Deneyi (ASTM C 1293).....	24
2.2.4.4 Kimyasal Yöntem (ASTM 289, TS 2517)	25
2.2.4.5 Mineral Katkıların veya Yüksek Fırın Cürufunun Etkinliklerini Ölçen Standart Deney Metodu (TS 13519)	27
2.2.4.6 Alkali – Silika Reaksiyonunu Belirlemek Amacıyla Kullanılan Diğer Yöntemler.....	28
3. MATERYAL ve METOT	29
3.1 Materyal	29
3.1.1 Agregat.....	29
3.1.2 Çimento.....	31
3.1.3 Mineral Katkılar.....	32
3.1.3.1 Dip Külü.....	32
3.1.3.2 Zeolit	34
3.2 Metot	36
3.2.1 Kimyasal Analiz (XRF)	36
3.2.2 Minerolojik Analiz (XRD).....	37
3.2.3 Petrografik Analiz.....	37
3.2.4 Öğütme Deneyleri.....	38
3.2.5 Tane Boyut Analizi	39
3.2.6 Harç Çubuklarının Hazırlanması	40
3.2.7 TSE 13517'ye Göre Gerçekleştirilen Alkali – Silika Reaktivite (ASR) Tayini Deneyleri.....	43
3.2.8 Basınç Deneyleri.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
4.1 Öğütme Deneyleri	45
4.1.1 Öğütme Süresinin Dip Külün Tane Boyutuna Etkisi.....	45
4.1.2 Öğütme Süresinin Zeolit Tane Boyutuna Etkisi	46
4.2 Alkali – Silika Reaktivite (ASR) Tayini Deney Sonuçları	47
4.2.1 Dip Külü Tane Boyutunun ve Miktarının ASR'ye Etkisi.....	47
4.2.2 Zeolit Tane Boyutunun ASR'ye Etkisi.....	53
4.2.3 ASR Etkisi Bakımından Dip Külü ve Zeolit Karşılaştırılması	59
4.2.4 ASR Sonrası Numunelerin Polarizan Mikroskop Görüntülerinin İncelenmesi	60
4.3 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	62

4.3.1 Dip Külün Tane Boyutunun Basınç Dayanımına Etkisi.....	62
4.3.2 Zeolitin Tane Boyutunun Basınç Dayanımına Etkisi	63
4.4 Basınç Dayanımı Bakımından Dip Külü ve Zeolitin Karşılaştırılması.....	64
5. SONUÇLAR.....	66
6. KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ	75



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

d ₁₀	Malzemenin ağırlıkça %10'unun geçtiği elek açıklığı (μm)
d ₅₀	Malzemenin ağırlıkça %50'sinin geçtiği elek açıklığı veya ortalama tane boyutu (μm)
d ₉₀	Malzemenin ağırlıkça %90'ının geçtiği elek açıklığı (μm)
MPa	Mega paskal
Na ₂ O	Sodyum oksit
K ₂ O	Potasyum oksit
NaOH	Sodyum hidroksit
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
%L	Boy değişimi yüzdesi
ΔL	Örneğin boy değişimi (mm)
L	Örneğin ilk uzunluğu (mm)
N	Normal
Rc	Agreganın alkali azalması
Sc	Çözünmüş silis
g	Gram
cm ³	Santimetre küp
mL	Mili litre
d/d	Devir/dakika

Kısaltmalar

ASR	Alkali Silika Reaksiyonu/Reaktivitesi
dk	Dakika
TS	Türk Standardı
AAR	Alkali Agregat Reaksiyonu
ACR	Alkali Karbonat Reaksiyonu
ASTM	American Society for Testing and Materials
HHÇ	Hızlandırılmış harç çubuğu
HÇ	Harç çubuğu
XRF	X-Ray Fluorescence
XRD	X-Ray Diffraction

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 ASR sonucu beton içerisinde meydana gelen bozunmanın basit (a) ve detay (b) gösterimi.	13
Şekil 2.2 Silisyumun pH değerine bağlı olarak çözünürlük derecesi (Uygunoğlu 2009)	14
Şekil 2.3 ASR'den kaynaklanan çatlaklara ilişkin örnek görünüşler.	15
Şekil 2.4 Çimentodaki alkali miktarının alkali-silika genleşmesine etkisi (Dinçdemir, 2015).	18
Şekil 2.5 ASR deneyi için hazırlanan harç çubukları (Bu tez çalışması).	22
Şekil 2.6 (a) Kür tankı içerisindeki harç çubukları ve (b) harç çubuklarının komperatör ile boy ölçümleri (Bu tez çalışması).	23
Şekil 2.7 %100 bağıl nemi sağlayacak şekilde tasarlanmış kap.	25
Şekil 2.8 Alkalitedeki azalma-çözünmüş silis ilişkisi.	26
Şekil 3.1 Agreganın mineralojik (XRD) analizi.	30
Şekil 3.2 Agreganın numunesinin polarizan mikroskop görüntüsü (Q: Kuvars) (Çift Nikol)	30
Şekil 3.3 Dip külünün mineralojik (XRD) analizi.	33
Şekil 3.4 Dip külünün alındığı haliyle (öğütme öncesi) tane boyut dağılımı.	33
Şekil 3.5 Zeolit numunesinin mineralojik (XRD) analizi.	35
Şekil 3.6 Zeolitin firmadan temin edildiği haliyle tane boyut dağılımı.	35
Şekil 3.7 Çalışmalarda kimyasal analizler için kullanılan XRF cihazı.	36
Şekil 3.8 Çalışmalarda mineralojik analizler için kullanılan XRD cihazı.	37
Şekil 3.9 Çalışmalarda petrografik analizler için kullanılan polarizan mikroskop.	38
Şekil 3.10 Öğütme deneylerinde kullanılan değirmen ve çelik hazne.	38
Şekil 3.11 Numunelerin tane boyut analizi için hazırlanması (solda) ve Malvern Mastersizer 2000 cihazında tane boyut ölçümü (sağda).	40
Şekil 3.12 Harç çubuklarının hazırlama aşamaları.	42
Şekil 3.13 Alkali silika deneylerinin yapıldığı test kabini.	43
Şekil 3.14 Basınç dayanımı testinde kullanılan hidrolik pres.	44

Şekil 4.1 Dip külünün öğütme süresine bağlı tane boyut dağılım eğrileri.	46
Şekil 4.2 Zeolit numunesinin öğütme süresine bağlı tane boyut dağılım eğrileri.	47
Şekil 4.3 Farklı oranlarda ham dip külü ikamesinin ASR'ye etkisi.	48
Şekil 4.4 30 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	49
Şekil 4.5 60 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	50
Şekil 4.6 180 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	51
Şekil 4.7 240 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	52
Şekil 4.8 Farklı sürelerde öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	53
Şekil 4.9 Farklı oranlarda ham zeolit ikamesinin ASR'ye etkisi.	54
Şekil 4.10 30 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	55
Şekil 4.11 60 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	56
Şekil 4.12 180 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	57
Şekil 4.13 240 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	58
Şekil 4.14 Farklı sürelerde öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.	59
Şekil 4.15 Harçdaki ASR'ye 240 dk öğütülmüş ve farklı oranlarda ikame edilmiş dip külü ve zeolitin etkisi.	60
Şekil 4.16 Mineral katkısız (üstte), 240 dk öğütülmüş dip külünden %30 ikame edilmiş (ortada) ve 240 dk öğütülmüş zeolitten %10 ikame edilmiş (altta) harç numunelerinin ASR testi sonrasındaki polarizan mikroskop görüntüleri....	61
Şekil 4.17 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş dip külünün farklı ikame oranlarının etkisi.	62
Şekil 4.18 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş zeolitin ikame oranının etkisi.	64
Şekil 4.19 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına 240 dk öğütülmüş ve farklı oranlarda ikame edilmiş dip külü ve zeolitin etkisi.	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Beton agregalarına uygulanan testler/analizler ve bunlara ilişkin bazı bilgiler.	8
Çizelge 2.2 Harç çubuğu deneyinde harç çubuklarının dökülmesinde kullanılan agregaların boyutları ve karışım oranları (TS EN 13517).	21
Çizelge 3.1 Agreganın kimyasal analizi.	29
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan CEM-I 42,5 portland çimentosunun XRF yöntemiyle elde edilen kimyasal analizi.	31
Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan dip külünün kimyasal analizi.	32
Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan zeolitinin kimyasal analizi.	34
Çizelge 3.5 Öğütmede kullanılan bilyalı değirmenin, ortamın ve mineral katkıların özellikleri.	39
Çizelge 3.6 Beton harcında kullanılan malzemeler ve miktarları.	41
Çizelge 4.1 Ham ve öğütme işlemleri sonrası elde edilen dip külü numunelerinin d_{10} , d_{50} ve d_{90} boyutları.	45
Çizelge 4.2 Ham ve öğütme işlemleri sonrası elde edilen zeolit numunelerinin d_{10} , d_{50} ve d_{90} boyutları.	46
Çizelge 4.3 ASTM C1260 standardına göre ASR sınır değerleri (Uygunoğlu, 2009, Korkmaz, 2010).	48
Çizelge 4.4 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş dip külü ikamesinin etkisi.	62
Çizelge 4.5 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş zeolit ikamesinin etkisi.	63

1. GİRİŞ

Beton agregası, su, bağlayıcı olarak çimento ve katkılı çimento malzemelerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Agregada içinde bulunan bazı aktif silisli mineraller ile, çimento içinde bulunan alkali oksitler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) reaksiyona girerek viskoz yapıda alkali silikat hidrat jelini oluştururlar. Bu literatürde yaygın bilinen ismiyle alkali-silika reaksiyonu (ASR) veya alkali-agrega reaksiyonudur. Beton boşluklarında oluşan bu jeller genişterek betonu çatlatır veya içsel gerilmeler sonucu mukavemet kaybetmesine neden olur (Yalçın ve Gürü, 2006). Alkali silika reaksiyonunun bastırılması ve dolayısıyla betonda meydana gelebilecek çatlakların en aza indirilmesi için farklı yöntemler önerilmektedir. Bunlar; (i) aktif silisli mineral içermeyen agregası kullanılması, (ii) alkalitesi düşük çimento kullanılması, (iii) puzolanik malzeme kullanılması ve (iv) Beton bünyesine suyun girmesinin engellenmesi (Yalçın ve Gürü 2006). Bu yöntemler içerisinde üzerinde en çok çalışılan hususun puzolanik katkıları olduğu söylenebilir. Alkali silika reaksiyonu ile ilgili olarak yıllardır farklı katkıları kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda farklı katkıları ve/veya kimyasallar kullanılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları; reaktif agregası kullanarak, yüksek fırın cüruf çimentolu harçların genişlemesini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarını normal portland çimentolu harçlarla yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve elde edilen sonuçlara göre yüksek fırın cüruf çimentolu harçların alkali silis reaksiyonu nedeniyle genişlemeye uğradığını ama benzer koşullar altında normal portland çimentolu harçlardaki genişmeden daha düşük hızda genişlemenin olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Turanlı vd. 2003). Mladenovic ve ark (2004) ASR yayılımını minimize etmek için puzolanik madde özellikleri taşıması amacıyla kil tuğla kullanmışlardır. Bu amaçla yaptıkları deneyler sonucunda kil tuğlaların; çimento ile kısmi yer değiştirme ve ASR' den dolayı oluşan genişlemeyi durdurma amaçlı kullanıldığı zaman puzolanik malzeme olarak bir potansiyele sahip olduğunu gözlemlemişlerdir (Mladenovic vd. 2004). Topçu (2003) Üç farklı renkte ve dört farklı miktarda atık camla harç çubukları üreterek, alkali – silis reaksiyonuna camların etkisini araştırmıştır. Beyaz, yeşil ve kahverengi camlardan beyaz camın en fazla genişlemeye neden olduğunu ve cam agregaların tane çapının küçülmesiyle alkali-silis reaksiyonunun hızlandığını gözlemiştir. Uygunoğlu (2009) harçların üretiminde doğal kum, kırma kum, beton atığı kum, silis dumanı ve mermer atığı kum kullanılmıştır. Çalışma sonucunda silis dumanının %10 – 30 oranında katıldığında alkali-silika reaksiyonu değerinin önemli

ölçüde azaldığı ifade edilmiştir. Çelik (2004) yaptıkları çalışmada tras ve uçucu külü farklı tane boyutuna getirerek çimento pastasının (harcın) dayanımına etkisini incelemiş tane boyutunun azaltılmasıyla (blain değerinin artırılmasıyla) harcın dayanımının arttığını tespit edilmiştir. El - Enei ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada nano silikanın dolomit içeren agregalar üzerinde fiziko mekanik ve alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında harçlara portland çimento yerine %1, %2 ve %4 oranında nano silika ikame etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ASR'yi bastırma bakımından en iyi sonucun %2 ikame ile elde edildiği raporlanmıştır.

Öte yandan, ülkemizde beton veya harcın alkali-silika reaksiyonu (ASR) ile ilgili daha önceki yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları ve elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

Dinçdemir (2015) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde alkali silika reaksiyonunun meydana getirdiği olumsuz sonuçların önlenmesi amacıyla çimento ile birlikte farklı oranlarda uçucu kül (%15, %30 ve %45), silis dumanı (%5, %10 ve %15), yüksek fırın cürufu (%20, %40 ve %60), metakaolin (%5, %10 ve %15) ve lityum karbonat (%1, %2 ve %3) olmak üzere 5 farklı mineral ve kimyasal katkı ikamesi uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda mineral katkıların ikamesi ile ASR'nin oluşturduğu olumsuz sonuçlar üzerinde etkili olduğu ve katkı oranı arttıkça zararın giderek azaldığı belirlenmiştir. Mineral katkıların yüksek oranlarda ikamesi ile ASR'nin neden olduğu genleşme oranının ASTM C 1260 standardına göre güvenli bölgede yer alırken, Lityum karbonat ilavesinde bütün oranlarda zararsız sınıfa düşecek kadar azalmadığı tespit edilmiştir.

Kurt (2009) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında alkali silika reaksiyonunun meydana getirdiği olumsuz sonuçların önlenmesi amacıyla beton harcına farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20, 25 ve 30) ayrı ayrı uçucu kül, silis dumanı, gaz beton tozu ve kiremit tozu olmak üzere 4 farklı puzolunik katkı ve farklı oranlarda (%0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 ve 3) ayrı ayrı lityum sülfat (Li_2SO_4), lityum nitrat (LiNO_3) lityum karbonat (Li_2CO_3) lityum florür (LiF) lityum bromür (LiBr) gibi 5 farklı kimyasal katkı ikame edilmiştir. Çalışma sonucunda gaz beton tozu hariç, diğer puzolunik katkılarda %15 ve sonraki ikame oranlarında ASR'den kaynaklı genleşme oranı azalırken, kimyasal katkılarda en iyi sonuçların lityum nitrat ve lityum karbonatta elde edildiği belirlenmiştir. Mineral ve

kimyasal katkıların tümünde katkı oranı artıkça ASR'den kaynaklı genleşme oranının azaldığı belirlenmiştir.

Korkmaz (2010), tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında, beton harcına farklı oranlarda (%5, 10, 15 ve 20) ayrı ayrı atık tuğla tozu ve uçucu kül ve ayrıca atık tuğla tozu ile uçucu külü eşit miktarda karıştırarak farklı oranlarda (%5, 10, 15 ve 20) ikame etmiştir. Çalışmada puzolanik katkıların betondaki basınç dayanımına, kürlenme süresine ve ASR'ye etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, bütün karışımlarda puzolanik katkıların ikame oranı artıkça harçların priz başlangıç ve priz sona erme sürelerinde artış meydana geldiği, harçların numunelerinin yaşı ilerledikçe dayanımlarının arttığı ve ASR'den kaynaklı genleşme oranının azaldığı ancak sınır değerin altına inmediği belirlenmiştir.

Yıldırım (2013) yaptığı doktora çalışmasında, alkali silika reaksiyonunun meydana getirdiği olumsuz sonuçların önlenmesi amacıyla betona çimento yerine farklı oranlarda (%10, %20, %30, %40 ve %50) ayrı ayrı uçucu kül, yüksek fırın cürufu, metakaolin ve silis dumanı ikame etmiş ve farklı yöntemler kullanarak ASR üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ASR'nin etkisini araştırmak amacıyla kullanılan bütün yöntemlerde mineral katkıların %25 - %30 ikame oranlarında ASR oluşumundan kaynaklı genleşme oranının standartta belirtilen değerin (%0,10) altına indiği tespit edilmiştir.

Bağdiken (2013) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, alkali silika reaksiyonunun meydana getirdiği olumsuz sonuçların önlenmesi amacıyla beton harcına farklı oranlarda (%10, %20 ve %30) ayrı ayrı uçucu kül, kireçtaşı tozu ve bu iki katkının eşit miktarda karışımını farklı oranlarda (%20, 30 ve 40) ikame etmiştir. Çalışma sonucunda, mineral katkıların ASR'den kaynaklı genleşmeleri azalttığı, en fazla etkinin kireçtaşı tozu katkısıyla sağlandığı ve katkı oranı artıkça genleşme miktarının azaldığı saptanmıştır. Ancak çalışma kapsamında hazırlanan bütün harçlarda genleşme miktarı sınır değerin altına düşürülememiştir.

Aydın (2012) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, 3 farklı agrega, 4 farklı çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 porland çimentosu ve farklı oranlarda (%10 ve

%20) 3 farklı mineral katkı yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı kullanarak harçlarda ASR'den kaynaklı oluşan olumsuzlukların giderilmesini araştırmıştır. Araştırma sonucunda kullanılan bütün çimentolarda 14 gün sonunda oluşan genleşme miktarının farklı olduğu ve mineral katkıların ASR de etkin rol oynadığı, mineral katkı oranı artıkça genleşme oranının azaldığı raporlanmıştır.

Karakaş (2013) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, Hurşit çayı vadisi boyunca 5 farklı bölgelerden agrega numuneleri temin ederek beton harcını ASR açısından incelemiştir. Çalışmada her bir numunenin petrografik analizleri yapılarak mineral içerikleri belirlenmiştir. Daha sonra agregaların potansiyel alkali silis reaktivitesini belirlemek amacıyla hızlandırılmış harç çubuğu ve kimyasal yöntem kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Hurşit Çayı Vadisi agregalarının alkali silika reaksiyonuna eğilimli oldukları belirlenmiştir.

Bal (2011) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, 4 farklı ocaktan temin edilen farklı agregaların (dasitik tuf, granit, kalker ve bazalt) fiziko – mekanik ve mineralojik özellikleri belirledikten sonra beton harcında ASR oluşumu bakımından incelemiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan harç çubuklarına çimento yerine aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu ikame edilmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan bütün agregaların dayanım özelliklerinin standartları sağladığı, aktifleştirilmiş cüruf ikame edilen harçlarda Na_2O oranı artıkça basınç dayanımı ve ASR'den kaynaklı genleşme oranının arttığı belirlenmiştir.

Nayır (2015) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, alkali silika reaksiyonunun meydana getirdiği olumsuz sonuçların önlenmesi amacıyla taş ocağı agregası ve dere agregasının kullanıldığı beton harçlarında ASR oluşumuna etkisini araştırmıştır. Çalışmada mineral katkıları agregalara farklı oranlarda ikame etmiştir. Taş ocağı agregası ile yapılan deneylerde çimento ile birlikte farklı oranlarda (%20, 40 ve 60) uçucu kül ve farklı oranlarda (%5, 10 ve 15) silis dumanı, (%5, 10 ve 15) ve metakaolin ikame etmiştir. Dere agregasına ise ikame uçucu kül (%10, 20 ve 30), silis dumanı (%5, 7,5 ve 10) ve metakaolin (%5, 7,5 ve 10) ikame etmiştir. Çalışma sonucunda bütün mineral katkılarda katkı oranı artıkça ASR'den kaynaklı genleşmelerin azaldığı belirlenmiştir.

Gürkan (2006) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, alkali silika reaksiyonunun meydana getirdiği olumsuz sonuçların önlenmesi amacıyla beton harcına farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20, 25 ve 30) ayrı ayrı zeolit, perlit ve pomza ikame etmiştir. Çalışma sonucunda, mineral katkıların oranı artıkça harçta ASR'den kaynaklı genleşmeleri azalttığı, ancak perlit katkılarıyla hazırlanan harçlarda meydana gelen azalmaların sınır değerlerin altına düşmediği diğer katkılarda ise yüksek oranlarda (zeolit: %25 ve pomza %30) ikame ile sınır değerlerin altına düştüğü belirlenmiştir.

Yukarıda verilen bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere literatürde, mineral katkı türlerinin ASR üzerine etkisi konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır, ancak, yazarların ulaşabildiği bilgiler çerçevesinde puzolinik özellikteki mineral katkıların tane boyut farklılığının beton harcının ASR üzerine etkisi konusunda bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, öğütülerek 5 farklı tane boyutuna getirilen iki farklı doğal mineral katkının (doğal zeolit ve dip külü) harcın alkali-silika reaksiyonuna nasıl etki yaptığı ve buna bağlı olarak harcın dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışması literatüre bu anlamda önemli bir katkı sağlayacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Betonda Kullanılan Agregalar ve Özellikleri

2.1.1 Agregaların Sınıflandırılması

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen, organik olmayan, mineral esaslı kum, çakıl, kırma taş gibi inert malzemelere agrega denir (Özişik 1998, Yalçın ve Gürü 2006, Gün 2007). Agregalar kaynağına göre ve boyutuna göre iki temel grupta sınıflandırmak mümkündür.

2.1.1.1 Kaynağına Göre Agregalar

Kaynağına göre agregalar elde edilme şekline göre iki temel sınıfa ayrılmaktadır.

- A) **Doğal Agregalar** : Nehirlerden, eski buzul yataklarından, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından temin edilen agregalardır. Bu agregalar üzerinde kırma, yıkama ve sınıflandırma dışında hiçbir işlem yapılmamaktadır.
- B) **Yapay Agregalar** : Beton üretimi ile doğrudan bir ilgisi olmayan bir endüstride yan ürün veya artık malzemelerden elde edilen agregalardır. Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır (Davraz ve Gündüz 2004, Gün 2007).

2.1.1.2 Tane Boyutlarına Göre Agregalar

- A) **İri Agregalar** : Tane boyutu 4 mm'nin üstünde olan agregalar iri agregalar olarak sınıflandırılır. İri agregaları oluşum şekline göre iki gruba ayrılır.
 - 1. *Çakıl* : Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregalar.
 - 2. *Kırma taş (Mıcır)* : kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregalar.
- B) **İnce agregalar** : Tane boyutu 4 mm'nin altında olan agregalara ince agregalar denir. İnce agregalar oluşum şekline göre iki gruba ayrılır.
 - 1. *Kum* : Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.
 - 2. *Kırma Kum* : Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.
- C) **Taşunu (Filler)** : Tane boyutu 0,125 mm'nin altında olan agregalara taşunu denir.

2.1.2 Agregalarda Aranılan Özellikler

Agregalar betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Beton hacminin %60 - 80'ini agregalar oluşturmaktadır. Agregalar betonun maliyetini azaltmanın yanı sıra betonun teknik özelliklerine de önemli katkı sağlamaktadır. Bu katkılar;

- Beton dayanımının artmasını sağlarlar.
- Betonun aşınmaya karşı direncini artırır.
- Beton içinde büzülmeden dolayı oluşabilecek hacim değişikliğine engel olurlar.

Agregaların beton agregası olarak değerlendirilebilmesi için fiziksel ve kimyasal bazı özelliklere sahip olmalıdır. Agregaların sahip olması gereken azami özellikleri TS 706 EN 12620 “Beton Agregaları” standardında ifade edilmiştir. Bu standartta agreganın betonda kullanılabilmesi için yapılacak testler ve testlerden elde edilen değerlerin üst sınırları ifade edilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Beton agregalarına uygulanan testler/analizler ve bunlara ilişkin bazı bilgiler.

Test/Analiz Adı	Standart Numarası	Amacı	Üst Sınır Değer
Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler			
Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji	TS 10088 EN 932-3/A1- 2006	Agreganın kökenini belirlemek için yapılmaktadır.	-
Agregaların geometrik özellikleri için deneyler			
Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu	TS EN 933-1:2012	-0,063 mm boyutu dışında kalan agregalara uygulanmaktadır. Betonda kullanılacak agregaların boyut dağılımı belirlemek amacıyla uygulanan standart deneydir.	
Tane şekli tayini yassılık endeksi	TS EN 933-3 :2012	4/63 mm boyutundaki agregalara uygulanır. Agregalar içinde bölgesel boşlukları uluşturarak betonun dayanımını düşmesine neden olabilecek tane miktarını belirlemek amacıyla yapılır.	< %50
Tane şeklinin tayini- Şekil indisi	TS EN 933-4 :2009	4/63 mm boyutundaki agregalara uygulanır. Betondaki çimento ihtiyacını artıran ve kontak noktaları çabuk aşınan, uzun kenarın kısa kenara oranı en az 3 olan tanelerin miktarını belirlemek amacıyla yapılır.	< %50
İri agregalarda kavkı içeriğinin tayini – Kavkı yüzdesi	TS EN 933-7:2000	4/63 mm boyutundaki agregalara uygulanır. Agregalarda bulunan kavkı (İstiridyeye veya midyenin sert dış kabuğu) miktarını belirlemek için yapılır.	< %10
İnce tanelerin tayini- Kum eşdeğeri tayini	TS EN 933-8:2012+A1	0 – 2 mm boyutundaki ince agregalara uygulanır. Bu deneyin amacı ince agregadaki kil, silt oranı belirlemektir.	-
İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9 + A1: 2013: 2014	İnce agregaların bünyesindeki kil miktarını belirlemek amacıyla uygulanan deney yöntemidir. İnce agregaların içerisinde bulunan kil miktarı metilen mavisi boyası kullanılarak belirlenmektedir. Betonun bünyesinde fazla miktarda kil bulunması betonda olumsuzluklara (betonda kuruma ile çatlama, kıvam kaybı, dayanım kaybı ve gereken su miktarının fazlaşması) neden olmaktadır.	< %3
İnce tanelerin tayini - İnce dolgu malzemelerinin tane büyüklüğüne göre sınıflandırılması (hava jeliyle eleme)	TS EN 933-10:2010	0/2 mm boyutuna uygulanır. İnce agregalarda bulunan 0,063 mm boyutundaki malzeme miktarını belirlemek için uygulanır.	-

Çizelge 2.1 (Devamı) Beton agregalarına uygulanan testler/analizler ve bunlara ilişkin bazı bilgiler.

Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler			
Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro- Deval)	TS EN 1097-1 :2011	İri agregaların aşınmaya karşı dayanımlarını belirlemek için uygulanır.	< %35
Parçalanma direncinin tayini için metotlar	TS EN 1097-2:2010	İri agregaların darbeye karşı dayanımlarını belirlemek için uygulanan deney yöntemidir.	< %50
Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini	TS EN 1097-3:1999	Kuru agregaların gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin belirlenmesi için yapılır.	-
Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini	TS EN 1097-6:2013	Agregalarda tane yoğunluğu (birim hacim kütlesi) ve su emme (absorpsiyon) oranının belirlenmesi için uygulanır.	-
Taş parlatma değerinin tayini	TS EN 1097-8:2009	Trafiğin sebep olduğu yüzey aşınmalarına karşı agregaların dayanımını belirlemek için uygulanan bir deney yöntemidir.	< %20
Çivili lastiklerden kaynaklanan aşınmaya karşı direncin tayini- Nordik deney	TS EN 1097-9:2014	İri agregaların aşınmaya karşı dayanımını belirlemek için uygulanır.	< %30
Agregaların Isıl ve Bozunma Özelliklerini Tayin İçin Deneyler			
Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini	TS EN 1367-1:2009	Donma ve çözölmeye maruz kalan bir ortamda kullanılacak agreganın donma ve çözölmeye karşı dayanımını belirlemek için uygulanan bir deney yöntemidir. Deney sonrasında agregalardaki kütle kaybına bakılır.	< %4
Magnezyum sülfat deneyi	TS EN 1367-2:2010	İri agregaların Magnezyum sülfat tuzuna karşı dayanımını belirlemek için uygulanan deney yöntemidir.	< %35
Kuruma çekmesi tayini	TS EN 1367-4:2009	İri agregaların betonun kuruma çekmesi üzerinde agregaların etkisini belirlemek için uygulanır.	< %0,075
Alkali-silika reaktifliği	TS 13516:2012 TS 13517:2012 TS 13519:2012	Agregaların çimentoda bulunan alkali gruplarla (K_2O ve Na_2O) oluşturduğu reaksiyon sonrasında boyca genleşmesini belirlemek için uygulanan deney yöntemidir.	< %0,20
Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler			
Kimyasal analiz	TS EN 1744-1:2009+A1:2013	Agregaların kimyasal bileşimini belirlemek için uygulanan deney yöntemleridir.	-
Asitte çözünebilen klorür tuzlarının tayini	TS EN 1744-5:2008	Agregaların bünyesinde bulunan, asitte çözünebilen klorür tuzlarının miktarını belirlemek için uygulanan deney yöntemidir.	< %0,10

2.2 Alkali Agrega Reaksiyonu

Basit bir ifadeyle, betondaki AAR, üç bileşen içeren bir betonun yapısında gelişen çeşitli kimyasal reaksiyonlardır. Bu kimyasal reaksiyonu beton matristeki alkaliler ile güçlü alkaliler tarafından saldırıya açık agregalardaki bazı mineraller arasında meydana gelmektedir.

Alkali agrega reaksiyonu (AAR), ileriki dönemlerde betonda durabilite yönünden bozulmalara neden olmaktadır. Bu bozulmalar genellikle, sertleşmiş beton yüzeylerde harita şekilli çatlaklar, pullanma ve diğer bozulma mekanizmaları ile gözlenir. Kısaca alkali silika reaksiyonu, reaktif agregadaki silika ve portland çimentosunda bulunan alkali silikatlar arasındaki reaksiyonun ortamın nemi ile birleşmesi sonucu oluşan alkali silika jel harita şekilli çatlakları şeklinde kendini gösterir. Bu reaksiyonlar ayrıntılı olarak aşağıda anlatılmıştır.

2.2.1 Alkali – Agrega Reaksiyonları Çeşitleri

Betonda üç tür alkali-reaktivite reaksiyonları oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar;

- 1) Alkali – Karbonat Reaksiyonu
- 2) Alkali – Silikat Reaksiyonu
- 3) Alkali – Silika Reaksiyonu

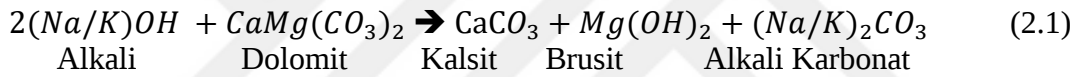
2.2.1.1 Alkali – Karbonat Reaksiyonu

Alkali karbonat reaksiyonu (ACR), reaktif karbonat kayalar ve çimento hamuru içindeki alkali silikatlar arasındaki reaksiyonu, ortamın nemi ile birleşmesi sonucu görülen kimyasal reaksiyondur (Denklem 2.1). ACR reaksiyonu çoğunlukla ince taneli kalsit ve kil matrisi içinde dağılmış daha büyük rombik (eşkenar dörtgen) dolomit kristalleri içeren reaktif kayalarda meydana gelmektedir. Dolomit kayaları kayacın içerisinde sık veya seyrek olarak bulunabilirler, kristallerin seyrek bulunan dolomit kristalleri düzgün kristal yapıya sahipken sık bulunanların geometrik yapıları oldukça düzensizdir. Bu kayalar içerisinde çoğu zaman silt boyutunda kuvars taneleri de bulunmaktadır (Swamy 1992, Ozol 1994, Yıldırım 2013). Alkali karbonat reaksiyonu oluşan hakla ve oluşan ürünlere göre üç ana grupta toplamak mümkündür.

a) Kalsitik kireçtaşları ile karbonat reaksiyonları : Reaksiyon sonrası kireçtaşından oluşan agrega parçalarının etrafında koyu renkte reaksiyon halkası oluşur. Bu halkalar parçacığın iç bölgelerine göre hidroklorik asitte daha hızlı çözünür. Bu çözünme neticesinde betonda dağılmalar meydana gelebilir.

b) Agregada belirgin reaksiyon halkası oluşumu ile karakterize edilebilen dolomitik kireçtaşı reaksiyonları.

c) İç yapısında kalsit ve kil barındıran ince taneli dolomitik kireçtaşlarının reaksiyonları (Eşitlik 2.1). Alkalilerle reaksiyon, belirgin bir dolomitsizleşme halkası oluşturur. Reaksiyona uğrayan ürünlerin sulandırılmış hidroklorik asit ile yıkanması sonucunda çoğunlukla silisçe zengin belirgin reaksiyon halkası açığa çıkar. Yapılan çalışmalar neticesinde betonlarda sadece bu tip ACR reaksiyonlarında önemli genleşme hasar belirlenmiştir (Swenson and Gillott 1964, Dolar-Mantuani 1983, Blight and Alexander 2011).



Aşağıdaki faktörler betonun ACR genleşmelerini arttırmaktadır;

1. Kaba agreganın boyutunun artması,
2. Ortamda nemin bulunması,
3. Ortam sıcaklığının artışı,
4. Beton alkali içeriğinin ve boşluk çözeltisi pH'ın yüksek olması,
5. Kaba agrega içerisinde reaktif faz miktarının yüksek olması,
6. Beton dayanımının düşük olması.

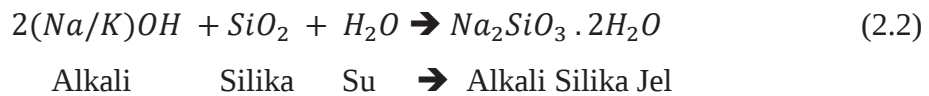
2.2.1.2 Alkali – Silikat Reaksiyonu

Alkali silikat reaksiyonu, yüksek alkali betonda bulunan düzensiz kriptokristal silika formları içeren belirli argillit, grovak ve diğer tortul ve metamorfik agregalar arasındaki reaksiyonu içermiştir (Andinç Çakır 2007, Blight and Alexander 2011, Poole 2017). Bu tip kayaçların alkalilerle reaksiyonu oldukça yavaştır ve tam olarak anlaşılmamıştır. Alkali silikat reaksiyonu, serbest silikadan ziyade, filosilikatların birleşik formundaki silikatlar ile meydana gelmektedir. Her bir kayaç parçasının genleşmesi, bu kayaçların

mikrokristalin kısımlarının içerisinde yer alan ve önceden kuru olan alüminosilikat yüzeylerinin su alması ile meydana gelir. Genleşme ile mikrokristalin malzemenin miktarı ve porozite arasında doğru orantı bulunmaktadır (Grattan-Bellew 1978, Oberholster 2001, Blight and Alexander 2011). Bu reaksiyon alkali karbonat ve alkali silis reaksiyonlarına kıyasla daha nadir görülmektedir ve bu reaksiyonun karakteristik özellikleri karmaşık olduğundan izah etmek oldukça zordur (Hobbs 1988, Blight and Alexander 2011, Lagerblad 2012, Poole 2017).

2.2.1.3 Alkali – Silika Reaksiyonu (ASR)

En yaygın görünen alkali agrega reaksiyonu formudur. Alkali silika reaksiyonu (ASR), agregalardaki reaktif silis ile beton boşluk çözeltisindeki hidroksil iyonları (OH^-) arasında meydana gelen ve çimento alkalilerinin katkısıyla oluşan jelin su emerek genleşmesi sonucunda betonda hasar meydana getiren reaksiyon olarak tanımlanabilir (Blight and Alexander 2011, Lagerblad 2012, Poole 2017, Yalçın ve Gürü 2006, Sağlık vd. 2002). Betonun bünyesinde bulunan derişik alkali hidroksit çözeltisi, volkanik cam, kristobalit, tridimit ve opal ile kolayca reaksiyona girerek ASR'nin oluşumunu hızlandırmaktadır. Ayrıca, serbest kuvars içeren çört, kalsedon, mikrokristalli kuvars, kriptokristalin kuvars içeren agregalarla ASR'nin hızını artırmaktadır. ASR reaksiyonun temel denklemi Eşitlik 2.2'de verilmiştir.

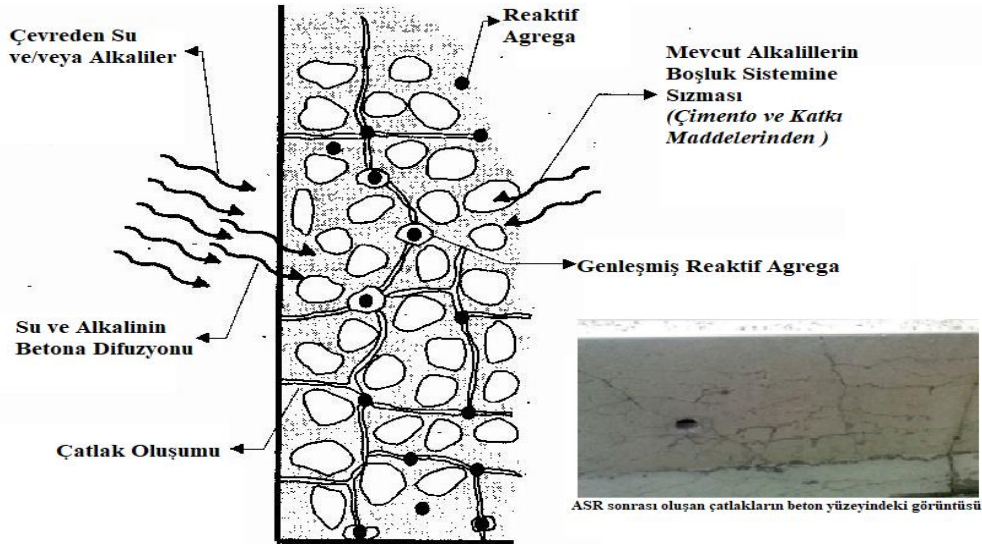


Reaksiyon sonucunda oluşan alkali silis jeli, nemi absorbe ettiği zaman genişir ve sonunda betondaki çimento hamurunda ve agrega parçacıklarında çatlaklar oluşturur (Şekil 2.1). Betonda oluşan bu çatlaklar sonucunda, betonun su emmesi artar, suyun artmasıyla orantılı olarak jel oluşumu artış göstererek çatlakların büyümesine neden olur. ASR reaksiyonu sonucunda betonda büyük çatlakların oluşmasına neden olduğundan agrega ile çimento arasında oluşan ara yüzey bağının kopmasına neden olarak parçalanmasına yol açar. Reaktif silis içeren agrega tanelerinin büyüklükleri reaksiyonun hızını etkilemektedir. Küçük tanelerin reaksiyonu sonucunda genleşme 1 veya 2 ay içerisinde oluşur iken daha

büyük tanelerin reaksiyonunda oluşan genleşme yıllar sonra ortaya çıkmaktadır. ASR ve ardından betonda oluşan genleşme bazı şartlar aynı anda oluştuğunda meydana gelir. Bunlar; beton yeterince suya doygun olmalı (20 °C sıcaklıkta, yaklaşık %75-85 bağıl nem), betonda kullanılan agrega içerisinde yeterince reaktif silis bulunmalı ve betonda kullanılan çimentoda veya mineral katkı içerisinde yüksek oranda alkali (sodyum, potasyum) bulunmalıdır. Bu şartlar altında beton boşluk suyunun pH'ı artar ve ortama bol miktarda hidroksil iyonları çıkar. Bunun sonucunda reaktif silis içeren agrega içerisinde silisin (Si) çözünürlüğü artar (Şekil 2.2) (Uygunoğlu 2009; Baradan vd. 2002, Kurt 2009) ve alkali silika hidrat jelinin oluşumu meydana gelir (Şekil 2.1 a, b).

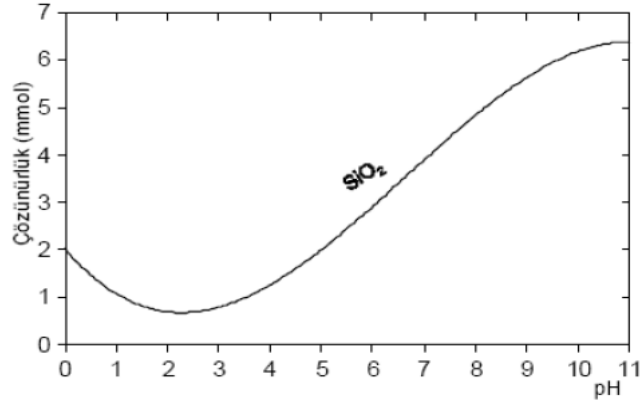


(a) Abdelrahman vd (2015)'den revize edilerek alınmıştır.



(b) Baradan vd., (2002)'dan alınmıştır.

Şekil 2.1 ASR sonucu beton içerisinde meydana gelen bozunmanın basit (a) ve detay (b) gösterimi.

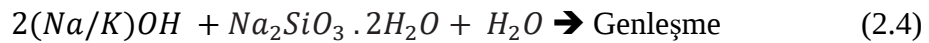


Şekil 2.2 Silisyumun pH değerine bağlı olarak çözünürlük derecesi (Uygunoğlu 2009).

Alkali silis reaksiyonunu kontrol altına almak, aşağıdaki şartları sağlamakla mümkündür;

1. Ortamdaki rutubeti kontrol altına almak,
2. Reaktif silis içeren beton veya agreganın tipini veya miktarını kontrol altına almak,
3. Boşluk suyunun pH'ını agrega içindeki silisi çözemeyecek kadar düşük seviyede tutmak (çimentodan ve mineral katkıdan gelecek olan alkali miktarını azaltmakla),
4. Yukarıdaki koşullar sağlanamıyorsa betonda çimentoya ilaveten düşük alkali içeren bir mineral katkı (puzolan) kullanmak,
5. ASTM C 150 Portland çimentoları için (Na₂O) eşdeğer alkali içeriğini %0,6 ile ASTM C 618 ise mineral katkılar (uçucu kül ve tras) için aynı parametreyi %1,5 ile sınırlandırmıştır.

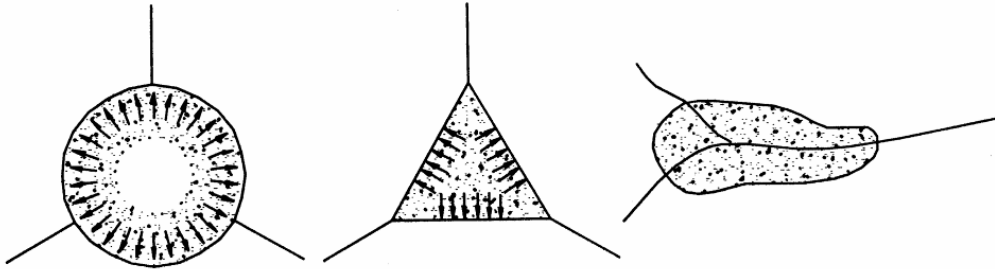
ASR'nin oluşabilmesi için agregada reaktif silis formları, yeterli miktarda alkali yanında ortamda nem bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa ASR nedeniyle bir genleşme de olmayacaktır. ASR basitçe iki aşamada görülebilir. ASR'nin oluşum aşamaları Eşitlik 2.3 ve 2.4'te verilmiştir (Blight and Alexander 2011, Lagerblad 2012, Poole 2017).



2.2.2 Alkali-Silika Reaksiyonunun Belirtileri

Betonda ASR ürünleri oluşmadıkça, betonda zararlı ASR genişlemesinden bahsetmek mümkün değildir. Betonda meydana gelen zararlı ASR oluşumları, beton yüzeyinde yapılacak incelemelerle tespit etmek mümkündür. Beton yüzeyinde dikkatli bir şekilde incelendiğinde görsel olarak tespit edilebilecek ASR belirtileri; genişleme, betonda çatlaklar, yüzey birikintileri, yüzey parçalanmaları – patlamaları ve renk değişimleridir. ASR sebebiyle oluşan genişleme ve çatlakların, beton yapılarda yapısal ve kullanımsal sorunlar oluşturduğu bilinmektedir.

ASR varlığının en tipik göstergesi, genişlemelerle ortaya çıkan harita çatlağı şeklindeki çatlak desenleridir. ASR çatlaklarının deseni, yapılarda oluşan zemin ve çeşitlik yüklerden kaynaklanan çatlak yapılarından farklıdır. ASR'nin oluşturduğu jelleşme, agrega taneciği içinde veya agrega taneciği çevresinde reaksiyon halkası biçiminde gelişebilir. Oluşan jel ortamda bulunduğu bütün suyu emmektedir. Jel, su emdikçe hacimsel olarak büyür (şişer). ASR'den kaynaklanan çekme gerilmelerin sebep olduğu 3 veya 4 kollu yıldız şeklinde çatlaklar meydana gelmektedir (Şekil 2.3) (Swamy and Al-Asali 1988, Arslan 2001, Karakaş 2013).



Şekil 2.3 ASR'den kaynaklanan çatlaklara ilişkin örnek görüntüler.

2.2.2.1 Genleşme ve Çatlama

ASR hasarı gösteren bir betonda en dikkat çekici görüntü, harita şeklindeki ağ çatlaklarıdır. ASR genişmeleri reaktif agreganın içinde veya etrafında jel oluşumunu takiben jelin su emmesi ile başlar. Su emen jel, her yönde yaklaşık 10 MPa veya daha fazla gerilme oluşturur (Farny and Kosmatka 1998, Gümüş 2009). Homojen küresel bir agreganın etrafındaki çimento hamuruna uyguladığı basınç her yönde eşit olup böyle bir

hacim artışıını karşılayan minimum çatlak sayısı üçtür ve genelde bu çatlaklar birbiri ile 120° açı yapar. Bu çatlaklar üç-dört kollu yıldız şeklinde agrega etrafında başlayarak yayılır. Bu çatlakların birbiri ile birleşmesi sonucunda zorlanmamış ve donatısız betonda klasik harita çatlakları oluşurken, zorlanma bulunan yapılarda ise çatlaklar gerilme doğrultusunda yönelir (Figg 1987, Poole 1992). Donatılar ana gerilmeye paralel bulunduğundan doğrusal ASR çatlakları da bu yöndedir. Ancak, çelik korozyonu çatlaklarından farklı olarak bunlar donatı üzerinde değil, donatılar arasında oluşur (Figg 1987, Swamy 1992, Pool 1992, Yıldırım 2013).

2.2.2.2 Yüzey Birikintileri

ASR jeli düşük viskozitede ise beton yüzeyindeki boşluklarda birikir ve nem miktarına bağlı olarak sulu bir bölge oluşturup yavaşça karbonatlaşarak beyaz bir görünüm kazanır. Çatlaklar üzerinde ASR jeli tortuları veya kalsiyum karbonat görülebilir. Çatlaklar üzerinde 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 (Farny ve Kosmatka 1997, Yıldırım 2013).

2.2.3 Alkali – Silika Reaksiyonuna Etki Eden Faktörler

Alkali-silika reaksiyonunun oluşumu için üç temel koşul olan yüksek pH, reaktif silika ve yeterli nemin bir arada bulunması gerekir. Aşağıda bu üç temel faktörün yanı sıra alkali-silika reaksiyonuna etkiyen su/çimento oranı, reaksiyon hızı gibi etkenlerden bahsedilecektir.

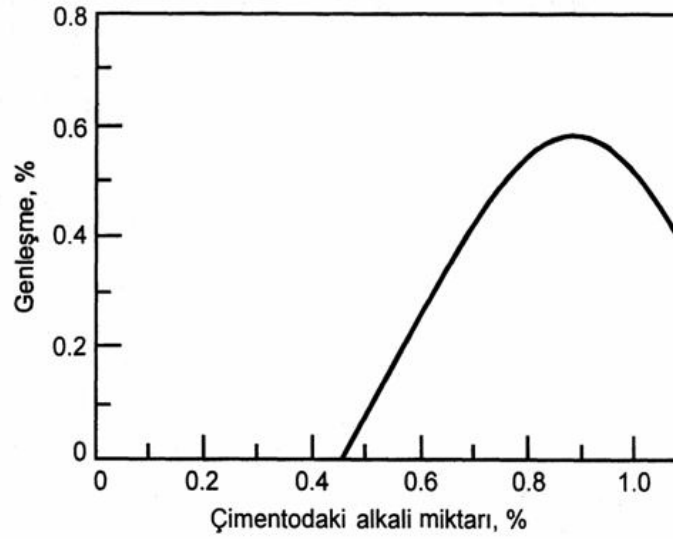
2.2.3.1 Agreganın Reaktifliği

Betonda ASR'nin oluşabilmesi için ortamda hangi bir formda reaktif silisin bulunması gerekmektedir. Agregadaki silisli mineraller kayaç oluşum sürecinde soğuma hızına bağlı olarak amorf veya camı (kristalleşmemiş) yapıdan kripto kristal, mikro kristal ve kristal

yapıya kadar geniş bir aralığa dağılırlar. Kimi durumlarda kuvars kristallerinin oluşumu sırasında içsel gerilmeler oluşur. Bu tür kuvars mineralleri içeren agregalar reaktiftir. (Ramyar vd. 2002, Gün 2007, Nayır 2015). Beton içerisinde alkali-silika reaksiyonundan etkilenen veya etkilenmesi mümkün olan kayaçlar; porfirit, andezit, dasit, riyolit, kumtaşı, şeyl ve çört gibi bozunmuş veya bozulma eğilimli kayaçlar örnek olarak vermek mümkündür. Betonda kullanılacak agreganın reaktifliği kimyasal ve petrografik yöntemler kullanılarak belirlemek mümkündür.

2.2.3.2 Betonun Alkali İçeriği

Alkali mineraller hidrolik bağlayıcıların büyük çoğunluğunun hammaddeleri içinde saf olmayan alkali mineraller bulunmaktadır. Bu çimentonun içindeki sodyum ve potasyum elementlerinin alt bileşenlerinin çoğu zaman bulanacağı anlamını gelmektedir. Alkalilerin çimento içindeki yüzdeleri çok küçük (%1,3) olmasına rağmen çimento ve beton özelliklerini olumsuz yönde etkilerler. Bu zararlı alkalilerin, çimento üretim süreçlerinde bertaraf etmek güç ve ekonomik açıdan imkânsız görülmektedir. Bu yüzden bu alkalilerin beton üretenlerin zararlı etkilerini belirlenmeli ve buna göre önlem alınması gerekmektedir. Şekil 2.4`te görüldüğü gibi çimentonun alkali miktarı yaklaşık %0,5`den başlayarak %0,9`a kadar yükselmesi durumunda genleşme sürekli artmaktadır (Ramyar vd. 2002, Gün 2007, Andinç Çakır 2007, Nayır 2015, Dinçdemir 2015).



Şekil 2.4 Çimentodaki alkali miktarının alkali-silika genleşmesine etkisi (Dinçdemir, 2015).

Betonun alkaliliği arttıkça ASR potansiyeli de artmaktadır. Betonun hidroksil iyonu konsantrasyonu ASR için önemli olduğundan çimentonun alkali içeriği de önem kazanır. Betonda kullanılan çimentonun alkali içeriğinin değişmesi betonun pH derecesini, hidroksil iyon konsantrasyonunu, alkali içeriğini ve reaktif silis/alkali oranını değiştirir. Genelde yalnızca çimento ve çimento özelliği olan malzemelerin alkalilik derecesi göz önüne alınmaktadır. Çünkü alkali miktarına katkıda bulunan diğer etkenlerin yüzdesi oldukça düşüktür (Andinç Çakır 2007, Nayır 2015, Dinçdemir 2015).

2.2.3.3 Nem Etkisi

Ortamda yeterli miktarda nem bulunması durumunda alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşan alkali-silika jeli bünyesine su emerek genleşme basıncı oluşturur ve bunun sonucunda çekme gerilmeleri meydana gelir. Buna bağlı olarak ASR nedeniyle betonda önemli ölçüde hasar meydana gelir. Diğer taraftan kütle betonunda, nem kaybının az olması nedeniyle, bünyede, zararlı oranda genleşmeye neden olabilecek düzeyde nem bulunabilir. Beton kuru bir ortamda bulunsada dahi boşluk suyu içerir ve 10 – 20 cm üst tabakanın dışında beton içinde bağıl nem %80 – 90 mertebesine ulaşabilir. ASR'nin reaktiflik derecesi betonun bağıl nemine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. %70

bağlı nemin altındaki durumlarda genleşme ihmal edilebilir düzeydedir. Ancak bu değer %80'in üzerine çıktığında genleşmede belirgin bir artış görülebilir (Swamy 1994).

Düşük su / çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir metotla beton geçirgenliği azalırsa; rutubetin betona girişi ve beton içerisinde yayılması azalır. Dolayısı ile beton içerisinde alkalilerin yayılması da azaltılmış olur (Stark 1992, Engin 2013).

2.2.3.4 Sıcaklığın Etkisi

Sıcak iklim koşullarındaki yapılar soğuk iklim koşullarındakine göre ASR'ye karşı daha duyarlıdır. Çünkü sıcaklık arttıkça reaksiyonda hızlanmaktadır. Sıcaklık artışıyla birlikte ASR'nin gelişimi de hızlanmaktadır. Sıcaklık artışı agregalarda aşırı ısı 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 (Poole 1992, Swamy 1992, Nayır 2015). Alkali - silika jelinin akışkanlığının artmasıyla birlikte çatlakların içine önemli bir basınç yaratmaksızın girmesinden sonra jelin su içeriğinin maksimum şişme basıncını veren bir seviyeye ulaştığı bir safha vardır. Düşük sıcaklıklarda bu periyot daha uzundur ve bu yüzden bir miktar daha genleşme görülebilir (Poole 1992, Swamy 1992, Nayır 2015).

2.2.3.5 Agreganın Tane Büyüklüğü

Reaktif agreganın tane büyüklüğü de ASR sebebiyle oluşabilecek zararlar üzerinde etkilidir. Büyüklüğü 75 mm ile 1 mm arasında değişen, hatta bazen 5 mm'ye kadar çıkabilen boyutundaki reaktif agrega kullanılması durumunda genleşmenin maksimum olduğu görülmektedir. Gözenekliliği fazla olan agreganın içine boşluk çözeltilisinin girişi daha kolay olduğundan bu agregalarda gözeneklere çözeltili dolduğundan reaksiyonun oluşması için gerekli olan alan artmaktadır (Ramyar vd. 2002, Kurt 2009). Fakat ASR çatlaklarının başlangıç zamanı tane boyutundan bağımsızdır (Gün 2007).

2.2.3.6 Su/Çimento Oranı

Reaktif agrega içeren bir betonda karışım oranlarının değiştirilmesi betonun birçok özelliğini etkiler. Bunların içinde reaktif agrega içeriği, alkali içeriği, hidroksil iyonu konsantrasyonu, betonun dayanım ve dayanıklılığı sayılabilir. Düşük su/çimento oranlarının beton üzerinde olumlu etkileri vardır. Beton daha boşluksuz ve daha geçirimsiz bir yapıya sahip olur. Düşük su/çimento oranlarında betonun dayanımı daha yüksektir. Düşük su/çimento oranının beton üzerinde olumlu etkileri olduğu gibi ASR üzerinde de olumlu etkisi vardır. Düşük su/çimento oranları ve artan çimento dozajları geçirimsizliğin azalmasını sağlar. Böylece dışarıdan beton içine alkali ve su girişi, $(OH)^-$ iyonlarının beton içindeki hareketi kısıtlanarak ASR'nin gelişimi engellenebilir (Nayır 2015, Gümüş 2009, Sert 2007, Baradan 2000).

2.2.4 Alkali – Silika Reaksiyonunu Belirleme Yöntemleri

Belli bir agreganın, ASR sebebiyle genişmeye yol açıp açmadığını belirlemek için genelde mevcut agreganın nitelikleriyle ilgili tecrübelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bununla birlikte, agregadaki reaktif bileşenlerin %0,5 gibi küçük bir oranın dahi zarara yol açabileceği unutulmamalıdır (Tosun 2001). ASR reaksiyonunun belirlenmesi için değişik deney metotları geliştirilmiştir. Bu deney metotları ASR'nin genişme özelliğinden yararlanılarak yapılan deneyler ile kimyasal yolla yapılan deneyler olarak ikiye ayrılabilir (Gün 2007). Bu deneylerden en yaygın kullanılanları aşağıda anlatılmıştır.

2.2.4.1 Harç Çubuk Deneyi (TS 13516, ASTM C 227)

Deney yöntemi, söz konusu agrega ile üretilen harç çubukları genişmelerinin ölçülmesi esasına dayanır. Agregalar standartta belirtilen boyut fraksiyonlarına ayrılır ve gerekirse agregalara boyut küçültme işlemi uygulanır. Bu yöntemlerde standartlarda belirtilen boyuta getirilen agregalar yine standartlarda belirtilen oranlarda (Çizelge 2.2) karıştırılarak 25x25x285 mm boyutunda en az 4 harç çubuğu hazırlanır. Numuneler, %100 bağıl nem ortamında 37,8 °C'de kenarlarında ortamı nemli tutan fitil görevi gören

kurutma kağıdının bulunduğu kapalı kaplarda su üzerinde saklanır ve periyodik olarak boy ölçümleri yapılır.

Çizelge 2.2 Harç çubuğu deneyinde harç çubuklarının dökülmesinde kullanılan agregaların boyutları ve karışım oranları (TS EN 13517).

Elek Boyutu, mm		Agrega Karışımındaki Kütlece Oranı, %
Geçen	Kalan	
4,75	2,36	10
2,36	1,18	25
1,18	0,600	25
0,600	0,300	25
0,300	0,150	10
Toplam		100

ASTM C33'e göre agregada potansiyel reaktivite olmadığı kabul edilen en yüksek genleşme altı ayda %0,10 ya da uzun test süreleri uygun olmadığı takdirde üç ayda %0,05 olmalıdır. Bu yöntemde yapılan ölçümler sonunda genleşme miktarı Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\%L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100 \quad (2.5)$$

Eşitlikte:

%L : Boy değişimi yüzdesi,

ΔL : Örneğin boy değişimi (mm)

L : Örneğin ilk uzunluğu (mm)

Bu deney yöntemi çimento-agrega kombinasyonlarının potansiyel alkali reaktivitesini ölçmede kullanılmaktadır. Reaktivitesi çok yüksek agregaya deneye tabi tutulmadığı sürece anlamlı deney sonuçlarını elde etmek bir yıl veya daha fazla sürer. Dolayısıyla deneyin uzun süreli olması dezavantajdır. Uzun süreli ölçümlerin sonucunda bile zararlı agregaların bazıları genleşme göstermeyebilir. Bazı hallerde de bu deney metodu yavaş genleşen agregaya ile zararsız agregaya arasında ayırım yapmaya elverişli değildir. Çünkü deney yönteminin deney şartları ayırımı yapabilmek için betonu yeterince zorlamamaktadır (Stark 1994).

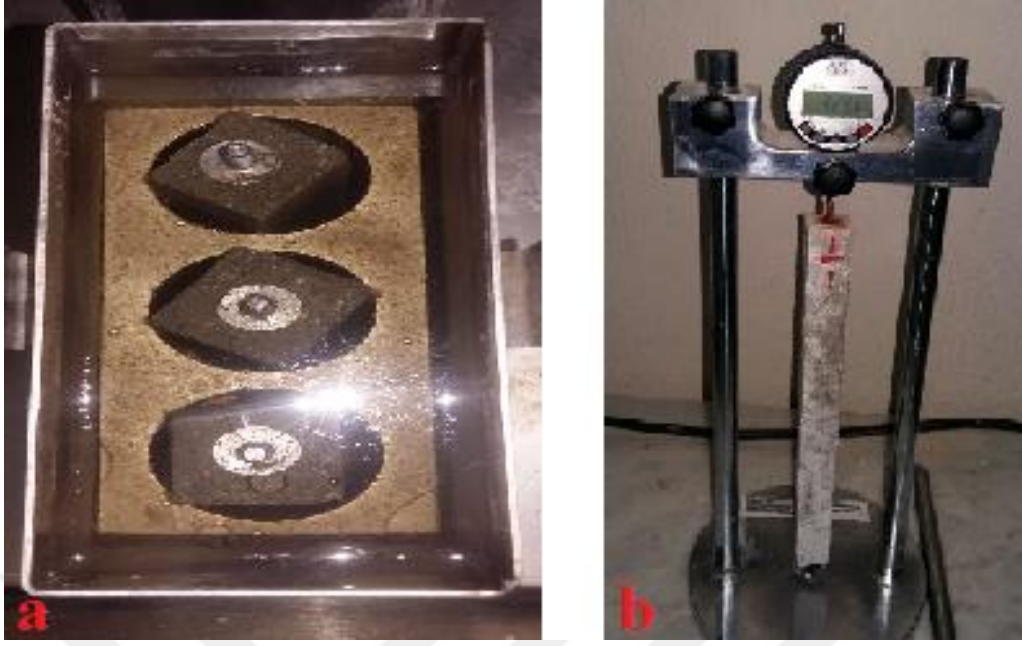
2.2.4.2 Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi (TS 13517, ASTM 1260)

Hızlandırılmış harç çubuğu (HHÇ) yöntemi, yüksek alkalın çözelti içerisinde yüksek sıcaklıkta bekletilen harç örneklerinin boy değişiminin ölçülmesi prensibine dayanır (Farny ve Kosmatka 1997). Bu yöntemde çimento – agrega birleşiminin davranışından daha çok agreganın reaktivitesi ölçülmektedir. Bu yöntemde, Çizelge 2.2’de belirtilen boyutlarda ve miktarlarda agregalar kullanılarak 25x25x285 mm boyutunda harç çubukları hazırlanır. Hazırlanan harç çubukları kalıp içerisinde (Şekil 2.5) %90 nispi nem bulunan kür odasında $23 \pm 1,7$ °C’de 24 saat bekletilir.



Şekil 2.5 ASR deneyi için hazırlanan harç çubukları (Bu tez çalışması).

Bekletilen harç çubukları 24 saat geçtikten sonra kalıptan sökülerek 80 ± 2 °C sabit sıcaklıktaki saf su içerisine konulur (Şekil 2.6 (a)). Saf su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra harç çubuklarının ilk okuması (Şekil 2.6 (b)) yapılarak sıcaklığı 80 ± 2 °C şartlandırılan 1 N NaOH (40 g NaOH + 900 mL saf su) çözeltisinin içerisine konur (TS 13517).



Şekil 2.6 (a) Kür tankı içerisindeki harç çubukları ve **(b)** harç çubuklarının komperatör ile boy ölçümleri (Bu tez çalışması).

Daha sonra harç çubukları çözeltiden çıkarılarak boy ölçümleri alınarak birim boy değişim yüzdeleri eşitlik değişimleri Eşitlik 2.6 kullanılarak hesaplanır.

$$\%L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100 \quad (2.6)$$

Eşitlikte:

- %L : Boy değişimi yüzdesi,
- ΔL : Örneğin boy değişimi (mm)
- L : Örneğin ilk uzunluğu (mm)

Bu sert (1N NaOH ve 80 °C sıcaklık) deney koşulunun diğer harç çubuğu yöntemine göre avantajı; alkali potansiyeli belirlenemeyen agregalar için kullanışlı olmasıdır. Standart, çimentonun alkali miktarı hakkında bir değer vermemektedir. Bunun sebebi ise kür koşullarından dolayı numunelerin boşluk çözeltisi alkalinitesinin artmasıdır. Toplam 16 gün süren deney sonucunda, genleşme yüzdeleri aşağıdaki şekilde değerlendirilir:

1. **Güvenli Bölge:** 16 gün sonundaki genleşmeler, %0,10 değerinin altındaysa agregalar zararsız davranış göstermektedir.
2. **Süpheli Bölge:** 16 gün sonundaki genleşmeler, %0,20 değerinin üstündeyse agregalar potansiyel olarak zararlı genleşme gösterir.
3. **Tehlikeli Bölge:** 16 gün sonundaki genleşmeler, %0,10 ile %0,20 değerinin arasındaysa agregalar, şantiye koşullarında hem zararlı hem de zararsız davranış gösterebilir.

HHÇ yöntemi, deney süresinin oldukça kısa olması ve pratikliği sebebiyle araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Grattan – Bellew 1989, Uygunoğlu 2009, Yıldırım 2013).

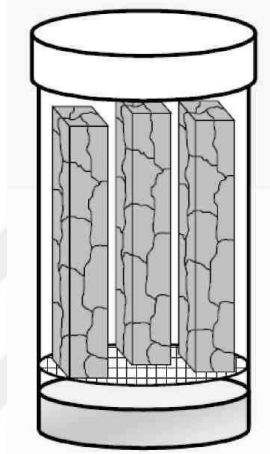
2.2.4.3 Beton Prizma Deneyi (ASTM C 1293)

Beton prizma deneyinde, 75x75x285 mm boyutlarında hazırlanan harç çubuklarının zamana bağlı olarak genleşme miktarının ölçülmesi prensibine dayamaktadır. Bu deneyi diğer harç çubuğu yöntemlerinden ayıran en önemli fark harç çubuklarının hazırlanması sırasında karışım suyuna NaOH eklenerek karışımın alkali miktarının artırılmasıdır.

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 laboratuvara geldiği şekli ile teste tabi tutulur. Bu deney metodu ince agregalar için iyi sonuçlar vermeyebilir.

Hazırlanan karışım 75x75x285 mm ebatlarındaki kalıplara dökülerek, %90 nispi nem bulunan kür odasında $23 \pm 1,7$ °C' de 24 saat bekletilir. Daha sonra harç çubuklarının boyları ölçülerek, alt bölgesinde su haznesi bulunan ve bu haznesi yarıya kadar su doldurulan bir kap içerisine konur. Bu kap içerisindeki su, örnekler ile temas etmeyecek şekilde bağlı nemi %100 olarak şartlandırılmalıdır. Bu şekilde tasarlanmış kap içerisine konulan numuneler $37,8 \pm 1,7$ °C'de sabit ısıdaki etüve yerleştirilir (Şekil 2.7). Daha sonra

numunelerin boy ölçümleri alınır. Numuneleri boy ölçümleri alınmadan 16 saat önce saklama kapları kapalı bir şekilde $23 \pm 1,7$ °C 'de kür odasına konarak soğumaya bırakılmalıdır. Bu işlemin ardından dijital komparatörle harç çubukları üzerindeki ölçümler ilk olarak 7., 28., ve 56. günlerde ve daha sonra 3, 6, 9, 12 aylarda yapılır. ASTM C – 1293 standardına göre genleşmenin bir yıl sonra %0,04'ün altında olması istenir (Gün 2007, Gümüş 2009, Nixon ve Sims 2000)

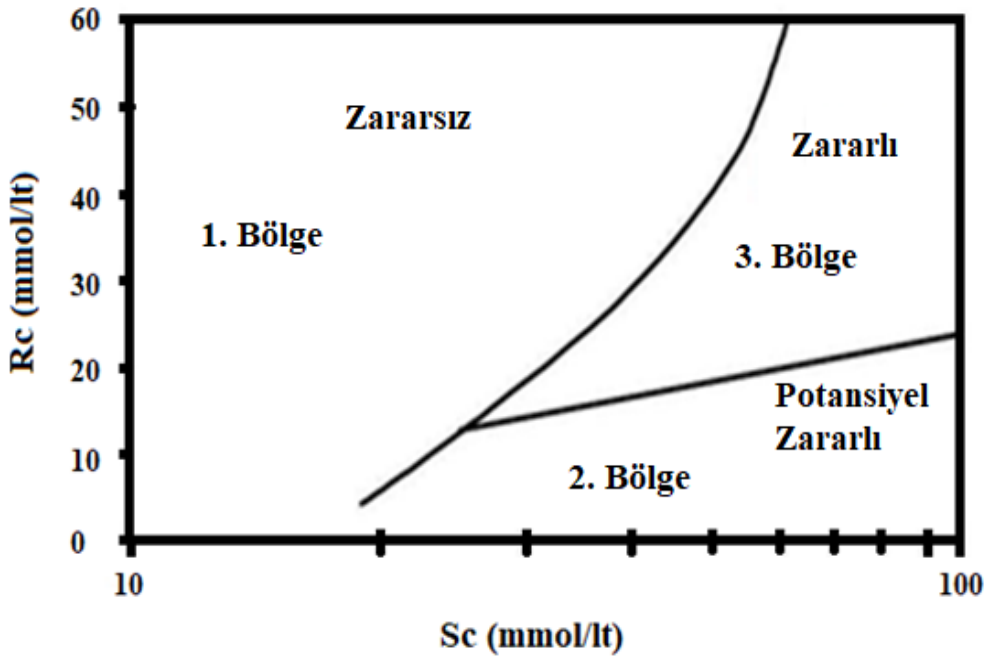


Şekil 2.7 %100 bağıl nemi sağlayacak şekilde tasarlanmış kap.

2.2.4.4 Kimyasal Yöntem (ASTM 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 elekten geçen ve 0,125 mm'lik elek üzerinde kalan malzemeden alınan numuneler 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 numunelerden 25 g'lık 3 adet numune alınarak reaksiyon kabı içerisine konur. Bu kapların her birine 25 ml. 1 N NaOH (40 g NaOH + 900 ml saf su) çözeltisi ilave edilir. İçerisine numune konulmayan dördüncü kaba sadece 25 ml. 1 N NaOH çözeltisi konur bu kap referans kabı olarak kullanılır.

Numune 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 jojeye alınır ve üzeri damıtık su ile 200 ml'ye tamamlanır. Bu çözelti, çözünmüş silisin ve alkali azalmasının tayini için kullanılır (TS 2517, 2010). Deney 3 defa tekrarlanarak elde edilen agreganın alkali azalması (Rc) ve çözünmüş silis (Sc) değerleri kullanılarak Şekil 2.8'de verilen grafiğe işlenerek agreganın grafikteki yeri saptanarak reaktifliği hakkında yorum yapılır. 1. Bölgeye düşen agregalar alkali – agrega reaktivitesi bakımından zararsız sayılırlar. Bu agregaları her türlü çimento (Alkalinitesi %0,60 dan büyük olsa bile) ile birlikte kullanmak mümkündür. 2. Bölgeye düşen agregalar alkali – agrega reaktivitesi bakımından zararlı etkiyi yapan mineralleri içermekle birlikte diğer yöntemler (HÇ, HHÇ vb.) denendikten sonra kullanılmasına karar verilebilir. 3. Bölgeye düşen agregalar alkali – agrega reaktivitesi bakımından zararlı sayılırlar. Bu agregalar alkalinitesi %0,60 dan yüksek olan çimentolarla birlikte kullanılmamalıdır. Şeklinde yorumlanır (TS 2517).



Şekil 2.8 Alkalitedeki azalma-çözünmüş silis ilişkisi.

Bu yöntem hızlı reaktiviteye sahip agregaları belirlemede güvenilirdir, ancak yavaş reaktif agregalarda yanıltıcı sonuç verebilir. Bazı agregalarda yüksek miktarda çözünür silis bulunurken betonda düşük genleşmeler gösterebilir. Bu sebeple deney metodu her zaman güvenilir sonuçlar vermemektedir (Stark vd. 1993, Yıldırım 2013, TS 2517 2010).

2.2.4.5 Mineral Katkıların veya Yüksek Fırın Cürufunun Etkinliklerini Ölçen Standart Deney Metodu (TS 13519)

Bu yöntem, 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 g yüksek alkalin çimento ile belirli gradasyondaki 900 g pireks camı agregası 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 g çimentoya eşit miktarda ($100 \times \text{mineral katkının yoğunluğu} / 3,15$) mineral katkı kullanılır. Kullanılan katkı cüruf ise mutlak hacmi 200 g çimentoya eşit miktarda ($100 \times \text{cürufun yoğunluğu} / 3,15$) kullanılır.

Harç çubuklarının hazırlanması ve ölçümleri HHÇ ve HÇ yöntemlerindeki gibi yapılmaktadır. 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 agregası 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 (Gün 2007).

2.2.4.6 Alkali – Silika Reaksiyonunu Belirlemek Amacıyla Kullanılan Diğer Yöntemler

Alkali agrega reaksiyonunun belirlenmesinde yukarıda anlatılan yöntemlerin dışında yöntemlerde bulunmaktadır. Bu yöntemler:

- Agregaların Petrografik Analizi (ASTM C295),
- Jel Pat Metodu,
- Alman Çözünme Metodu,
- Ozmotik Hücre Metodu,
- Cornell Üniversitesi Leke Metodu ve Jel Floresan Testi,
- Los Alamos Milli Laboratuvarı Leke Metodu,
- Boyama Metotları,
- Kireçli Harçlardaki Alkali-Silis Tepkimelerine Bağlı Gerilimi Ölçme Metodu,
- Otoklav Metotları.

3. MATERYAL ve METOT

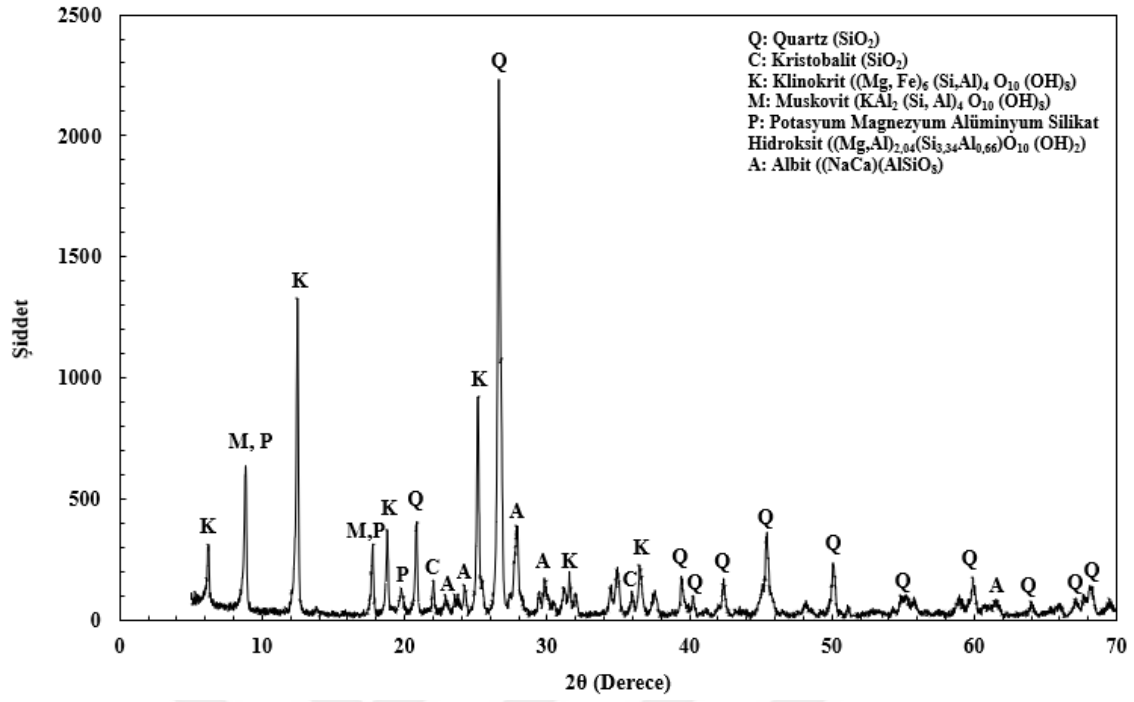
3.1 Materyal

3.1.1 Agregat

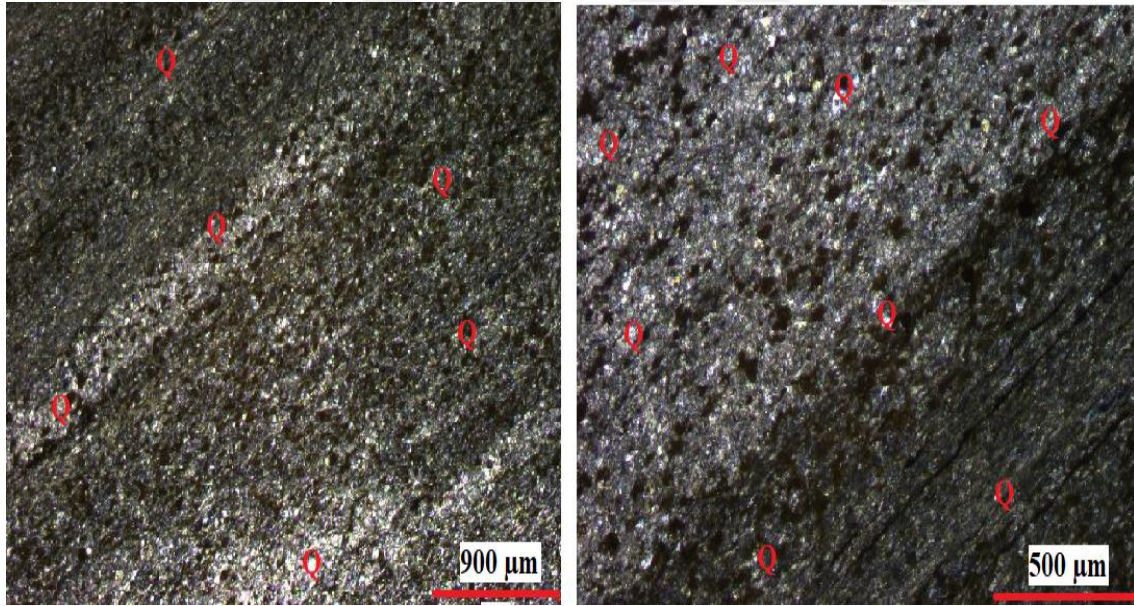
Deneylerde kullanılan ince agregat Sultandağı ilçesi (Afyonkarahisar) Doğancık köyü deresinden temin edilmiştir. Temin edilen agregat numunelerinin alkali-silika reaksiyonuna neden olan mineralleri içerip içermediğini belirlemek amacıyla numuneye minerolojik analiz yapılmıştır. Mineralojik analiz Shimadzu marka XRD-6000 model x-ışını cihazıyla CuK α radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, numuneye ait x-ışını spektrumu Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere agreganın kuvars ve kristobalit gibi ASR’ye neden olabilecek aktif silikat mineralleri içerdiği görülmektedir. Bunun yanında muskovit, albit gibi mineraller de yapıda yer almaktadır. Numunenin kimyasal (XRF) analizi de bu minerallerin varlığını desteklemektedir (Çizelge 3.1). Agreganın ince kesiti numunesinin polarizan mikroskop (Nikon marka ECLIPSE 2V100 POL) altında çekilen polarizan mikroskop görüntülerine dayalı petrografik analiz sonuçları da bu verileri desteklemektedir (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1 Agreganın kimyasal analizi.

Bileşim	Miktar (%)	Bileşim	Miktar (%)
SiO ₂	56,5	SO ₃	0,0744
Al ₂ O ₃	16,9	SrO	0,0136
Fe ₂ O ₃	6,78	TiO ₂	0,653
CaO	5,18	Cr ₂ O ₃	0,0317
MgO	2,96	ZrO ₂	0,0189
P ₂ O ₅	0,114	MnO	0,103
K ₂ O	3,01	Rb ₂ O	0,0128
Na ₂ O	1,138	ZnO	0,011
K.K.			6,21



Şekil 3.1 Agreganın mineralojik (XRD) analizi.



Şekil 3. 2 Agreganın polarizasyon mikroskop görüntüsü (Q: Kuvars) (Çift Nikol).

3.1.2 Çimento

Harç hazırlamada Afyonkarahisar’da faaliyet gösteren ÇİMSA firmasından temin edilen CEM-I 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento deneylerde kullanılmadan önce standartta belirtildiği gibi 0,850 mm elekten elenmiştir. Ayrıca, kullanılan çimentonun alkali içeriğinin belirlenmesi için XRF analizi yapılmıştır (Çizelge 3.2).

Reaksiyonun oluşabilmesi için çimento alkali içeriğinin “eşdeğer Na₂O” değeri olarak kütlece %0,6 değerini aşması gerekir. Çimentonun içerisindeki toplam alkali miktarını belirlemek için Eşitlik 3.1 kullanılmıştır. Hesaplama sonucunda kullanılan çimentonun eşdeğer Na₂O içeriğinin %1,24 olduğu ve dolayısıyla ARS bakımından riskli bir çimento olduğu belirlenmiştir.

$$(Na_2O)_{Eşdeğer} = \%Na_2O + 0,658 \times \%K_2O \quad (3.1)$$

Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan CEM-I 42,5 portland çimentosunun XRF yöntemiyle elde edilen kimyasal analizi.

Çimento			
Bileşim	Miktar (%)	Bileşim	Miktar (%)
SiO ₂	15,7150	SO ₃	4,3123
Al ₂ O ₃	3,9700	SrO	0,0432
Fe ₂ O ₃	2,8158	TiO ₂	0,2756
CaO	65,1398	Cr ₂ O ₃	0,0513
MgO	1,6723	ZrO ₂	0,0122
P ₂ O ₅	0,1056	MnO	0,0488
K ₂ O	1,1053	Rb ₂ O	0,0060
Na ₂ O	0,5155	ZnO	0,0056
K.K.			4,1207

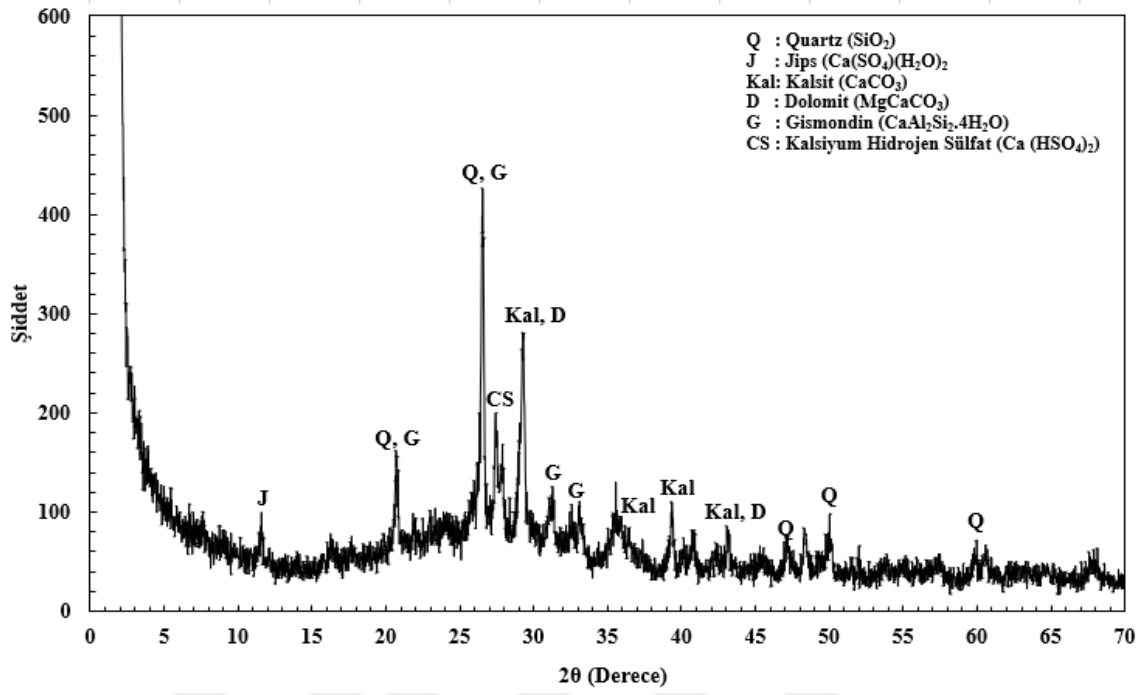
3.1.3 Mineral Katkıları

3.1.3.1 Dip Külü

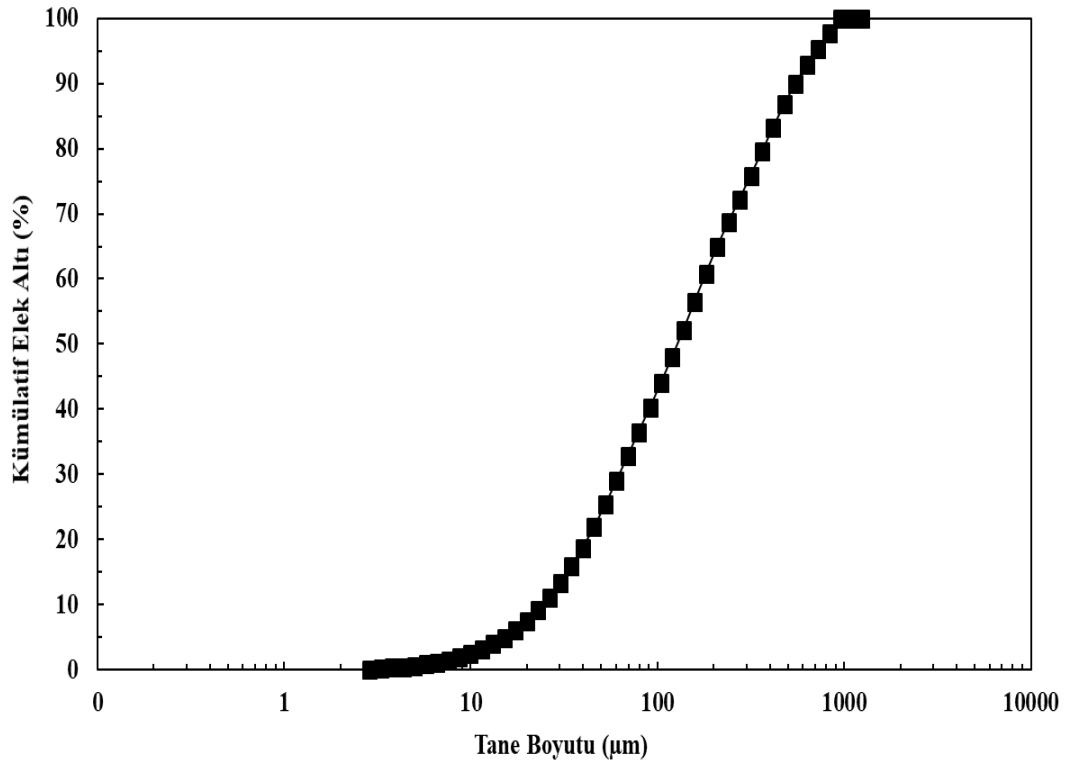
Deneylerde kullanılan dip külü numunesi, Manisa ili soma ilçesinde bulunan termik santralinin kül depolama tesisinden temin edilmiştir. Buradan temin edilen dip külünün içeriğini belirlemek için XRF cihazıyla kimyasal analizi (Çizelge 3.3) ve XRD yöntemiyle mineralojik analizi yapılmıştır (Şekil 3.3). Dip külünün öğütme öncesi boyut dağılımını belirlemek için lazer yöntemiyle tane boyut dağılımı analizi yapılmıştır (Şekil 3.4). Yapılan tane boyut analizi sonucunda dip külünün tamamının -1 mm boyutunda olduğu ve ortalama tane boyutunun (d_{50}) 128,34 μm olduğu saptanmıştır.

Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan dip külünün kimyasal analizi.

Dip Külü			
Bileşim	Miktar (%)	Bileşim	Miktar (%)
SiO ₂	33,9000	SO ₃	2,7300
Al ₂ O ₃	16,6000	SrO	0,0409
Fe ₂ O ₃	4,3600	TiO ₂	0,6420
CaO	26,2000	ZrO ₂	0,0263
MgO	1,1170	MnO	0,0564
P ₂ O ₅	0,1990	Rb ₂ O	0,0123
K ₂ O	1,1420	ZnO	0,0142
Na ₂ O	0,2660	As ₂ O ₃	0,0202
K.K.			12,3000



Şekil 3.3 Dip külünün mineralojik (XRD) analizi.



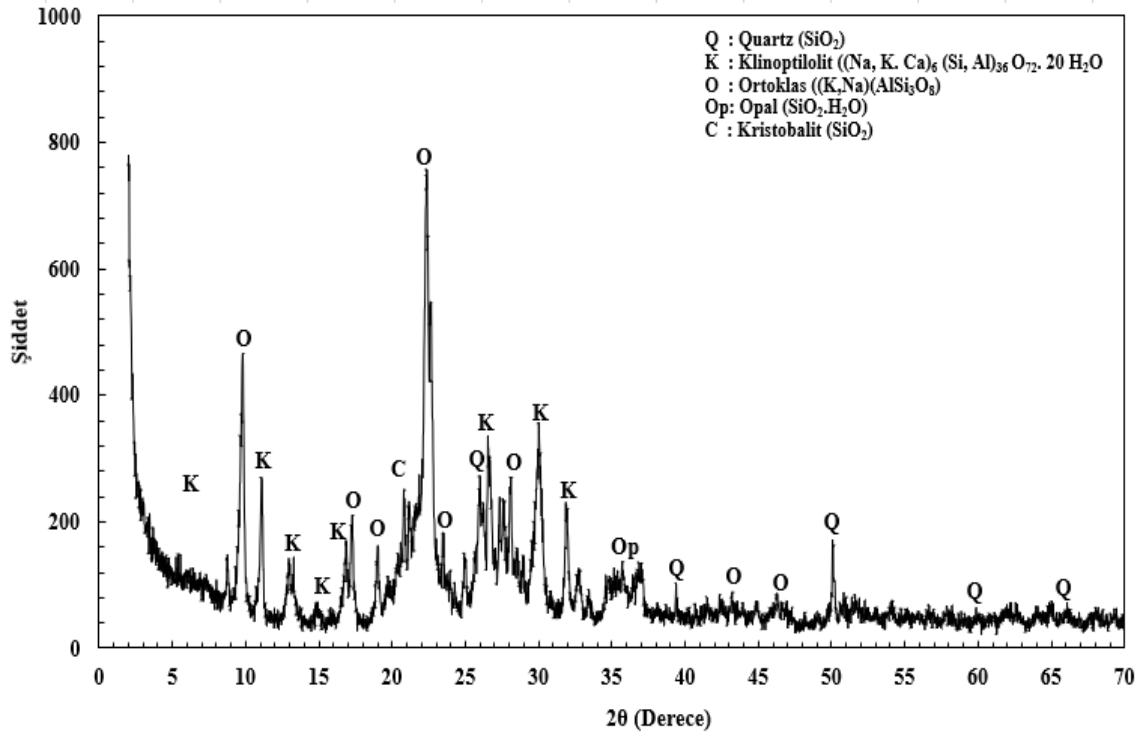
Şekil 3.4 Dip külünün alındığı haliyle (öğütme öncesi) tane boyut dağılımı.

3.1.3.2 Zeolit

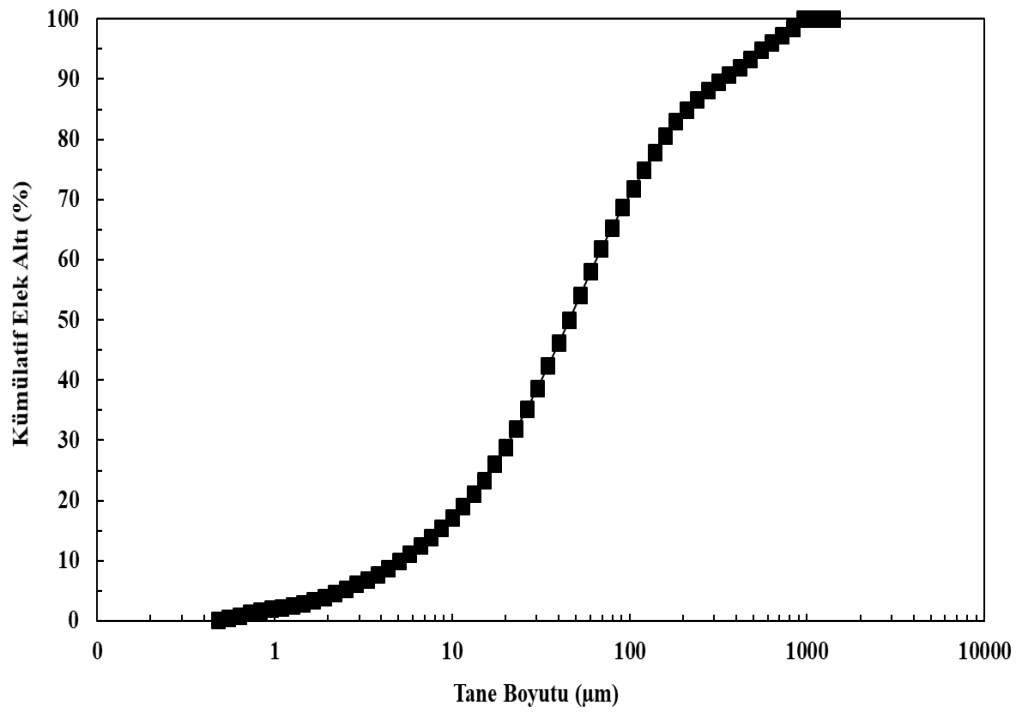
Deneylerde kullanılacak zeolit numunesi Manisa ili Gördes ilçesinde faaliyet gösteren Gördes Zeolit A.Ş. Firmasından temin edilmiştir. Temin edilen zeolitın kimyasal ve mineralojik içeriğini belirlemek için XRF (Çizelge 3.4) ve XRD (Şekil 3.5) analizleri yapılmıştır. Ayrıca zeolitın temin edildiği haliyle tane boyut analizi yapılmıştır (Şekil 3.6). Yapılan analiz sonucunda zeolit numunesinin tamamının -1 mm boyutunda olduğu ve d_{50} boyutunun 45,55 μm olduğu saptanmıştır.,

Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan zeolitın kimyasal analizi.

Zeolit			
Bileşim	Miktar (%)	Bileşim	Miktar (%)
SiO ₂	68,6000	SO ₃	0,0533
Al ₂ O ₃	12,8000	SrO	0,0388
Fe ₂ O ₃	1,1600	TiO ₂	0,1090
CaO	3,1500	ZrO ₂	0,0156
MgO	0,9930	MnO	0,0455
P ₂ O ₅	0,0213	Rb ₂ O	0,0237
K ₂ O	4,8000	ZnO	0,0073
Na ₂ O	0,3120	As ₂ O ₃	0,0079
K.K.			7,5200



Şekil 3.5 Zeolit numunesinin mineralojik (XRD) analizi.



Şekil 3.6 Zeolitin firmadan temin edildiği haliyle tane boyut dağılımı.

3.2 Metot

3.2.1 Kimyasal Analiz (XRF)

Tez kapsamındaki tüm kimyasal analizler Rigaku marka ZSX Primus 2 model XRF cihazında yapılmıştır (Şekil 3.7). Numune havanlı öğütücüde -100 µm boyutuna getirildikten sonra yaklaşık 10 g alınarak tablet haline getirilip cihaza yerleştirilmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Numunelerdeki uçucu madde miktarını belirlemek amacıyla ateş zayılatı deneyi yapılmıştır. Ateş zayılatı, kül fırınında 1100 °C’de yakılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerinin ateş zayılatı Eşitlik 3.2’de hesaplanmıştır.

$$\text{Ateş Zayılatı (\%)} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

m_1 : Deney numunesi parçasının kütlesi (g)

m_2 : Yakılmış deney numunesi parçasının kütlesi (g)



Şekil 3.7 Çalışmalarda kimyasal analizler için kullanılan XRF cihazı.

3.2.2 Minerolojik Analiz (XRD)

Numunelerin mineralojik analizleri Bruker Marka D 8 Advance model XRD cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.8). Analiz öncesi numune halkalı değirmende -125 µm boyutuna indirilmiştir. Analizlerde CuKα radyasyonu ve 2 derece/dk tarama hızı kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Çalışmalarda mineralojik analizler için kullanılan XRD cihazı.

3.2.3 Petrografik Analiz

Deneylerde kullanılan agreganın petrografik yapısını belirlemek ve agreganın içerisindeki mineralleri daha iyi tanımlayabilmek için TS EN 14407 “Petrografik inceleme” standardına uygun olarak petrografik analiz yapılmıştır. Analiz öncesi 48x58 mm boyutunda ince kesit numunesi hazırlandı ve Nikon marka ECLIPSE 2V100 POL model polarizan mikroskopta incelendi (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Çalışmalarda petrografik analizler için kullanılan polarizan mikroskop.

3.2.4 Öğütme Deneyleri

Puzolinik malzeme olarak kullanılan mineral katkılarının tane boyutunun ASR'ye etkisini belirlemek amacıyla her iki mineral katkı (dip külü ve zeolit) öğütme işlemine tabii tutuldular. Öğütme işleminde değirmen kritik hızı (%75), bilya Şarjı (%25) ve malzeme şarjı (%25) sabit tutularak 4 farklı öğütme süresinde (30, 60, 180 ve 240 dk) öğütme işlemi gerçekleştirildi. Öğütme işlemi çelik hazneli değirmende üç farklı boyuttaki çelik bilyelerle yapılmıştır (Şekil 3.10). Deneysel çalışmalarda kullanılan geleneksel bilyalı değirmenin makine, ortam ve malzeme özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.10 Öğütme deneylerinde kullanılan değirmen ve çelik hazne.

Çizelge 3.5 Öğütmede kullanılan bilyalı değirmenin, ortamın ve mineral katkıların özellikleri.

Özellik		Değer		
Değirmen	Hazne hacmi (cm ³)	5000		
	Kritik hız (%)	75		
	Öğütme süreleri (dk.)	30-60-180-240		
Ortam	Bilya boyutları (mm)	10-14-16		
	Bilya yoğunluğu (g/cm ³)	7,6		
	Bilya şarjı değirmen hacmine göre (%)	25		
Mineral katkı		Zeolit	Dip Külü	
	Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,270	2,356	
	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	0,88	0,76	
	Şarj miktarı değirmen hacmine göre (%)	25	25	
	Şarj miktarı (g)	1102	955	
		d ₁₀ (µm)	5,45	24,38
	Boyut	d ₅₀ (µm)	45,55	128,34
		d ₉₀ (µm)	334,29	550,14

3.2.5 Tane Boyut Analizi

Mineral katkıların ham haldeki ve öğütme işlemleri sonucunda elde edilen öğütülmüş malzemelerin tane boyutu, Malvern Mastersizer 2000 marka lazer tane boyut ölçüm cihazında belirlenmiştir. Cihazın ölçüm aralığı 0,02 – 2000 µm’dir. Ölçüme başlanmadan ham (temin edildiği gibi) ve öğütülmüş ürünlerden homojen numune alınmıştır. Numune alınırken Jones Riffle numune bölücü kullanılmıştır. Alınan numune içerisinde saf su bulunan 250 mL’lik behere konarak manyetik karıştırıcıda 5 dk karıştırılarak homojenleştirme yapılmıştır. Sonra mikro pipet ile çekilen süspansiyon cihazın dispersiyon ünitesine ilave edilerek burada (Şekil 3.11) 1000 d/d’da 1 dk karıştırıldıktan sonra cihaz ölçümü gerçekleştirmiştir. Ölçümler yapılırken cihaz kendisi aynı numune üzerinde 3 ölçüm yapıp bunların ortalamasını verecek şekilde ayarlama yapılmıştır.



Şekil 3.11 Numunelerin tane boyut analizi için hazırlanması (solda) ve Malvern Mastersizer 2000 cihazında tane boyut ölçümü (sağda).

3.2.6 Harç Çubuklarının Hazırlanması

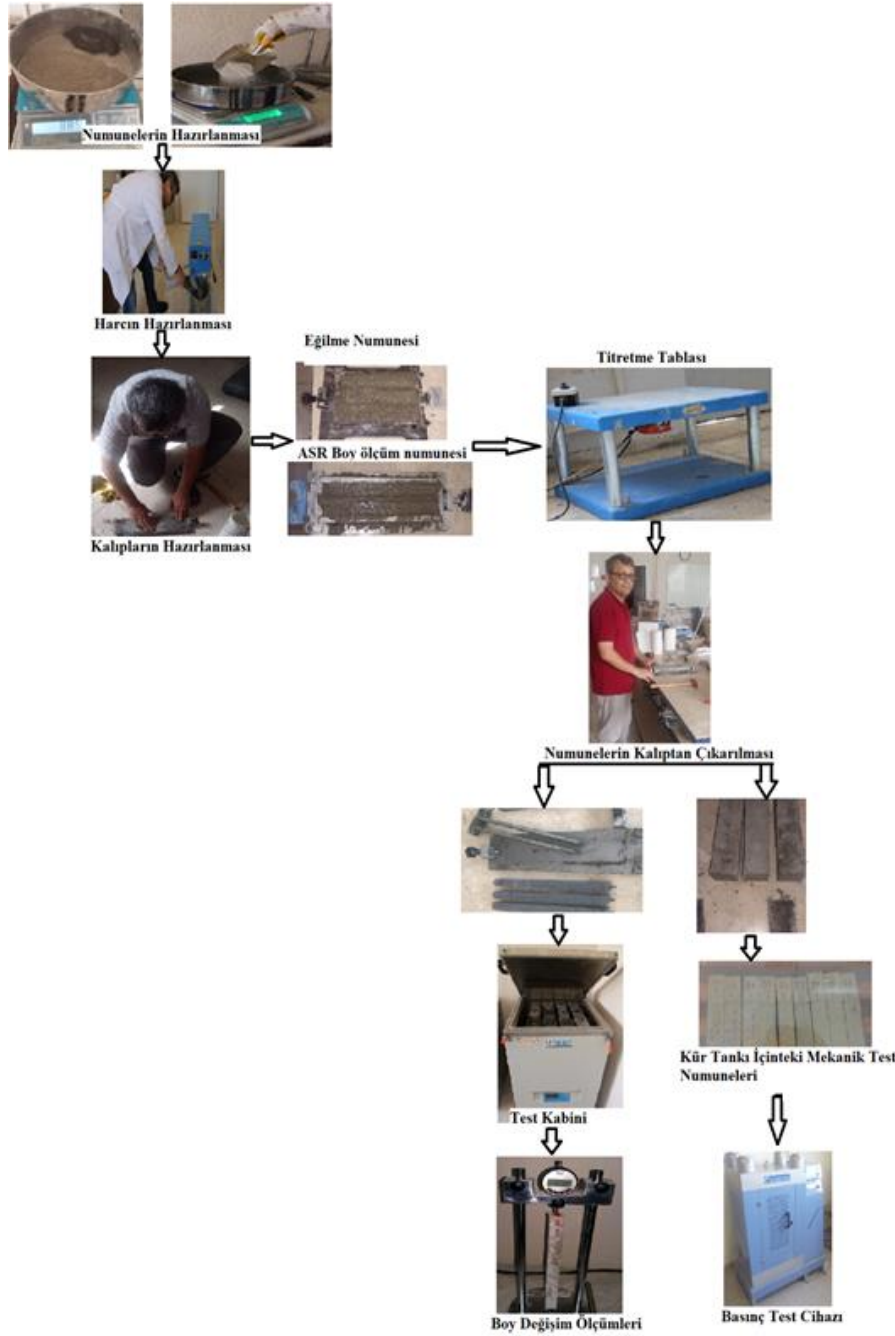
TS 13517 standardına uygun olarak hazırlanan bütün harç karışımlarında “su/bağlayıcı” oranı 0,47 ve “agrega/bağlayıcı” oranı ise 2,50 olarak ayarlanmıştır (*Not: çimento yerine ikame edilen puzolinik katkılar da bağlayıcı olarak kabul edilmiştir*). Her bir mineral katkının farklı sürelerde öğütülmesi ile elde edilen puzolinik katkıların her biri ile farklı harçlar hazırlanmıştır. Harç içerisine çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında ham ve farklı sürelerde öğütülmüş dip külü veya zeolit ikame edilmiştir. Toplamda biri kontrol numunesi olmak üzere toplam 31 adet karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan harçların kompozisyonları aşağıda Çizelge 3.6’da verilmiştir. Çizelgede öğütme süresi 0 (sıfır) dakika olarak verilmiş mineral katkıları, ham (veya orijinal) haldeki katkıları işaret etmektedir. (*Not: %20 ve %30 zeolit katkılı harçlar hazırlanırken ortamdaki serbest suyun, çok gözenekli kristal yapıya sahip zeolit tarafından hızla emilmesi sebebiyle homojen karıştırma işleminde ciddi bir zorluk yaşanmış 2-3 kez yeniden harç hazırlanmak zorunda kalınmıştır.*)

Çizelge 3.6 Beton harcında kullanılan malzemeler ve miktarları.

Öğütme Süresi (dk)	Numune kodu	Çimento Miktarı (g)	Su Miktarı (g)	Dip külü Miktarı (g)	Zeolit Miktarı (g)	Agrega Miktarı (g)
-	0	880,0	413,6	0	0	2200,0
0	1	792,0	413,6	88,0	0	2200,0
	2	704,0	413,6	176,0	0	2200,0
	3	616,0	413,6	264,0	0	2200,0
30	4	792,0	413,6	88,0	0	2200,0
	5	704,0	413,6	176,0	0	2200,0
	6	616,0	413,6	264,0	0	2200,0
60	7	792,0	413,6	88,0	0	2200,0
	8	704,0	413,6	176,0	0	2200,0
	9	616,0	413,6	264,0	0	2200,0
180	10	792,0	413,6	88,0	0	2200,0
	11	704,0	413,6	176,0	0	2200,0
	12	616,0	413,6	264,0	0	2200,0
240	13	792,0	413,6	88,0	0	2200,0
	14	704,0	413,6	176,0	0	2200,0
	15	616,0	413,6	264,0	0	2200,0
Öğütme Süresi (dk)	Numune kodu	Çimento Miktarı (g)	Su Miktarı (g)	Dip külü Miktarı (g)	Zeolit Miktarı (g)	Agrega Miktarı (g)
0	16	792,0	413,6	0	88,0	2200,0
	17	704,0	413,6	0	176,0	2200,0
	18	616,0	413,6	0	264,0	2200,0
30	19	792,0	413,6	0	88,0	2200,0
	20	704,0	413,6	0	176,0	2200,0
	21	616,0	413,6	0	264,0	2200,0
60	22	792,0	413,6	0	88,0	2200,0
	23	704,0	413,6	0	176,0	2200,0
	24	616,0	413,6	0	264,0	2200,0
180	25	792,0	413,6	0	88,0	2200,0
	26	704,0	413,6	0	176,0	2200,0
	27	616,0	413,6	0	264,0	2200,0
240	28	792,0	413,6	0	88,0	2200,0
	29	704,0	413,6	0	176,0	2200,0
	30	616,0	413,6	0	264,0	2200,0

Çizelge 3.6 verilen her bir karışımı hazırlamak için 7 litrelik mikser kullanıldı. Karışım hazırlanırken, ilk önce çimento ve agregaları en az 1 dk süreyle karıştırıldı daha sonra su, dip külü/zeolit eklenerek karıştırma işlemi 5 dk boyunca devam ettirildi. Hazırlanan harçlar 25x25x285 mm boyutundaki harç kalıplarına boşaltıldı. Harç, kalıplara dökülmeden önce kalıpların içerisindeki gözlere pimler monte edilerek kalıbın tamamına harçlar kalıplardan rahat çıksın diye vazelin sürüldü. Hazırlanan harç karışımları çelik

kalıplara döküldükten sonra yayılma tablasında harçın içinde boşlukların kalmaması için, harç içinden kabarcık çıkmayınca kadar vibrasyon işlemi uygulandı. Harç çubukları 24 saat sonra kalıp içerisinden çıkartılarak ASR deneyi için hazır hale getirilmiş oldu. Harç çubuklarının hazırlanma aşamaları Şekil 3.12’de akım şeması olarak da verilmiştir.



Şekil 3.12 Harç çubuklarını hazırlama aşamaları.

3.2.7 TSE 13517'ye Göre Gerçekleştirilen Alkali – Silika Reaktivite (ASR) Tayini Deneyleri

Harç çubuklarına uygulanan ASR deneyleri TS 13517'e göre yapılmıştır. Kalıptan çıkartılan harç çubukları 80 ± 2 °C sabit sıcaklıkta saf su içeren test kabine konuldu (Şekil 3.13). Burada 24 saat bekletildikten sonra çıkartılan harç çubuklarının ilk boy okuması dijital komperatör ile yapıldıktan sonra tekrar sıcaklığı 80 ± 2 °C'ye ayarlanmış 1 N NaOH (40 g NaOH + 900 mL saf su) çözeltisinin içerisine konuldu. Harç çubuklarının 1N NaOH çözeltisine konulduğu tarih kayıt edilerek konulduktan sonra 1., 4., 7., 11. ve 14. günlerdeki boy değişimleri ölçülerek kaydedildi. Yapılan tüm ölçümler sonucunda Eşitlik 3.3 kullanılarak harç çubuklarının boyca % genleşme miktarları hesaplandı.

$$\%L = \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitlikte:

- %L : Boy değişimi yüzdesi,
 ΔL : Örneğin boy değişimi (mm)
L : Örneğin ilk uzunluğu (mm)



Şekil 3.13 Alkali silika deneylerinin yapıldığı test kabini.

3.2.8 Basınç Deneyleri

ASR oluşumunu engellemek amacıyla harca ikame edilen dip külü ve zeolitin basınç dayanımına etkisini araştırmak için tek eksenli basınç dayanımı testi yapıldı. Harçların basınç dayanımı testinde Testcenter marka hidrolik pres kullanıldı (Şekil 3.14). ASR testi ile aynı karışım kompozisyonuna sahip 40x40x160 mm ebatında hazırlanmış harç çubukları kür havuzunda oda sıcaklığında 28 gün bekletildikten sonra (sonuçları burada verilmeyen) eğilme testine tabi tutuldu ve kırılan parçalardan 40x40x40 mm ebatında numuneler kesilerek basınç dayanımları ölçüldü. Her bir kompozisyonun basınç dayanımı ölçümü için 3 numune kullanılarak ortalaması alındı.



Şekil 3.14 Basınç dayanımı testinde kullanılan hidrolik pres.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

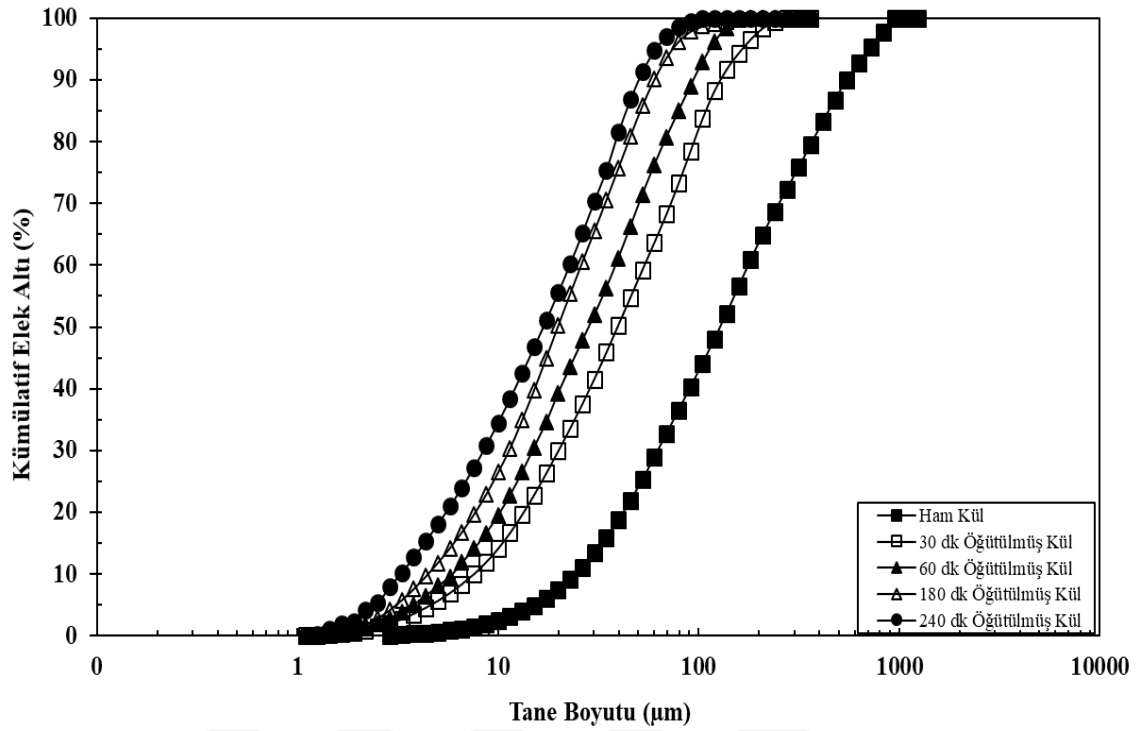
4.1 Öğütme Deneyleri

4.1.1 Öğütme Süresinin Dip Külün Tane Boyutuna Etkisi

Soma termik santrali dip külünün öğütme deneylerinde değirmenin kritik hızı (%75), malzeme şarjı (%25) ve bilya şarjı (%25) sabit tutularak farklı sürelerde öğütme işlemi yapılmıştır. Yapılan öğütme işlemi sonucunda dip külünün tane boyutunun öğütme süresi artıkça azaldığı saptanmıştır (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1). Ham halde ortalama tane boyutu (d_{50}) 128,34 μm iken 240 dakikalık öğütme işleminden sonra 16,79 μm 'ye düşmektedir. Bu sonuçlara göre dip külünün bilyalı değirmende öğütme işlemi ile ortalama tane boyutunun çok ciddi şekilde düşürülebildiği görülmektedir.

Çizelge 4.1 Ham ve öğütme işlemleri sonrası elde edilen dip külü numunelerinin d_{10} , d_{50} ve d_{90} boyutları.

Öğütme Süresi (dk)	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
0	24,38	128,34	550,14
30	7,60	39,41	128,23
60	5,82	28,32	94,31
180	4,48	19,82	70,00
240	3,27	16,79	50,19



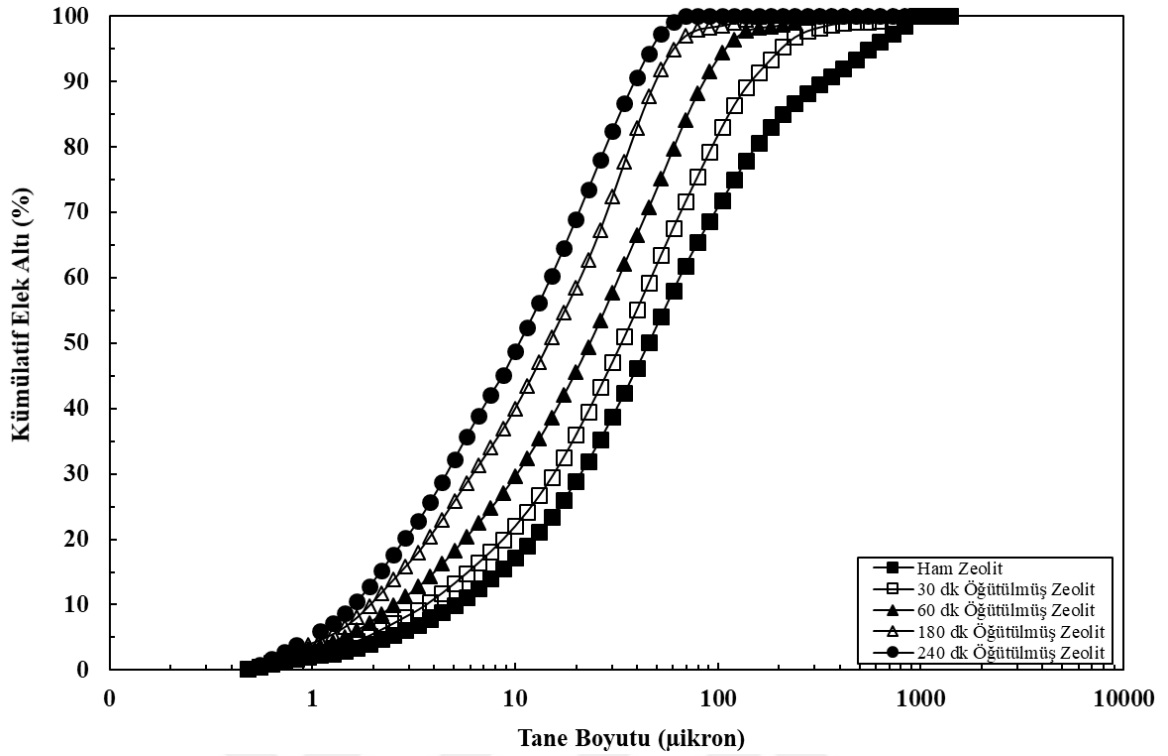
Şekil 4.1 Dip külünün öğütme süresine bağlı tane boyut dağılım eğrileri.

4.1.2 Öğütme Süresinin Zeolitin Tane Boyutuna Etkisi

Gördes zeolitinin öğütme deneylerinde değirmenin kritik hızı (%75), malzeme şarjı (%25) ve bilya şarjı (%25) sabit tutularak farklı sürelerde öğütme işlemi yapılmıştır. Yapılan öğütme işlemi sonucunda zeolitin tane boyutunun öğütme süresi arttıkça azaldığı saptanmıştır (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2). Ham halde ortalama tane boyutu (d_{50}) 45,55 μm iken 240 dakikalık öğütme işleminden sonra 10,49 μm 'ye düşmektedir.

Çizelge 4.2 Ham ve öğütme işlemleri sonrası elde edilen zeolit numunelerinin d_{10} , d_{50} ve d_{90} boyutları.

Öğütme Süresi (dk)	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
0	5,45	45,55	334,29
30	3,62	33,46	145,27
60	2,54	23,37	85,15
180	1,93	14,63	49,25
240	1,60	10,49	38,86



Şekil 4.2 Zeolit numunesinin öğütme süresine bağlı tane boyut dağılım eğrileri.

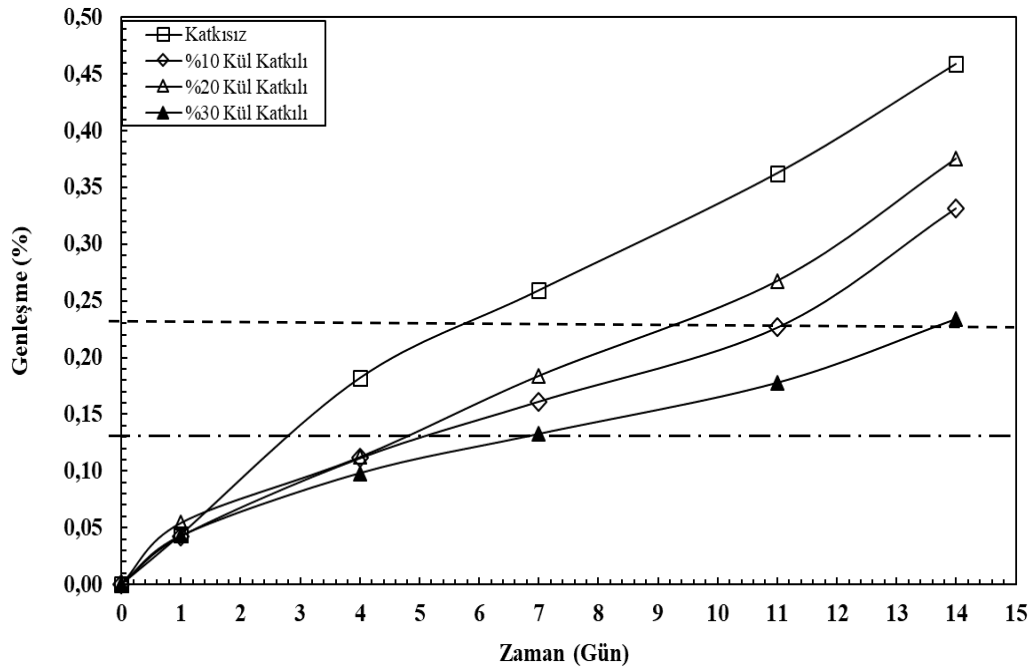
4.2 Alkali – Silika Reaktivite (ASR) Tayini Deney Sonuçları

4.2.1 Dip Külü Tane Boyutunun ve Miktarının ASR'ye Etkisi

0 dk öğütme (ham halde): Hiçbir işlem yapılmadan ham halde ortalama tane boyutu (d_{50}) 128,34 μm olan dip külünün katkı miktarının harç çubuklarının alkali silika reaktivitesine (ASR) etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda dip külünün kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşmeyi belirli oranda azaltmaktadır. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 dip külü ikamesi ile bu değer %27,70 azalarak %0,332'ye düştüğü ve en düşük genleşmenin (%0,234) en yüksek katkı oranında (%30) gerçekleştiği belirlenmiştir. Ancak tüm katkı oranları için elde edilen 14 günlük genleşme değerlerinin tamamının Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre genleşme açısından tehlikeli bölgede yer aldığı yani %0,20'lik genleşme değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3 ASTM C1260 standardına göre ASR sınır değerleri (Uygunoğlu, 2009, Korkmaz, 2010).

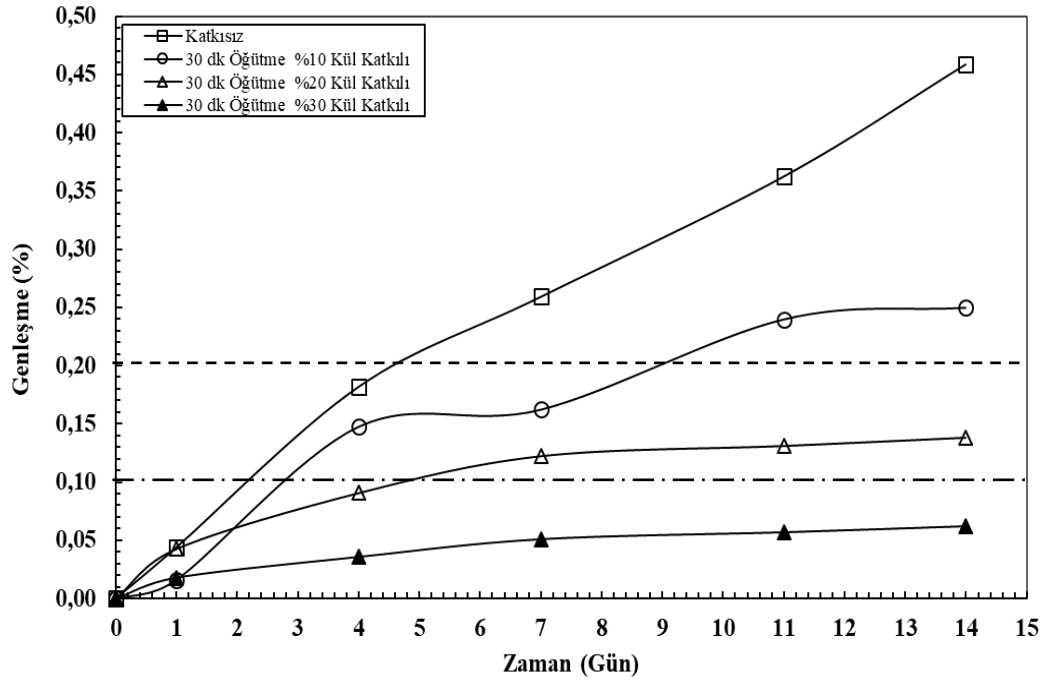
Boy değişimi, %	<0,1	0,1 – 0,2	>0,2
14 gün sonra ölçülen boy değişimi oranı	Güvenli , ASR problemi yoktur.	Şüpheli , ASR riski muhtemeldir.	Tehlikeli , ASR açısından tehlikelidir.



Şekil 4.3 Farklı oranlarda ham dip külü ikamesinin ASR'ye etkisi.

30 dk Öğütme: 30 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $39,41 \mu\text{m}$ olarak belirlenen dip külünün katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda dip külünün kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşmeyi azaltmaktadır. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 dip külü ikamesi ile bu değer %0,209'a düştüğü ve en düşük genleşmenin (%0,138) en yüksek katkı oranında (%30) gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen genleşme oranları, Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre, %10 katkıda genleşme açısından tehlikeli bölgede yer aldığı yani %0,20'lik genleşme

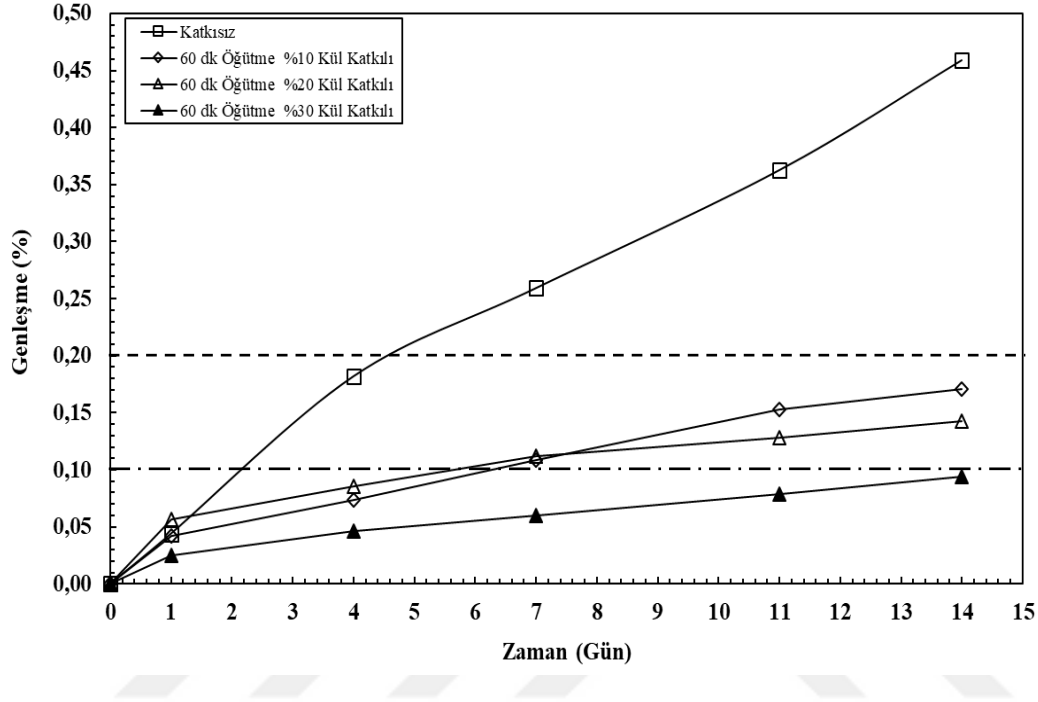
değerinden daha yüksek olduğu, %20 ikamede ise şüpheli bölgede yer aldığı görülmektedir. Ancak %30 ikame ile harçlardaki boyca genleşme oranının güvenli bölgede yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 4.4 30 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

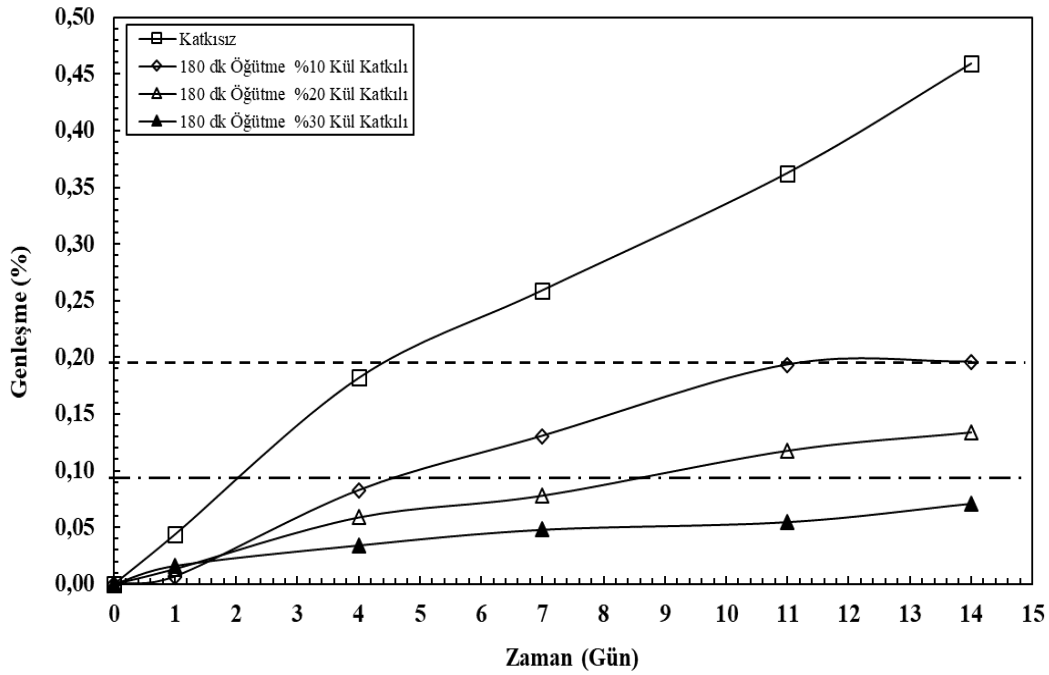
60 dk Öğütme: 60 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $28,32 \mu m$ olarak belirlenen dip külünün katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda dip külünün kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşmeyi azaltmaktadır. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 dip külü ikamesi ile bu değerin %62,71 azalarak %0,171'e düştüğü ve en düşük genleşmenin (%0,094) en yüksek katkı oranında (%30) gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen genleşme oranları, Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre, %10 ve %20 katkıda genleşme açısından şüpheli bölgede yer aldığı yani %0,10 - 0,20 arasında genleşme değerleri arasında olduğu, ancak %30 ikame ile harçlardaki boyca

genleşme oranının güvenli bölgede yer aldığı yani %0,10 genleşme değerinin altında olduğu saptanmıştır.



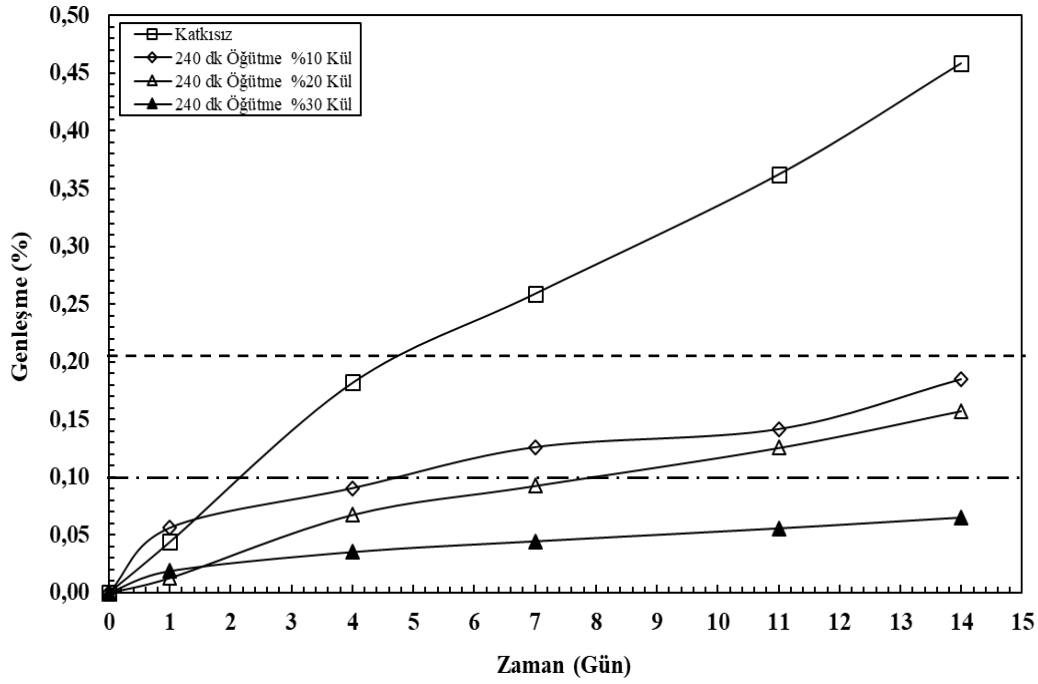
Şekil 4.5 60 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

180 dk Öğütme: 180 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $19,82 \mu\text{m}$ olarak belirlenen dip külünün katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda dip külünün kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşmeyi azaltmaktadır. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 dip külü ikamesi ile bu değerin %57,29 azalarak %0,196'ya düştüğü ve en düşük genleşmenin (%0,071) en yüksek katkı oranında (%30) gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerleri Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre, %10 ve %20 katkıda genleşme açısından şüpheli bölgede yer aldığı yani %0,10 - 0,20 arasında genleşme değerleri arasında olduğu, ancak %30 ikame ile harçlardaki boyca genleşme oranının güvenli bölgede yer aldığı yani %0,10 genleşme değerinin altında olduğu saptanmıştır.



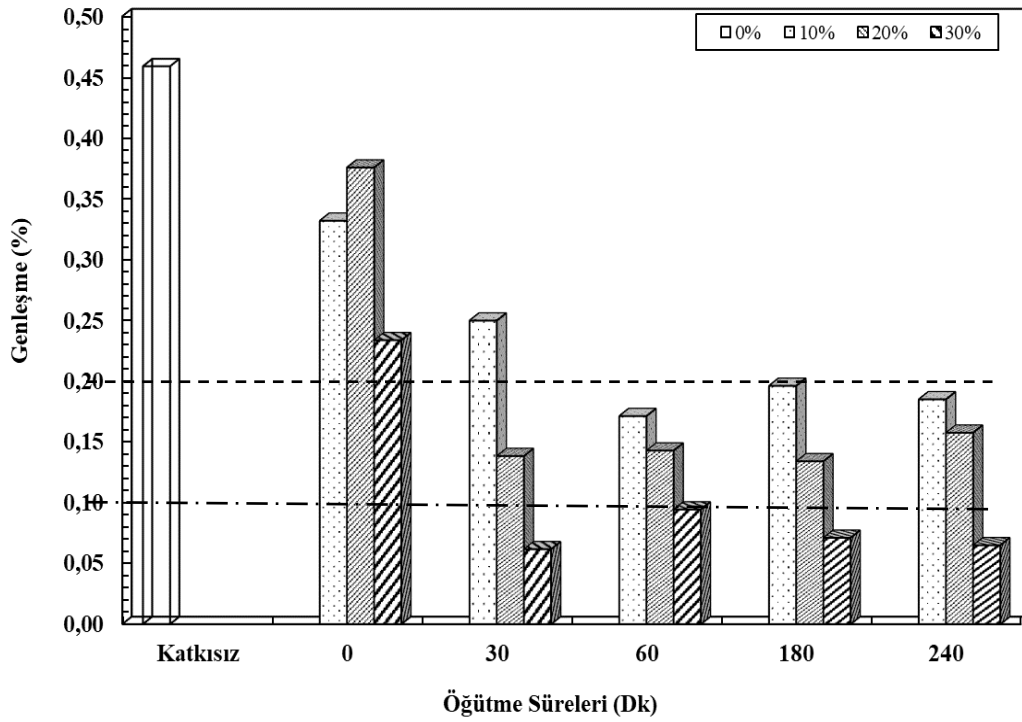
Şekil 4.6 180 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

240 dk öğütme: 240 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $16,79 \mu\text{m}$ olarak belirlenen dip külünün katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda dip külünün kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşmeyi azaltmaktadır. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 dip külü ikamesi ile bu değerin %59,71 azalarak %0,185'e düştüğü ve en düşük genleşmenin (%0,065) en yüksek katkı oranında (%30) gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerleri Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre, %10 ve %20 katkıda genleşme açısından şüpheli bölgede yer aldığı yani %0,10 - 0,20 arasında genleşme değerleri arasında olduğu, ancak %30 ikame ile harçlardaki boyca genleşme oranının güvenli bölgede yer aldığı yani %0,10 genleşme değerinin altında olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.7 240 dk öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

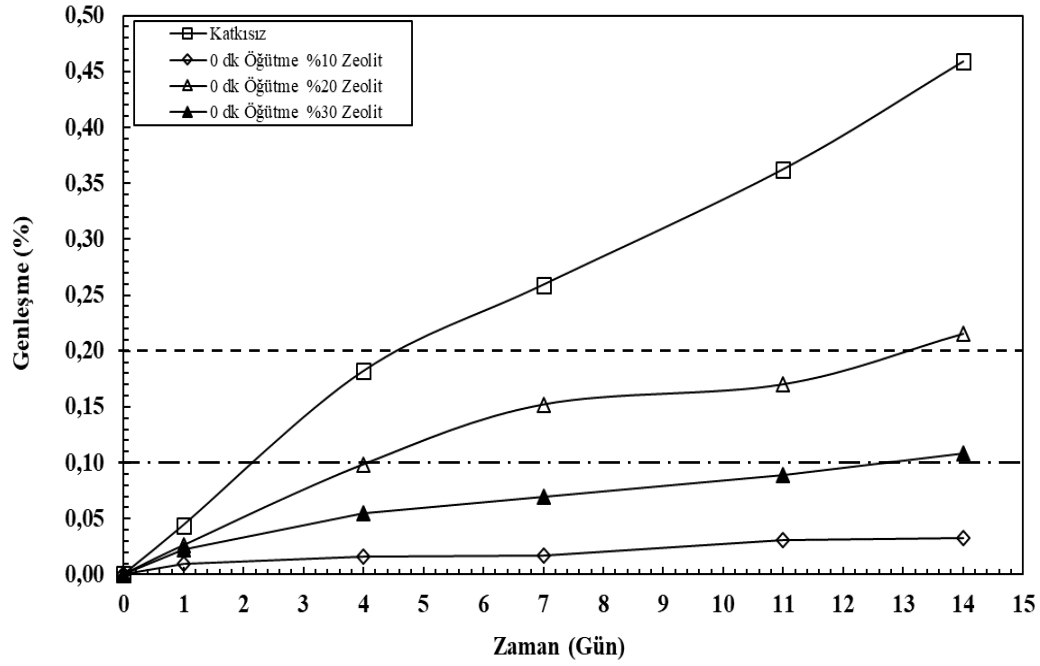
Şekil 4.8'de ise dip külünün gerek tane boyutu ve gerekse ikame oranı bakımından harcın ASR'na etkisini bir arada gösteren bar grafikler verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü üzere dip külünü öğütmeden kullanmak ASR'nin bastırılmasında pek bir fayda sağlamaz iken öğütülerek kullanıldığında çok ciddi şekilde alkali silika reaksiyonu bastırılabilir. Ham haldeki tüm dip külü katkı oranlarında ASR değerleri tehlikeli bölgede kalırken, 30-240 dk öğütme sonrası %20 dip külü ikame oranlarında harcın genleşme değerleri şüpheli bölgeye ($0.1 - 0.2$ arası) çekilmekte ve aynı öğütme süreleri sonrası %30 ikame oranında ise güvenli bölgeye (<0.1) çekilebilmektedir. En düşük genleşme (0.065) 240 dk öğütülmüş dip külünün %30 ikamesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Farklı sürelerde öğütülmüş dip külünün farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

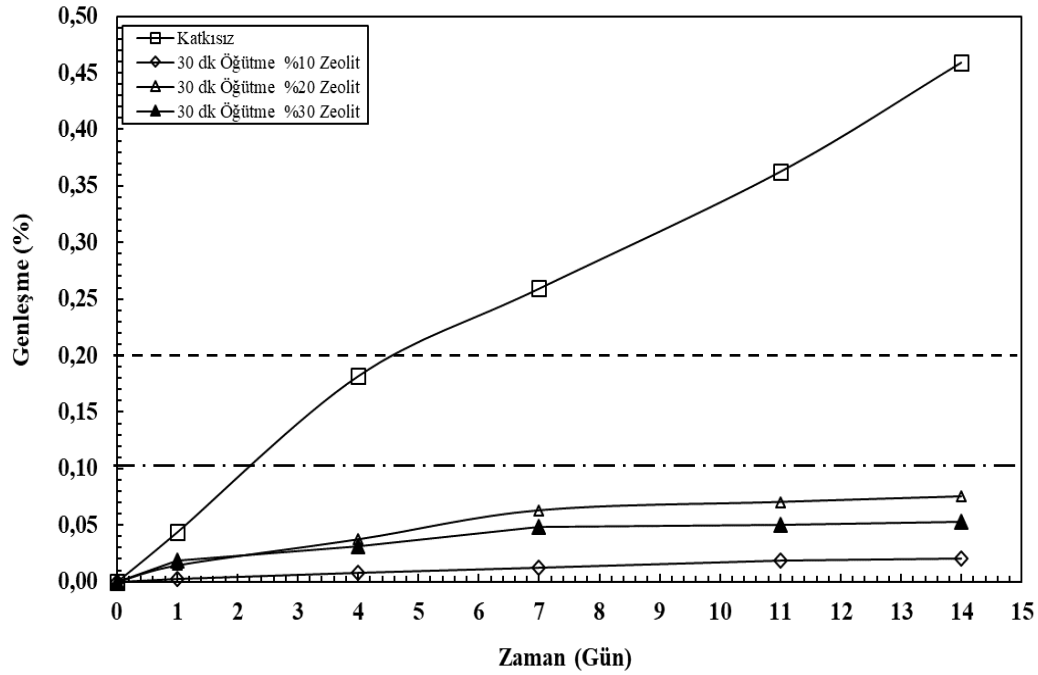
4.2.2 Zeolitin Tane Boyutunun ASR'ye Etkisi

0 dk öğütme (ham halde): Hiçbir işlem yapılmadan ham halde d_{50} boyutu $45,55 \mu\text{m}$ olan zeolitin katkı miktarının harç çubuklarının alkali silika reaktivitesine (ASR) etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda zeolitin kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşme oranında belirli oranda artış meydana gelmektedir. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 zeolit ikamesi ile bu değerin %92,87 azalarak %0,015'e düştüğü ve en fazla genleşmenin (%0,215) %20 katkı oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerleri Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre, %10 katkıda genleşme açısından güvenli bölgede yer alırken, %20 katkıda tehlikeli bölgede, %30 katkıda ise şüpheli bölgede yer aldığı saptanmıştır.



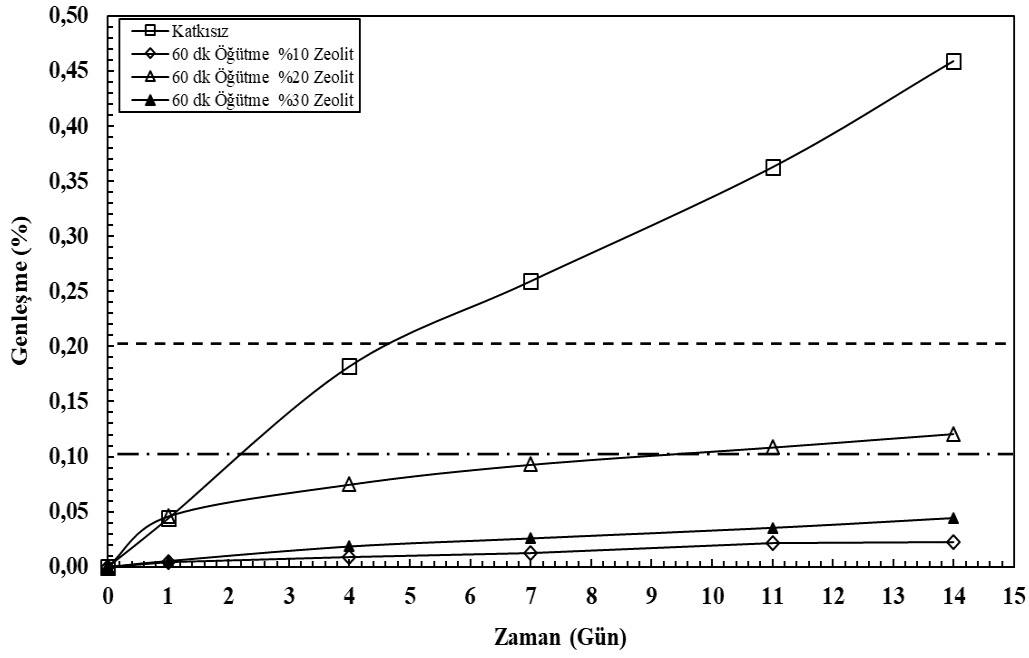
Şekil 4.9 Farklı oranlarda ham zeolit ikamesinin ASR'ye etkisi.

30 dk öğütme: 30 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu 33,46 μm olarak belirlenen zeolitin katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.10'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda zeolitin kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşme oranında belirli oranda artış meydana gelmektedir. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 zeolit ikamesi ile bu değer %95,48 azalarak %0,021'e düştüğü ve en fazla genleşmenin (%0,075) %20 katkı oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerlerinin tamamının Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre genleşme açısından güvenli bölgede yer aldığı yani %0,10'luk genleşme değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



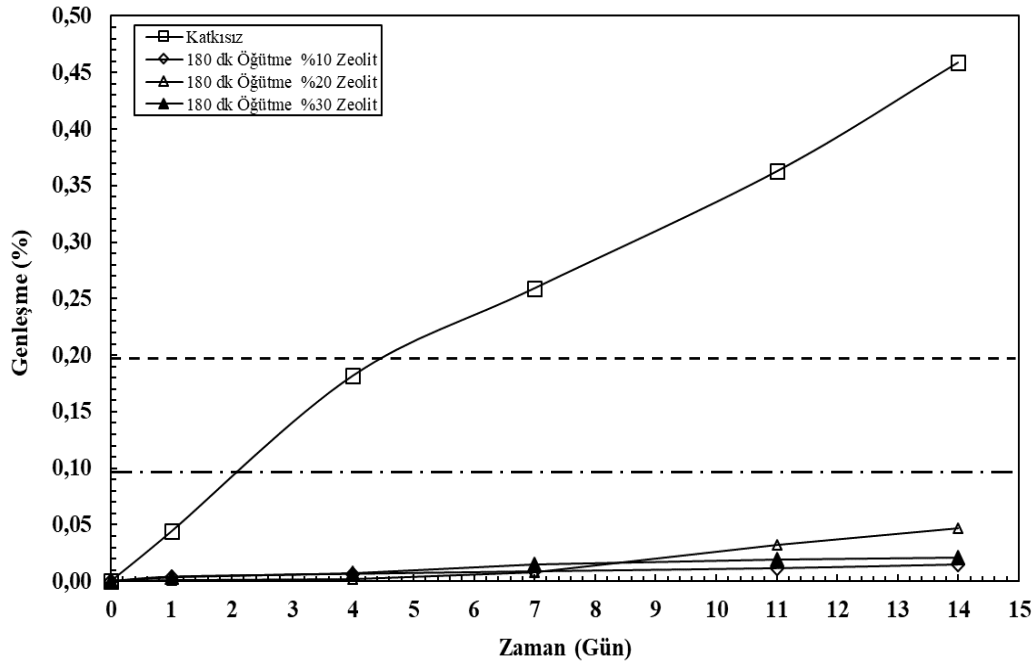
Şekil 4.10 30 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

60 dk öğütme: 60 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $23,37 \mu\text{m}$ olarak belirlenen zeolitin katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda zeolitin kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşme oranında belirli oranda artış meydana gelmektedir. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 zeolit ikamesi ile bu değer %95,01 azalarak %0,023'e düştüğü ve en fazla genleşmenin (%0,121) %20 katkı oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerleri Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre, %10 ve %30 katkıda genleşme açısından güvenli bölgede yer alırken, %20 ise şüpheli bölgede yer aldığı saptanmıştır.



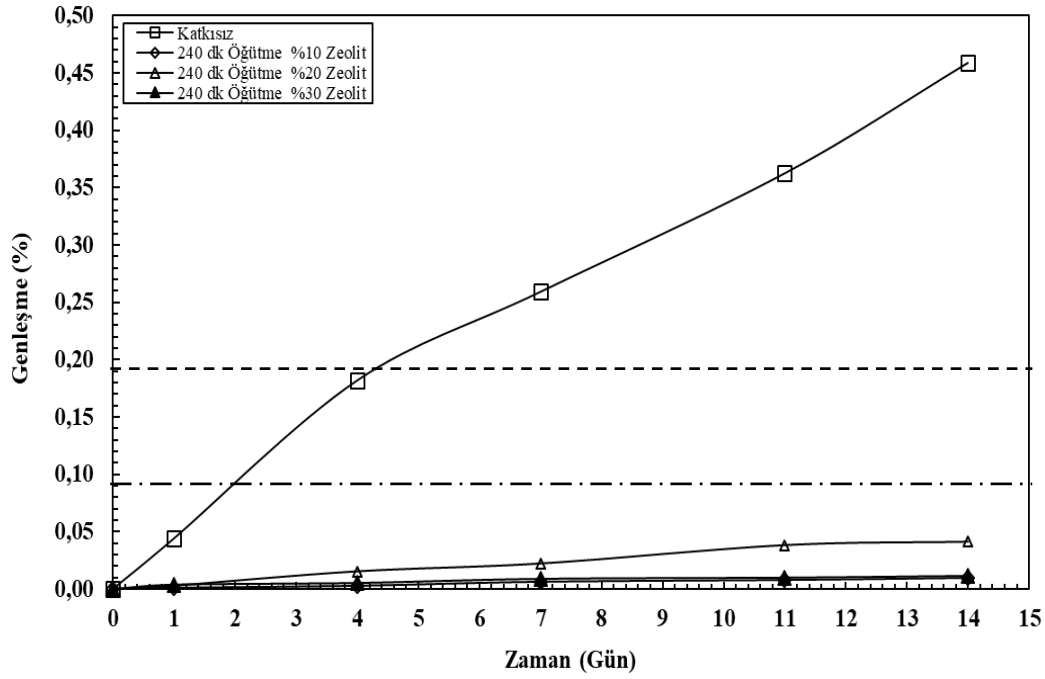
Şekil 4.11 60 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

180 dk öğütme: 180 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $14,63 \mu\text{m}$ olarak belirlenen zeolitin katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda zeolitin kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşme oranında belirli oranda artış meydana gelmektedir. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 zeolit ikamesi ile bu değer %96,77 azalarak %0,015'e düştüğü ve en fazla genleşmenin (%0,047) %20 katkı oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerlerinin tamamının Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre genleşme açısından güvenli bölgede yer aldığı yani %0,10'luk genleşme değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



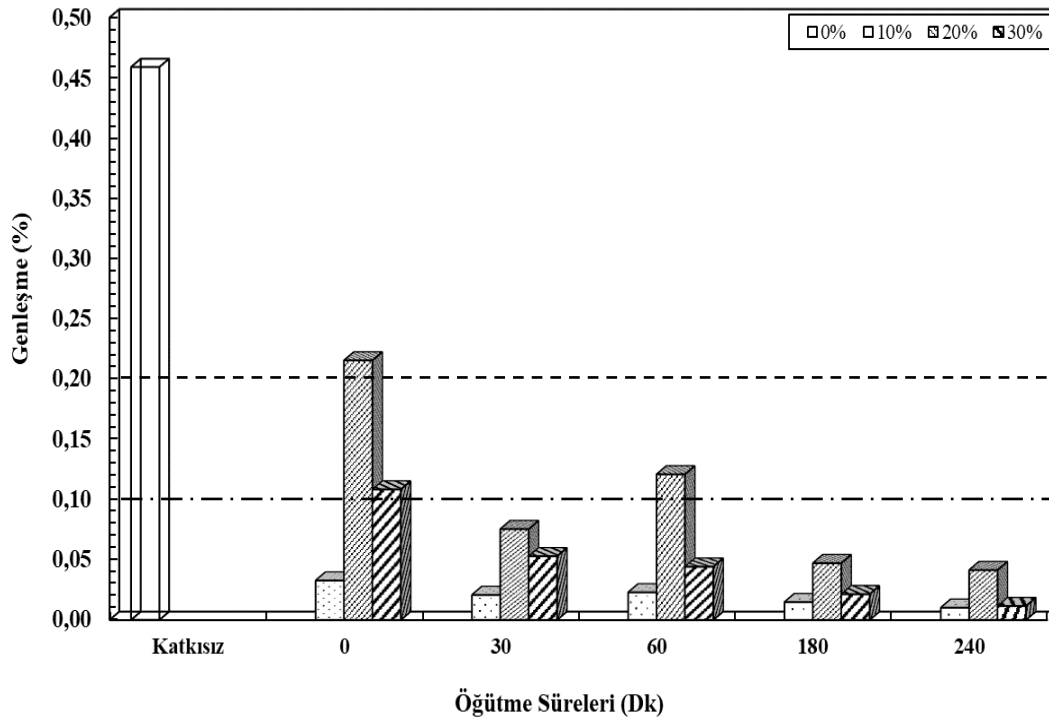
Şekil 4.12 180 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

240 dk Öğütme: 240 dk. öğütme işlemi sonrasında d_{50} boyutu $10,49 \mu\text{m}$ olarak belirlenen zeolitin katkı miktarının ASR etkisini gösteren zamana bağlı % genleşme eğrileri Şekil 4.13'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere harçlarda zeolitin kullanılması katkı oranına paralel olarak betondaki genleşme oranında belirli oranda artış meydana gelmektedir. Mineral katkısız hazırlanan harçların ASR'den kaynaklı boyca genleşme değeri %0,459 iken çimento yerine %10 zeolit ikamesi ile bu değer %97,79 azalarak %0,010'e düştüğü ve en fazla genleşmenin (%0,041) %20 katkı oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen 14 günlük genleşme değerlerinin tamamının Çizelge 4.3'de verilen ASTM C 1260 standardına göre genleşme açısından güvenli bölgede yer aldığı yani %0,10'luk genleşme değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13 240 dk öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

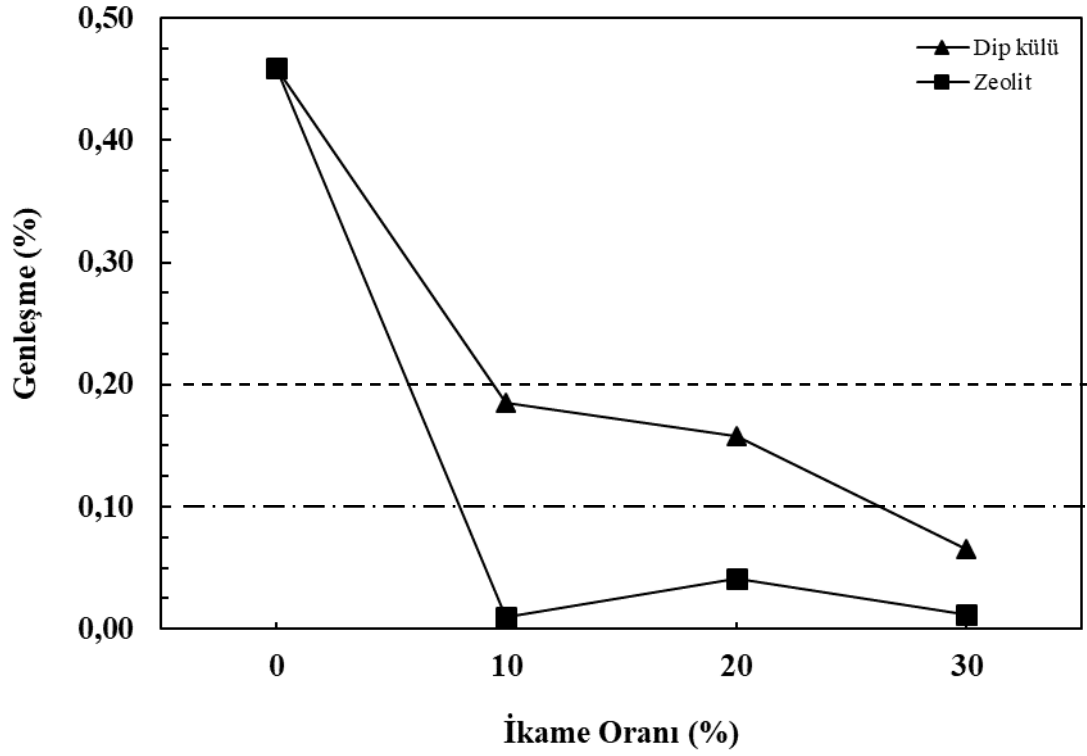
Şekil 4.14'de ise zeolit öğütme süresi (tane boyutu) ve ikame oranlarının harcin ASR'sine etkisini gösteren %genleşme değerlerinin birarada verildiği grafikler görülmektedir. Açık bir şekilde görülmektedir ki, ister ham halde (-1 mm) isterse öğütülmüş olsun harca %10 zeolit ilavesi ile harçta oluşan alkali silika reaksiyonu çok iyi bir şekilde bastırılabilmekte olup, genleşme oranı %0,45'den %0,05'in altına düşmekte yani hepsi de ASR bakımından güvenli bölgede ($<0,1$) yer almaktadır. Zeolitin tane boyutunun incilmesi ASR'yi bastırmada biraz daha etkiyi artırmaktadır. Ancak zeolit ikame oranının ASR'ye etkisi bakımından pek mantıksal bir ilişki kurulamamıştır. Bunun da sebebi metot kısmında belirtildiği gibi zeolitin harçtaki ortam suyunu hızla emmesi sebebiyle yeterince iyi homojen bir karışım elde edilememesi olabilir. En düşük genleşme (%0,010) 240 dk öğütülmüş zeolitin %10 ikamesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.14 Farklı sürelerde öğütülmüş zeolitin farklı oranlarda harca ikamesinin ASR'ye etkisi.

4.2.3 ASR Etkisi Bakımından Dip Külü ve Zeolitin Karşılaştırılması

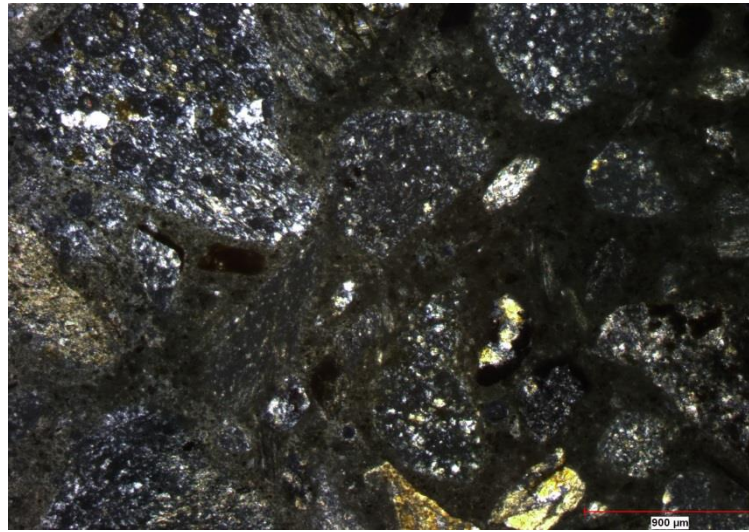
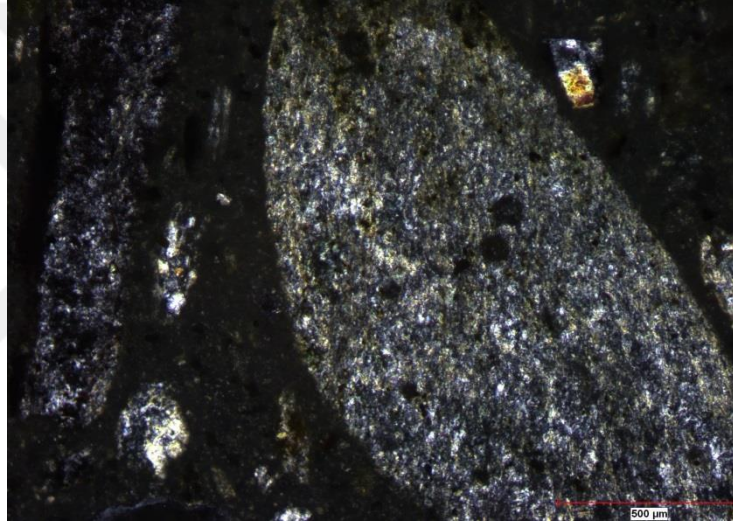
Her iki katkı türü için de ASR'nin bastırılması bakımından elde edilen en iyi sonuçlar 240 dakikalık öğütme süresinde elde edilmiştir. Dolayısıyla her iki mineral katkısının birbiriyle kıyaslanmasında Şekil 4.15'de verilen ve bu veriler baz alınarak çizilen eğriler esas alınmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere ASR bastırılması (daha düşük boyca genleşme) bakımından zeolitin dip külüne göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Katkı oranı bakımından %10'luk katkı ile ASR'nin çok büyük oranda bastırılabilirdiği görülmektedir.



Şekil 4.15 Harçdaki ASR'ye 240 dk öğütülmüş ve farklı oranlarda ikame edilmiş dip külü ve zeolitin etkisi.

4.2.4 ASR Sonrası Numunelerin Polarizan Mikroskop Görüntülerinin İncelenmesi

Şekil 4.16'da hazırlanan harç çubuklarının polarizan mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Görüntüler incelendiğinde mineral katkısız harçlarda ASR'den kaynaklı çatlaklar ve jelleşmeler net olarak görülmektedir. Harçlara mineral katkı ikame edildiğinde çatlakların azaldığı ASR'nin bastırıldığı görülmektedir. Bunun sebebinin ise, çimentodan çözünerek ortama geçen alkali iyonların (Na^+ , K^+) yüksek yüzey alanlı bu puzolinik mineral katkılar tarafından adsorplanması ve dolayısıyla silika ile jelleşme reaksiyonunun gerçekleşmemesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.16 Mineral katkısız (üstte), 240 dk öğütülmüş dip külünden %30 ikame edilmiş (ortada) ve 240 dk öğütülmüş zeolitten %10 ikame edilmiş (altta) harç numunelerinin ASR testi sonrasındaki polarizan mikroskop görüntüleri.

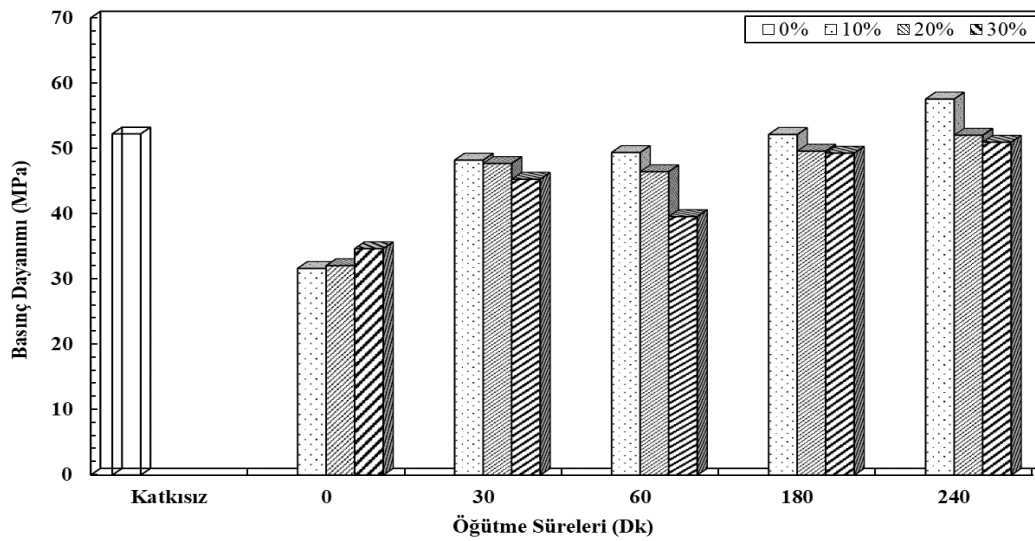
4.3 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

4.3.1 Dip Külün Tane Boyutunun Basınç Dayanımına Etkisi

Şekil 4.17’de görüldüğü üzere harçlara dip külü ikamesi ile basınç dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni harcın içerisindeki çimento miktarının azalmasıdır. Ancak tane boyutu küçüldükçe basınç dayanımının artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Mineral katkısız harçların basınç dayanımı 52,25 MPa iken (Çizelge 4.4), ham dip külü ikamesinde bu değerin azaldığı en yüksek değerin %30 ikamede (34,66 MPa) olduğu en yüksek basınç değerinin ise 240 dk öğütme işlemi sonrasında elde edilen ürünün %10 ikamesi 57,58 MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş dip külü ikamesinin etkisi.

Öğütme Süresi, dk	0	30	60	180	240
d ₅₀ Boyutu, µm	128,34	39,41	28,32	19,82	16,79
İkame Oranı, %	Basınç Dayanımı, MPa				
10	31,65	48,23	49,39	52,15	57,58
20	32,05	47,71	46,45	49,60	52,04
30	34,66	45,30	39,59	49,29	50,97



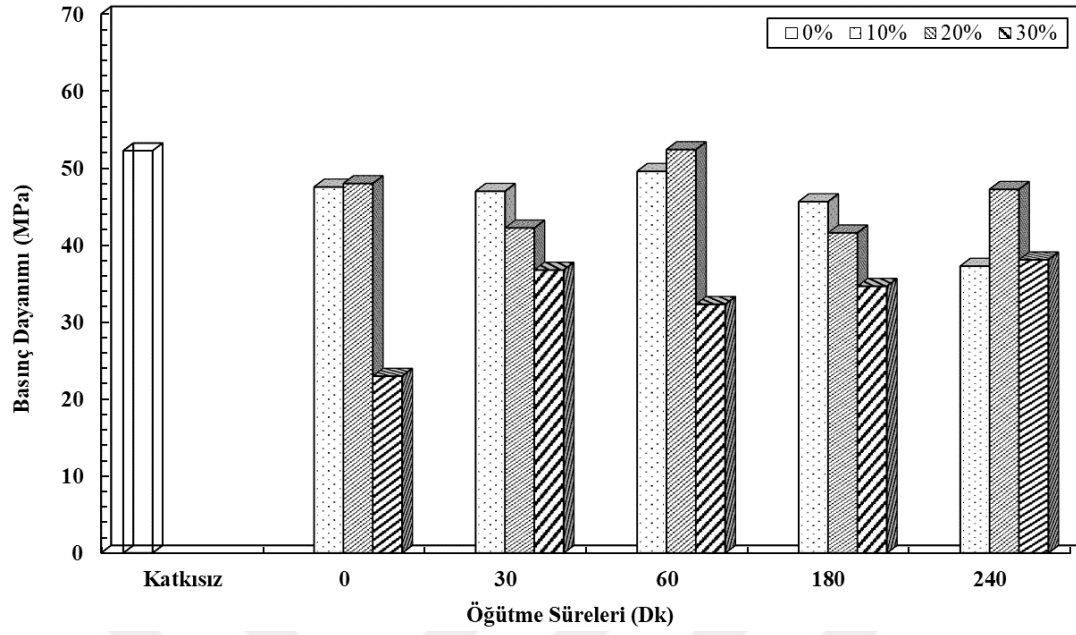
Şekil 4.17 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş dip külünün farklı ikame oranlarının etkisi.

4.3.2 Zeolitın Tane Boyutunun Basınç Dayanımına Etkisi

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere harçlara zeolit ikamesi ile basınç dayanımı belirli oranda azalmaktadır. Ayrıca zeolit ikame oranının tane boyutundan daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Mineral katkısız harçların basınç dayanımı 52,25 MPa iken (Çizelge 4.5), ham zeolit ikamesinde bu değerin azaldığı en düşük değerin %30 ikamede (22,97 MPa) olduğu ve en yüksek basınç değerinin ise 60 dk öğütme işlemi sonrasında elde edilen ürünün %20 ikamesi ile 52,39 MPa olarak belirlenmiştir. Diğer bir husus ikame oranı-basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki görülmemektedir. Bu durum metot kısmında da belirtildiği üzere harca özellikle %10’dan yüksek zeolit ikamelerinde, ortamdaki serbest suyun zeolit tarafından hızla emilmesi sebebiyle yeterli homojenite sağlanamamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.5 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş zeolit ikamesinin etkisi.

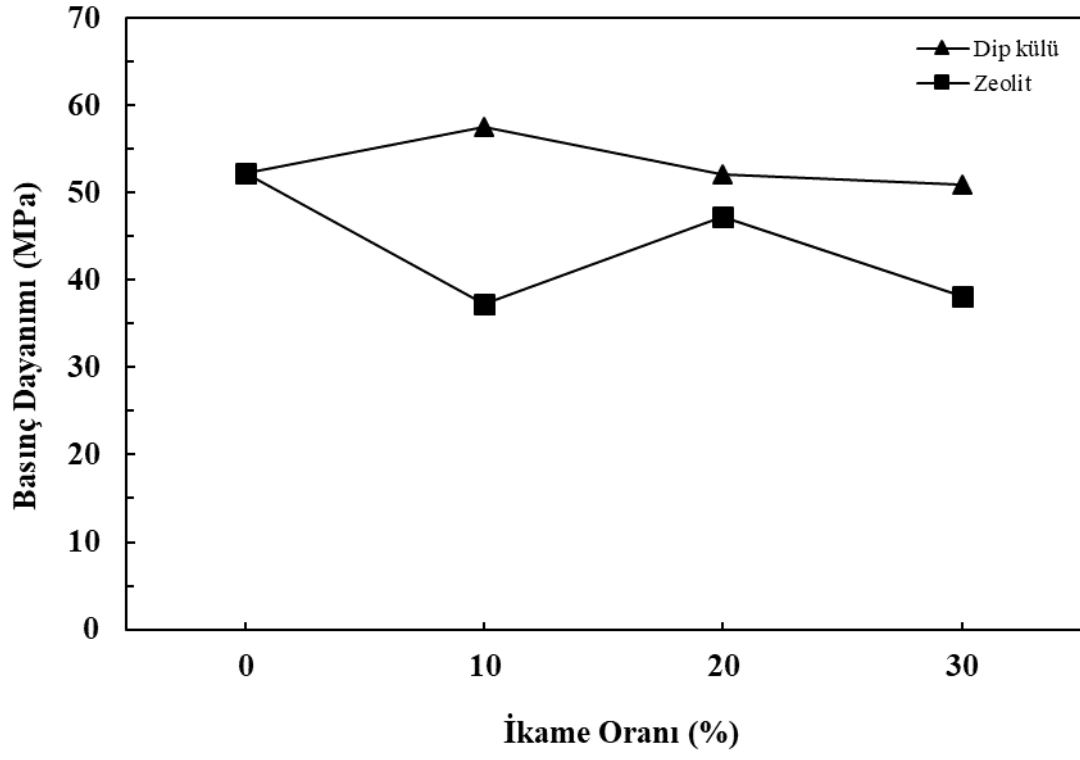
Öğütme Süresi, dk	0	30	60	180	240
d ₅₀ Boyutu, µm	45,55	33,46	23,37	14,63	10,49
İkame Oranı, %	Basınç Dayanımı, MPa				
10	42,53	46,98	49,57	45,63	37,25
20	47,99	42,21	52,39	41,57	47,23
30	22,97	36,75	32,29	34,64	38,08



Şekil 4.18 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına ham ve farklı sürelerde öğütülmüş zeolitin ikame oranının etkisi.

4.4 Basınç Dayanımı Bakımından Dip Külü ve Zeolitin Karşılaştırılması

Harcın basınç dayanımına etkisinin birlikte kıyaslanması amacıyla ASR bastırılması bakımından en iyi sonucu veren 240 dk öğütmeye tabi tutulmuş puzolinik katkıları esas alınmıştır. Şekil 4.19’da 240 dk öğütmeye tabi tutulmuş bu puzolinik katkıların ikame oranlarına bağlı basınç dayanımındaki değişimleri gösteren grafikler verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere Katkısız halde yaklaşık 50 MPa olan basınç dayanımına dip külü katkısı kayda değer olumsuz bir etki göstermezken zeolit katkısı ile basınç değerinin kısmi oranda azalma gösterdiği ve yaklaşık 35 MPa civarlarına düştüğü görülmektedir. Ancak bu düşüş sonrası dayanım değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.19 Harcın 28 günlük kürlenme sonrası basınç dayanımına 240 dk öğütülmüş ve farklı oranlarda ikame edilmiş dip külü ve zeolitin etkisi.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğancık (Afyon/Sultandağı) deresi agregası, CEM-I 42,5 portland çimentosu ve su ile hazırlanan harçta puzolinik katkı olarak kullanılan Gördes zeoliti ve Soma termik santrali dip külünün tane boyutunun ve katkı miktarının harcın alkali-silika reaksiyonuna (ASR) ve basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- (i) Geleneksel bilyalı değirmende yapılan öğütme deneylerinde, öğütme süresi artıkcça puzolinik katkıların tane boyutu ciddi şekilde incelmektedir. En ince ortalama tane boyutu değerleri her iki katkı için de 240 dk öğütme sonrasında elde edilmiştir. Ham haldeyken ortalama tane boyutu (d_{50}) 128,34 μm olan dip külü, 240 dk öğütme ile 50,19 μm 'ye düşürülmüştür. Zeolit numunesi de benzer eğilim göstermiştir. Ham haldeki zeolit numunesinin d_{50} boyutu 45,55 μm iken 240 dk. öğütme sonrası 10,49 μm 'ye düşürülmüştür.
- (ii) Dip külünün tane boyutu küçüldükçe harç çubuklarının ASR'den kaynaklı genleşmeleri azalmakta olup, en düşük genleşme değeri %0,065 ile 240 dk öğütülen dip külünün %30 ikamesi ile elde edilmiştir.
- (iii) Zeolitin tane boyutu küçüldükçe harç çubuklarının ASR'den kaynaklı genleşmeleri azalmakta olup, en düşük genleşme değeri %0,010 ile 240 dk öğütülen zeolitin %10 ikamesi ile elde edilmiştir.
- (iv) Harçta ASR'nin bastırılması ve genleşmenin önlenmesi bakımından her iki puzolinik katkı (zeolit ve dip külü) kıyaslandığında özetle şu söylenebilir: (a) her iki katkının da tane boyutu ne kadar ince olursa (ve dolayısıyla yüzey alanı artarsa) ASR'nin bastırılması o oranda iyi olmaktadır ki bunun sebebi çimentodan çözünerek ortama geçen alkali iyonların (Na^+ , K^+) yüksek yüzey alanlı bu puzolinik katkılar tarafından adsorplanması ve dolayısıyla silika ile jelleşme reaksiyonunun gerçekleşmemesidir, (b) katkı oranı bakımından %10'luk katkı bu reaksiyonu çok büyük oranda engelleyebilmekte ve bundan sonraki katkı oranları zeolit için hemen hemen hiç bir etki göstermezken dip külü için biraz daha pozitif etkiyi artırmakta ve en düşük genleşme %30 oranında gerçekleşmektedir, (c) katkı oranı ile genleşmenin azalması (ASR bastırılması) bakımından dip külü için doğrusal bir ilişki söz konusu

iken zeolit için böyle bir ilişki kurulamamıştır. (d) zeolit, dip külüne oranla çok daha etkin bir rol oynamaktadır.

- (v) Basınç dayanımı bakımından ise her iki katkının etkisi kıyaslandığında; ASR bastırılmasında en iyi sonucu veren 240 dk öğütülmüş %30 dip külü ikamesinin harcın basınç dayanımında önemli oranda bir azalmaya (%2,45) neden olmadığı buna mukabil ASR bastırılmasında en iyi sonucu veren 240 dk öğütülmüş %10 zeolit ikamesinin basınç dayanımını %28,83 oranında azalttığı ancak bu azalma sonucunda ortaya çıkan dayanım değerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu saptanmıştır. Ayrıca basınç dayanımı-tane boyutu ilişkisi açısından dip külü için tane boyutu incelidikçe basınç dayanımında kısmi bir artış olurken zeolit için doğrusal bir ilişki kurulamamıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abdelrahman, M., ElBatanouny, M.K., Ziehl, P., Fasl, J., Larosche, C.J. and Fraczek, J., (2015). Classification of alkali–silica reaction damage using acoustic emission: A proof-of-concept study, *Construction and Building Materials*, **95**, 406–413.
- Andinç Çakır, Ö., (2007)., Alkali-Agrega Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Arslan, M. (2001). Beton Dökümü, Kalıpları, Kusurları ve Dayanıklılığı, Atlas Yayınevi, 237 sf.
- Aydın, E.G., (2012). Çeşitli Mineral Katkıların Betonda Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bağdiken, M.Y., (2013). Betondaki Alkali-Silika Reaksiyonunu Önlemek İçin Kireçtaşı Tozu ve Uçucu Kül İçeren İkili ve Üçlü Karışımların Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Bal, S., (2011). Kayaçlarda Fiziko-Mekanik ve Mineralojik Özelliklerini Betonda Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baradan, B., (2000). Yapı Malzemesi II. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.207.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Blight, G.E. and Alexander, M.G., (2011). Alkali – Aggregate Reaction and Structural Damage to Concrete, Engineering Assessment, Repair And Management, Teylor & Fancis Group, London.
- Çelik, Ö., (2004). Farklı İnceliklerdeki Tras ve Uçucu Külün Çimento Dayanımlarına Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **10**, 333-337.
- Davraz, M., Gündüz, L., (2004). Doğal amorf silikanın alkali silika reaksiyonu gelişimine etkisi, BETON 2004 Kongresi, 1-10.
- Dolar-Mantuani, L., (1983). Handbook of concrete aggregates, Noyes, New Jersey, U.S.A.

- Dinçdemir, İ., (2015). Alkali-Silika Reaksiyonunun İyileştirilmesinde Mineral ve Kimyasal Katkıların Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- El-Enein, S. A.E.- G.A., Kishar, E.A.E.A., Zeydan, S.R.R., Mohame, R.A-E., (2016). Effect of nano - SiO₂ (NS) on dolomite concrete towards alkali silica reaction, *Housing and Building National Research Center Journal*, **14**: 165-170.
- Engin, G., (2013). Nevşehir Acıgöl Bölgesinden Elde Edilen Perlit Agregasının Alkali Silika Reaksiyonunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Farny, J. A. And Kosmatka, S. H., (1997). Diagnosis and control of alkali aggregate reactions in concrete, Concrete Information, Portland Cement Association, 23 p.
- Farny, J. A. and Kosmatka, S.H. (1998). Betonda Alkali Agregat Reaksiyonunun Teşhis ve Kontrolü, Çeviren: Kalmış, M., Güngör, N., Eribol, S., American Concrete Pavement Association (ACPA).
- Figg, J., (1987). 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, Proceedings of the 7 th International Conference, New Jersey.
- Grattan-Bellew, P.E., (1989). Test Methods and Criteria for Evaluating the Potential Reactivity of Aggregates, Proceedings of the 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, 279-294, Okada, K., Nishibayashi, S., Kawamura, M. (Eds.), Kyoto, Japan, 886 p.
- Gümüş, S., (2009). Kocaeli Bölgesindeki Agregaların Alkali Silika Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gün, M., (2007). Adapazarı Bölgesindeki Agregaların Alkali Agregat Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gürkan, A. (2006). Pomza ve Zeolitin Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Hobbs, D.W., (1988). Alkali-Silica reaction in concrete, *Telford*, London, U.K.

- Karakaş, S., (2013). Hurşit Çayı Vadisi Agregalarının Alkali Silika Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Korkmaz, S., (2010). Bazı Yapay Puzolanların Harçların Basınç Dayanımlarına ve Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kurt, D., (2009). Alkali-Silika Reaksiyonunu Önlemek İçin Betonda Puzolanik ve Kimyasal Katkı Kullanımının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Lagerblad, B., (2012). Alkali release from silicate minerals and alkali-silica reaction in concrete. In: Drimalas, T., Ideker, J.H. & Fournier, B. (eds.) Proceedings of the 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Austin, Texas, USA. 052411-LAGE. pp. 1–6.
- Mladenovic, A., Suput, J.S., Ducman, V. ve Skapin, A.S., (2004). Alkali- Silis Reaktivite of Some Frequently Used Lightweight Aggregates, *Cement And Concrete Research*, **34**: 1809-1816.
- Nayır, S., (2015). Mineral Katkıların Alkali-Silika Reaksiyonunu İyileştirmede Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Nixon, P., Sims, I., (2000). Universally accepted testing procedures for AAR the progress of RILEM Technical Committee 106, 435-444, Proc. 11th International Conference, Ed. Berube, M.A., Fournier, B., Durand, B., Quebec, QC, Canada, 1406 p.
- Oberholster, R.E., (2001). Alkali-silica reaction in *Fulton's concrete technology*, eds BJ Addis & G Owens, 8th edn, Cement and Concrete Institute, Midrand, South Africa.
- Ozol, M.A., (1994). Alkali-Carbonate Rock Reaction, 372-387, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, Klieger, P., Lamond, J.F. (Eds.), ASTM Publications, STP 169C, 623 p.
- Özışık, G., (1998). Beton, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Poole, A.B., (1992). Introduction to Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, In the Alkali-Silica Reaction in Concrete, Edited by SWAMY, R.N., New York, Van Nostrand Reinhold.

- Poole, A.B., (2017). Chemistry And Mechanisms, In: Sims, L. And Poole, A., (Eds.), Alkali-Aggregate Reaction In Concrete: A World Review, London, Taylor & Francis Group, 1-30.
- Ramyar, K., Dönmez, H., Andiç, Ö., (2002). Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü, 2002, 3-15.
- Sağlık, A., Kocabeyler, M., Orkun, Y., Halıcı, M. ve Tunç, Ergin., (2002). Deriner Barajı ve Hes İnşaatı Kütle Betonunda Kullanılması Planlanan Agregalarda Alkali-Silis Reaksiyonu Riski ve Önlenmesine Yönelik Yürütülen Çalışmalar.
- Sert, G., (2007). Sakarya Bölgesinde Üretilen Kırmataş Agregalarının Alkali-Agrega Reaktivitelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Stark, D., (1992). Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity, SHRP- C343", Washington, Strategic Highway Research Program.
- Stark, D., Morgan, B., Okamoto, P., (1993). Eliminating or Minimizing Alkali- Silica Reactivity, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC, 266 p.
- Stark, D., (1994), Alkali-Silica Reactions in Concrete, in Simificance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Makirw Materials, Klieger P. and Lamond J. eds., ASTM STP 169C.
- Swamy, R.N., Al-Asalg, M.M., (1988). Engineering properties of concrete affected by alkali silica reaction, *ACI Materials Journal*, **85**: 367-374.
- Swamy, R.N., (1992). Alkali-Aggregate Reaction in Concrete; Material and Structural Implications, Sciences in Concrete Technology, Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- Swamy, R.N., (1992). The Alkali Silica Reaction in Concrete. Van Nostrand, London, pp.96-12.
- Swammy, R.N., (1994). Alkali Aggregate Reaction the Bogeyman of Concrete, American Concrete Institute Special Report 144, Metha, P.K.(Ed.), American Concrete Institute.

- Swenson, E.G., and Gillott, J.E., (1967). Alkali reactivity of dolomitic limestone aggregate, *Mazagine of Concrete Research, Cement and Concrete Association*, **19**: (59) 95-104.
- Topçu, İ. B., (2003). Atık Camlı Harçlarda Alkali Silis Reaksiyonu, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- TS 706 EN 12620+A1, Türk Standartları, (2009). Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3/A1, Türk Standartları, (2006). Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler - Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1:2012(EN), Türk Standartları, (2012). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, Türk Standartları, (2012). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 3: Tane Şekli Tayini - Yassılık Endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-4, Türk Standartları (2009). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 4: Tane Şeklinin Tayini - Şekil Endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-7, Türk Standartları, (2000). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 7: İri Agregalarda Kavkı İçeriğinin Tayini – Kavkı Yüzdesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-8:2012+A1, Türk Standartları, (2015). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini- Kum Eşdeğeri Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9 + A1: 2013, Türk Standartları, (2014). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9: İnce Malzeme Tayini - Metilen Mavisi Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-10, Türk Standartları, (2010). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 10: İnce Tanelerin Tayini – İnce Dolgu Malzemelerinin Tane Büyüklüğüne Göre Sınıflandırılması (Hava Jetiyle Eleme) , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 1097-1, Türk Standartları, (2011). Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Aşınma Direncinin Tayini (Mikro-Deval) , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, Türk Standartları, (2010). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-3, Türk Standartları, (1999). Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, Türk Standartları, (2013). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-8, Türk Standartları, (2009). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 8: Taş Parlatma Değerinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-9, Türk Standartları, (2014). Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9: Çivili Lastiklerden Kaynaklanan Aşınmaya Karşı Direncin Tayini - Nordik Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-1, Türk Standartları, (2009). Agregaların Isıl ve Bozunma Özelliklerini Tayin İçin Deneyler - Bölüm 1: Donma ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, Türk Standartları, (2010). Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-4, Türk Standartları, (2009). Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 4: Kuruma Çekmesi Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1:2009+A1, Türk Standartları, (2013). Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal Analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-5, Türk Standartları, (2008). Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 5: Asitte Çözönebilen Klorür Tuzlarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 13516, Türk Standartları, (2012). Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (Harç Çubuğu Yöntemi), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 13517, Türk Standartları, (2012). Bağlayıcı Malzemeler ve Agregaların Potansiyel Alkali Silika Reaktivitesinin Tayini (Hızlandırılmış Harç Çubuğu Yöntemi), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 13519, Türk Standartları, (2012). Alkali Silika Reaksiyonu Nedeniyle Betonda Oluşan Boy Değişiminin Tayin Edilmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turanlı, L., Bektaş, F. ve Montherio, P.J.M., (2003). Use of Grand Brick as a Pozzolanic Material to Reduce The Alkali Silika Reaction, *Cement and Concrete Research*, **33**, 1539-1542.
- Uygunoğlu, T., (2009), Yüksek Oranda Silis Dumanı içeren Harçlarda Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) Gelişiminin incelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **5**, 9-16.
- Yalçın H., ve Gürü M., (2006). Çimento ve Beton Ders Kitabı, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Yıldırım, K. (2013). Betonda Alkali Silika, Reaksiyonunun Azaltılmasında Mineral Katkı Kombinasyonlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fahri YENTÜRK
Doğum Yeri ve Tarihi : Dereçine/Sultandağı, 1978
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05052637297 / fahriyenturk@outlok.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Akşehir İsmet İnönü Endüstri Meslek Lisesi, (1992 – 1995)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, (2011 – 2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2019)
Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi, (2004 – Devam ediyor)