T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYARBAKIR BAZALTININ MİNERAL KATKILAR İLE KULLANILMASININ BETONUN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Murat DOĞRUYOL

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Haziran 2017

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Murat DOĞRUYOL tarafından yapılan "DİYARBAKIR BAZALTININ MİNERAL KATKILAR İLE KULLANILMASININ BETONUN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Doç. Dr. Abdulhalim KARAŞİN

Üye : Doç. Dr. Halil GÖRGÜN

Üye : Doç. Dr. Murat AYDEMİR

Üye : Yrd.Doç. Dr. Burak YÖN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Onur ONAT

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 02/06/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../201..

Doç.Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her anında benimle birlikte olan bana yol gösteren yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç.Dr.A.Halim Karaşin'e, çalışmalarımda bana destek olan öğretim görevlisi olarak görev aldığım Siirt Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu idarecilerine ve iş arkadaşlarıma,çalışmaya finansal destek sunduğu için Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP)'a, beton deneylerinde yardımcı olan Karayolları 9.Bölge müdürlüğü araştırma geliştirme başmühendisliğine, SEM gözlemelerinde bana yardımcı olan Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBTAM)'a, Doç.Dr.Murat Aydemir ve Yrd. Doç.Dr. Fatih Genişel'e, kimyasal ve fiziksel analizlerin yapıldığı Limak Ergani çimento fabrikasına, bu çalışmanın zorluğunu bir an bile hissetirmeyen her an yanımda olan aileme ve sevgili eşim Fethiye Doğruyol'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR……		I
İÇİNDEKİLER……		II
ÖZET……		VI
ABSTRACT……		VII
ÇİZELGE LİSTESİ……		VIII
ŞEKİL LİSTESİ……		X
KISALTMA VE SİMGELER……		XIV
1.	**GİRİŞ**……	1
2.	**KAYNAK ÖZETLERİ**……	5
2.1.	Betonun Bozulma Mekanizmaları ……..	5
2.1.1.	Betonun Fiziksel Bozulma Nedenleri …….	5
2.1.2.	Betonun Kimyasal Bozulma Nedenleri……	6
2.1.2.1.	Sülfat Etkisi…….…...	7
	-İç Kaynaklı Sülfat Etkisi…….	9
	-İç Kaynaklı Sülfat Etkisinin Oluşum Türleri……..	9
	-Normal Sıcaklık Altında İç Kaynaklı Sülfat Etkisi……	9
	-Yüksek Sıcaklıkta Kür Gören Betonlarda İç Kaynaklı Sülfat Etkisi…….	10
	-Dış Kaynaklı Sülfat Etkisi……..	12
	Magnezyum Sülfat (MgSO4) Etkisi…….……	14
2.1.2.2.	Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)……...……..	16
	-Alkali-Silika Reaksiyonun Betona Etkileri…….	18
	-ASR Ürünlerinin oluşumu……..	19
	-ASR Etkisinde UK ve SD İkameli Harç Çubuklarının Yapısal Özellikler……	22
	-Alkali-Silika Reaksiyonun Oluşumunu Azaltıcı Önlemler……..	24
2.2.	Puzolanların Tanımı ve Genel Sınıfları……	26
2.2.1.	Puzolanların Tarihçesi……	26
2.2.2.	Puzolanik Reaksiyon ve Puzolanik Malzemelerin Aktivitesi…….……	27

2.2.3. Doğal Puzolanlar…….. 28

2.2.3.1. Volkanik Orijinli Puzolanlar…… 28

2.2.3.2. Pişirilmiş Kil ve Geyl…….. 28

2.2.3.3. Diatomlu Topraklar……. 28

-Doğal Puzolanların Kimyasal Yapısı……..…… 29

-Puzolanların Sınıflandırılması…… 29

-Beton Katkı Maddesi Olarak Doğal Puzolanların Kullanılabilirliğine Dair Standartlar…… 30

2.2.4. Yapay Puzolanlar (Mineral Katkı Malzemeler)…….. 31

2.2.4.1. Uçucu Küller…… 31

-Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri……... 35

-Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri……. 35

-Uçucu Küllü Betonun İşlenebilme Kabiliyeti…… 36

-Uçucu Küllü Betonun Eğilme ve Basınç Dayanımı…….. 37

-Uçucu Külün Sülfat ve Diğer Zararlı Kimyasallara Karşı Dayanıklılığı…….. 37

-Uçucu Külün Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)'na Etkisi……... 37

2.2.4.2. Silis Dumanı…… 37

-Silis Dumanın Fiziksel Özellikleri……..… 38

-Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri…….…….. 39

-Silis Dumanlı Betonun İşlenebilme Kabiliyeti……..…. 39

-Silis Dumanlı Betonun Eğilme ve Basınç Dayanımı……. 39

-Silis Dumanın Sülfat ve Diğer Zararlı Kimyasallara Karşı Dayanıklılığı……. 40

-Silis Dumanın Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)'na Etkisi…….…… 40

2.3. Bazalt Agregası…… 40

2.3.1. Farklı Yörelere Ait Bazalt Taşının Kimyasal Analizleri……. 41

2.3.2. Diyarbakır Bazaltı…… 44

2.3.2.1. Diyarbakır Karacadağ Bazaltının Mekanik Özellikleri…… 48

-Tek Eksenli Basınç Dayanımı……. 48

2.4. Türkiye ve Dünya'da Hazır Beton Üretimi…….. 52

2.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM).....…….. 55

3. MATERYAL ve METOT……..…… 57
3.1. Materyal……..... 57
3.1.1 Kimyasal Analizler…….. 57
3.1.2. Fiziksel Analizler …… 58
3.1.2.1. Blaine Deneyi (özgül yüzey alanı tayini)……. 58
3.1.2.2. Agrega ……..... 59
-Elek Analizi ……..... 60
-Los Angeles Aşınma Deneyi ……..... 62
3.1.3. Çimento..…… 63
3.1.4. Su…..……..... 63
3.2. Metot..... 64
3.2.1. Beton Karışım Değerleri..... 65
3.2.2. Maliyet Analizi..... 66
4. BULGULAR VE TARTIŞMA……. 67
4.1 Taze Beton Deneyleri……..... 67
4.1.1. Slump Deneyi……..... 67
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri……. 67
4.2.1. Kür Koşulları..... 67
4.2.1.1. 28 gün su küründe bekletilen numunelerin gözlemleri…….. 68
4.2.1.2. 28 gün sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin gözlemleri……. 69
4.2.1.3. 360 gün su küründe bekletilen numunelerin gözlemleri……. 70
4.2.1.4. 360 gün sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin gözlemleri……. 71
4.2.2. Beton Basınç Deneyleri…….. 72
4.2.2.1. Beton Test Çekici (Schmidt) Sonuçları…… 75
4.2.2.2. Beton Basınç Verileri.....…….. 76
4.2.3. Beton Numunelerin Ağırlık Değerleri…….. 81
4.3. Elektro Manyetik Mikroskop (SEM) Görüntüleri…… 82
4.3.1. Su Kürü Görüntüleri……. 84
4.3.2. Sülfat Çözeltisi Görüntüleri..... 93
5. SONUÇ VE ÖNERİLER…….…….... 105

6. KAYNAKLAR……..... 107
ÖZGEÇMİŞ……... 117

ÖZET

DİYARBAKIR BAZALTININ MİNERAL KATKILAR İLE KULLANILMASININ BETONUN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

Murat DOĞRUYOL

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2017

Beton, dünyada ve Türkiye'de kullanılan en önemli yapı malzemelerinden biridir. Betondan beklenen en önemli özellik dayanım ve dayanıklılık performansıdır. Bu çalışmada betonun dayanım ve dayanıklılığını artırmak için yüksek basınç dayanımıyla bilinen Diyarbakır bazaltı ve çeşitli sanayi yan ürünü olan mineral katkılar kullanılmıştır. Beton karışımına ağırlıkça çimentonun %20'si kadar uçucu kül (UK) ve %10'u kadar silis dumanı (SD) gibi mineral katkılar çimento yerine ikame edilerek 15x15x15 cm ölçülerde beton numuneler üretilmiştir. Numuneler su küründe ve %10 derişime sahip sülfat çözeltisinde 7, 28 ve 365 gün sonunda kırılmak üzere bekletilmiştir. Elektron manyetik mikroskobu (SEM) ile beton yüzeyindeki çatlaklar ve hidratasyon ürünleri gözlemlenmiştir. Diyarbakır bazaltı ve mineral katkı karışımıyla hazırlanan beton numunelerin sülfat etkisine ve alkali silis reaksiyonuna karşı dayanım ve dayanıklılıkları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyarbakır Bazaltı, Beton Dayanımı, Dayanıklılık, SEM Gözlemleri

ABSTRACT

THE EFFECT OF THE USE OF DIYARBAKIR BASALT WITH MINERAL ADDITIVE ON THE STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETE

PhD THESIS

Murat DOĞRUYOL

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

Concrete is the most important construction material used in Turkey and the World. The most important specification expected from concrete is the strength and durability performance. To enhance the strength and durability Diyarbakır basalt known for its high durability, and sub-industry product mineral additives were used. 15x15x15 cm concrete samples were kept for 7, 28 and 365 days in hydropathy and 10% sulphate solution to be broken after adding mineral additives such as 20% fly ash and 10% silica fume percentage by concrete weight. Cracks of the concrete surface and hydration products were observed by electron magnetic microscope observation. Their strength and durability were determined by examining the durability of concrete samples that were prepared by using Diyarbakır basalt and mineral additive mixture against sulphate effect and alkali-silica reaction.

Key Words: Diyarbakir basalt, concrete strength, durability, SEM images

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2.1.	Sülfat parametrelerinin TS 12457–4 standartlarına göre karşılaştırılması	13
Çizelge 2.2.	Alkali-silis jeli kimyasal analiz sonuçları (kütlece %)	22
Çizelge 2.3.	Puzolanların sınıflandırılması	27
Çizelge 2.4.	Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı (%)	29
Çizelge 2.5.	Doğal puzolan katkıların beton özelliklerine etkileri	29
Çizelge 2.6	Standartlara göre doğal puzolanların kimyasal sınır değerleri	31
Çizelge 2.7.	Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım alanları	32
Çizelge 2.8.	Uçucu kül kullanılan bazı barajlar	34
Çizelge 2.9.	Uçucu kül kullanımının betona etkileri	35
Çizelge 2.10.	TS 639 'da belirtilen uçucu kül kimyasal özellikleri	36
Çizelge 2.11.	Türkiye'de üretilen bazı uçucu küllerin kimyasal bileşenleri	36
Çizelge 2.12.	Bazı tipik silis dumanlarının kimyasal kompozisyonu	39
Çizelge 2.13.	Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırması	41
Çizelge 2.14.	Farklı yörelere ait bazalt kayaçların kimyasal bileşenleri	42
Çizelge 2.15.	Diyarbakır bazaltının kimyasal bileşenleri	47
Çizelge 2.16.	Gözenekli ve gözeneksiz bazaltın tek eksenli basınç dayanımı	48
Çizelge 2.17.	Gözenekli ve gözeneksiz bazaltın çekme dayanımı	49
Çizelge 2.18.	Bazalt ve kalkerin fiziko-mekanik ve ısıl özellikleri	52
Çizelge 2.19.	Ülkelerin yıllık hazır beton üretimi	53
Çizelge 3.1.	Bağlayıcı malzemelerin kimyasal analiz sonuçları	57
Çizelge 3.2.	Diyarbakır bazaltı kimyasal analiz sonuçları	58
Çizelge 3.3.	Blaine deneyi sonuçları	59
Çizelge 3.4.	Elek analizi sonuçları	60
Çizelge 3.5.	Deney agregası bazı özellikleri	61
Çizelge 3.6.	Agreganın LA Aşınma deneyi sonuçları	62
Çizelge 3.7.	Çimentonun analiz sonuçları	63
Çizelge 3.8.	Suyun kimyasal analiz sonuçları	64

Çizelge 3.9. Malzemelerin özgül ağırlık değerleri 65

Çizelge 3.10. Beton karışım miktarı 66

Çizelge 3.11. 1 m^3 betonun bağlayıcı malzeme maliyeti 67

Çizelge 4.1. Slump Deneyi Sonuçları 67

Çizelge 4.2. 7 gün sonunda sertleşmiş beton test sonuçları 73

Çizelge 4.3. 28 gün sonunda sertleşmiş beton test sonuçları 74

Çizelge 4.4. 360 gün sonunda sertleşmiş beton test sonuçları 74

Çizelge 4.5. 7 günlük beton basınç değerlerinin karşılaştırılması 75

Çizelge 4.6. 28 günlük beton basınç değerlerinin karşılaştırılması 76

Çizelge 4.7. 360 günlük beton basınç değerlerinin karşılaştırılması 77

Çizelge 4.8. Dayanım değerlerinin karşılaştırılması 79

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Sırasıyla bağlayıcı malzemeler, silis dumanı , uçucu kül, çimento	2
Şekil 1.2.	a. Diyarbakır ili Dicle nehri havzasından agrega çekilmesi uydu görüntüsü 22/06/2013; b. Diyarbakır ili Dicle nehri havzasından agrega çekilmesi uydu görüntüsü 06/11/2014	3
Şekil 1.3.	a. Diyarbakır ili Dicle nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 11/06/2012 b. Diyarbakır ili Dicle nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 18/11/2016	4
Şekil 1.4.	a. Batman ili Dicle nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 08/05/2013 b. Batman ili Dicle nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 01/11/2015	4
Şekil 2.1.	Betonun fiziksel bozulma nedenleri	5
Şekil 2.2.	Betonun kimyasal bozulma nedenleri	7
Şekil 2.3.	Betonda sülfat etkisi	8
Şekil 2.4.	Topraktaki sülfat oranın yüksek olduğu Siirt bölgesinde Sülfat etkisinde betonarme yapılarda bozulmalar	8
Şekil 2.5.	Normal sıcaklıkta (~20 ^{o}C) ve 12 saat 100 ^{o}C'de kür gören betonlarda hacim artışı	11
Şekil 2.6.	Betonun yüksek ısıya maruz kalmasıyla monosülfatın C-S-H jelleri arasına yerleşmesi ve soğurken çevreden gelen nemin etkisiyle etrenjit oluşumunun şematik gösterimi	12
Şekil 2.7.	Türkiye'de ASR'ye neden olabileceği tespit edilmiş agregaların konumları	18
Şekil 2.8.	ASR' nin etkisi altında kalan betonlarda gözlenen bozulmalar. İzmir Adnan Menderes Havalimanı pist ve taksi yolu betonunda oluşna ASR çatlakları	19
Şekil 2.9.	a) 400x büyütülmüş masif ASR ürünü; b) 500x büyütülmüş yarı kristalin çatlamış ASR ürünü c) 2000x büyütülmüş gülsü ASR ürünü d) 500x büyütülmüş tabakalar halinde oluşan gülsü ASR ürünü.	21
Şekil 2.10.	İkamesiz kontrol örneklerinin SEM görüntüsü	23
Şekil 2.11.	%20 UK İkameli örneklerinin SEM görüntüsü	23
Şekil 2.12.	%20 SD İkameli örneklerinin SEM görüntüsü	24
Şekil 2.13.	Alkali- genleşme ilişkisi	25
Şekil 2.14.	Puzolanların kökenini temel alan sınıflandırma	30
Şekil 2.15.	Uçucu küllerin oluşturduğu atık yığın	32
Şekil 2.16.	Uçucu külün termik santrallerden elde edilmesi	33

Şekil 2.17. Bazaltların sınıflandırılması 44

Şekil 2.18. Bazaltın Diyarbakır'da yayılışı 45

Şekil 2.19. Diyarbakır-Karacadağ bazalt numunelerin alındığı bölgeler 46

Şekil 2.20. Diyarbakır taşının Le Maitre (1989) sınıflandırması 47

Şekil 2.21. Numunelerin aşınma kaybı yüzdelerinin bölgelere göre değişimi 50

Şekil 2.22. Diyarbakır bazalt taşları üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları 50

Şekil 2.23. Silindirik numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları 51

Şekil 2.24. Türkiye'deki yıllara göre hazır beton üretimi 53

Şekil 2.25. Türkiye'de üretilen beton sınıfının yıllara göre dağılımı 55

Şekil 2.26. Taramalı elektron mikroskopunun görüntüleme prensibi 56

Şekil 2.27. Beton numunesinin hidratasyon ürünlerinin SEM görüntüsü 56

Şekil 3.1. Deneysel çalışma 57

Şekil 3.2. Blaine Deney Aleti 59

Şekil 3.3. Bazalt Numunesinin Alındığı Bölge 60

Şekil 3.4. Deneyde kullanılan agreganın gradasyon eğrisi 61

Şekil 3.5. a. Los Angeles Aşınma deney aleti b. Aşınmaya maruz agreganın 1,6 mm Elekten elenmesi c. Elekten geçen aşınmış agrega 62

Şekil 3.6. 90 gün sonunda sülfat küründe ve su küründe bekletilen numuneler 65

Şekil 4.1. a) Mineral Katkısız Betonun Slump Deneyi b) Uçucu Kül İkameli Betonun Slump Deneyi 67

Şekil 4.2. 28 gün sonunda su küründe bekletilen mineral katkısız numuneler 68

Şekil 4.3. 28 gün sonunda su küründe bekletilen uçucu kül ikameli numuneler 68

Şekil 4.4. 28 gün sonunda su küründe bekletilen silis dumanı ikameli numuneler 68

Şekil 4.5. 28 gün sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız numuneler 69

Şekil 4.6. 28 gün sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli numuneler 69

Şekil 4.7. 28 gün sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli numuneler 69

Şekil 4.8. 360 gün sonunda su küründe bekletilen mineral katkısız numuneler 70

Şekil 4.9. 360 gün sonunda su küründe bekletilen uçucu kül ikameli numuneler 70

Şekil 4.10. 360 gün sonunda su küründe bekletilen silis dumanı ikameli numuneler 70

Şekil 4.11. 360 gün sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız numuneler 71

Şekil 4.12. 360 gün sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli numuneler 71

Şekil 4.13. 360 gün sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli numuneler 71

Şekil 4.14. a) Test çekici (Schmidt) b) Beton basınç aleti 72

Şekil 4.15. 7 günlük beton test çekici basınç değerleri 75

Şekil 4.16 28 günlük beton test çekici basınç değerleri 75

Şekil 4.17. 7 günlük beton basınç değerleri 76

Şekil 4.18. 28 günlük beton basınç değerleri 77

Şekil 4.19. 365 günlük basınç dayanım değerleri 78

Şekil 4.20. Su kürü ve sülfat çözeltisinde 7 , 28 ve 365 gün basınç dayanım değerleri 79

Şekil 4.21. Su küründe bekletilen numunelerin sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin dayanımları arasında yüzdelik kayıplar 79

Şekil 4.22. 365 günlük basınç değerlerinin 28 gün değerlerine oranı 80

Şekil 4.23. Numunelerin su kürü ağırlık ortalamaları 81

Şekil 4.24. Numunelerin sülfat çözeltisinde ağırlık ortalamaları 82

Şekil 4.25. Numunelerin SEM cihazına bırakılması 84

Şekil 4.26. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri 85

Şekil 4.27. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri 86

Şekil 4.28. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri 87

Şekil 4.29. 90 gün su kürü sonunda uçucu kül ikameli beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri 88

Şekil 4.30. 90 gün su kürü sonunda uçucu kül ikameli beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri 89

Şekil 4.31. 90 gün su kürü sonunda uçucu kül ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri 90

Şekil 4.32. 90 gün su kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri 91

Şekil 4.33. 90 gün su kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri 92

Şekil 4.34. 90 gün su kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri 93

Şekil 4.35. Numunelerin su küründeki görüntülerinin karşılaştırılması 94

Şekil 4.36. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri 95

Şekil 4.37. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri 96

Şekil 4.38. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri 97

Şekil 4.39. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri 98

Şekil 4.40. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri 99

Şekil 4.41. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri 100

Şekil 4.42. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli beton numunesinin 60x,250x SEM görüntüleri 101

Şekil 4.43. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli beton numunesinin 800x,1500x SEM görüntüleri 102

Şekil 4.44. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri 103

Şekil 4.45. Numunelerin sülfat çözeltisindeki görüntülerinin karşılaştırılması 103

KISALTMA VE SİMGELER

YFC	:	Yüksek fırın cürufu
UK	:	Uçucu kül
SD	:	Silis dumanı
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
ASR	:	Alkali silika reaksiyonu
C_2S	:	Dikalsiyum silikat ($2CaOSiO_2$)
C_3S	:	Trikalsiyumsilikat ($3CaOSiO_2$)
C_3A	:	Trikalsiyum alüminat ($3CaOAl_2O_3$)
C_4AF	:	Tetrakalsiyum alüminoferrit ($4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$)
NS	:	Sodyum sülfat (Na_2SO_4)
MS	:	Magnezyum sülfat ($MgSO_4$)
$C_6AS_3H_{32}$	:	Etrenjit ($6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32H_2O$)
CSH_2	:	Alçıtaşı ($CaSO_4.2H_2O$)
CH	:	Kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$)
C-S-H ($C_3S_2H_3$)	:	Kalsiyum silika hidrat jel ($xCaOSiO_2.yH_2O$)
MH	:	Brusit ($Mg(OH)_2$)
M-S-H	:	Magnezyum silika hidrat ($xMgO.SiO_2.yH_2O$)
C_3SSCH_{15}	:	Tomasit ($3CaO.SiO_2.SO_3CO_2.15H_2O$)
NH	:	Sodyum hidroksit (NaOH)
C C	:	Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$)
ASTM	:	Amerikan standartları
ACI	:	Amerikan beton enstitüsü
TSE	:	Türk standartları enstitüsü
TÇMB :	:	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
c	:	Konsantrasyon
cs	:	Doygunluk konsantrasyonu
g	:	Gram
lt	:	Litre
kg	:	Kilogram
Mpa	:	Mega paskal

1. GİRİŞ

Beton hacminin yaklaşık %70-75'ini agregalardan oluşur. Beton agregası olarak genellikle kalker, dolomit ve kireç taşı tercih edilir. Türkiye Hazır Beton Üreticilerinin 2014 yılı verilerine göre yıllık beton üretimi dünyada kişi başına yaklaşık 0.70 m^3, Türkiye'de ise her yıl artarak yaklaşık 1.27 m^3 olduğu ifade edilmektedir. Betonun dünyada bu denli yaygın kullanılan yapı malzemesi olduğu düşünüldüğünde beton üreticilerinin ekonomik sorunlarının başında hammadde olarak kullanılan agreganın sağlanmasıdır. Bu yüzden alternatif kayaçlardan yararlanmak gereklidir. Eğer agregaların ocakları uzak ise yakın olan kayaçlardan yararlanmak gereklidir. Nispeten yüksek dayanımlı ve sert olan, yeryüzünde bol miktarda bulunan, eski yapılarda yıllarca başarılı olarak kullanılan bazaltın beton agregası olarak kullanılması tercih edilebilir (Erguvanlı 1983). Bazaltın agrega olarak kullanılabilmesi için TS 706 şartnamesini yerine getirmesi uygun granülometriye, aşınma ve dona dayanıklı olması gerekmektedir. Kil, silt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeler içermemelidir (Önen 1992), (Erdoğan 2002).

Bazalt agregalı betonlar üzerinde 20. yüzyıl ortalarından itibaren yapılan çalışmalarda bazalt kayaçların başka kayaçlardan üstün olan nitelikleri olduğu saptanmıştır. Bazaltın, ısı iletimi, ısı iletim hızı ve termik genleşme katsayısı gibi özellikleri başka kayaçlara göre daha düşüktür. Sıcaklık artışı, soğuma sırasında çatlak oluşumu gözlenmemiştir (Mitchell 1956), (Walker ve ark. 1952), (Zoldners 1960). Basınç deneylerinde, bazalt agregalı betonun, tercih edilen kalker agregalı betonlardan çok daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, bazalt kayacın su emme ve boşluklarının da düşük değerde olduğu tespit edilmiştir (Pek 2014).

Esas olarak feldspattan oluşan bazalt, doğal taşlar sınıflandırmasında volkanik kayaçlar arasında yer almaktadır. Doğada koyu gri ve siyah renkte bulunan bazalt Türkiye'de Diyarbakır ve Afyon illeri ile Trakya bölgesinde değişik özelliklerde yaygın olarak bulunmaktadır (Yıldız ve ark. 2008).

Beton üzerinde yapılan araştırmalarda, betonun basınç dayanımı ile malzemenin muhtelif özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve betonun diğer mekanik özelliklerinin basınç dayanımı ile çoğunlukla aynı eğilimde olduğu gözlemlenmiştir (Erdal 2002).

Betonu geliştirmek için yapılan çalışmaların başında dayanım ve dayanıklılık problemleri gelmektedir. Olumsuz çevre koşulları devreye girdiğinde basınç dayanımının yanı sıra, betonda durabilite (dayanıklılık) kavramı da ön plana çıkmaktadır. Özellikle bir deprem ülkesi olan Türkiye'de yapıların maruz kalacağı olumsuz çevresel şartlar nedeniyle beton içindeki donatının korozyonu gibi istenmeyen durumların önüne geçilmesinde durabilitesi yüksek betonların üretimi önem kazanmaktadır.

Betonun dayanımı ve dayanıklılığının artırılması yönünde birçok çalışma vardır. Beton karışımına mineral katkılar kullanımı bu yöntemlerden biridir. Mineral katkılar uygun oranlarda kullanıldıklarında betonun mekanik özeliklerinin ve durabilitesinin arttırılmasında etkin rol oynamaktadırlar (Douglas 1987). Mineral katkılar endüstriyel yan ürün ya da atık olarak bilinmektedir. Mineral katkılar yüksek fırın cürufu (YFC), Şekil 1.1'de görülen silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) olarak adlandırılır. Mineral katkıların betonun dayanımı ve dayanıklılığı ile ilgili ilk çalışma ve araştırmalar YFC için 1800'lü, UK için 1930'lu, SD içinse 1940 yılların sonunda başlanmıştır (Lewis 2003). Türkiye'deki çalışmalar ise YFC ve UK için 1950'lerin sonuna, SD içinse 1980'li yıllara dayanmaktadır (Tokyay ve Erdoğdu 2007). Şekil 1.1.'de çeşitli mineral katkılar ve çimento birlikte gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Sırasıyla bağlayıcı malzemeler, silis dumanı , uçucu kül, çimento

Yüksek dayanımıyla bölgedeki eski yapılarda taşıyıcı eleman olarak sıkça kullanılan Karacadağ bazaltını yapı endüstrisinde en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton sektöründe kullanılabilirliği önemlidir.

Bu çalışmada betonun dayanımını ve dayanıklılığı artırmak için beton agregası olarak Diyarbakır Karacadağ kırma bazaltı ve çeşitli sanayi yan ürünü olan atıl durumdaki mineral katkılar (Uçucu kül, Silis Dumanı) kullanılmıştır. Uygun karışım oranlarının belirlenebilmesi ve Diyarbakır bazaltının kimyasal ve fiziksel deneyleri sonucu beton karışımında kullanılabilirliğinin tespiti amacıyla bu çalışma önem kazanmıştır.

Ayrıca Diyarbakır bazaltını beton sektöründe kullanılmasıyla akarsu kenarlarından alınan agregaların önüne geçilmesi, akarsu ve dere yataklarının bozulması engelleneceği gibi bazalttan temizlenen arazilerin tarıma açılmasına da fayda sağlayacaktır. Dicle Nehrinin Diyarbakır ili sınırlarındaki yatağından dere agregası alınması sonucu oluşan tahribat Google Earth ile görüntüleri Şekil 1.2. ve Şekil 1.3.'te verilmiştir.



Şekil 1.2.a. Diyarbakır ili Dicle Nehri havzasından agrega çekilmesi uydu görüntüsü 22/06/2013
b. Diyarbakır ili Dicle Nehri havzasından agrega çekilmesi uydu görüntüsü 06/11/2014

Şekil 1.2.a.'da Google Earth tarafından 2013 Haziran ayında çekilen görüntüde agrega temini için hazırlanan taş ocağı görülmektedir. Şekil 1.2.b.'de 2014 Kasım ayında nehir yatağındaki tahribat görülmektedir.



Şekil 1.3.a. Diyarbakır ili Dicle Nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 11/06/2012
b. Diyarbakır ili Dicle Nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 08/11/2016

Agrega temini sırasında nehir yataklarındaki bozulma durumu Türkiye'de birçok nehir yatağında görülmektedir. Dicle Nehrinin yatağının Batman ili sınırları içerisinde ki bozulma Şekil 1.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4. a. Batman ili Dicle Nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 08/05/2013
b. Batman ili Dicle Nehri havzasındaki tahribat uydu görüntüsü 01/11/2015

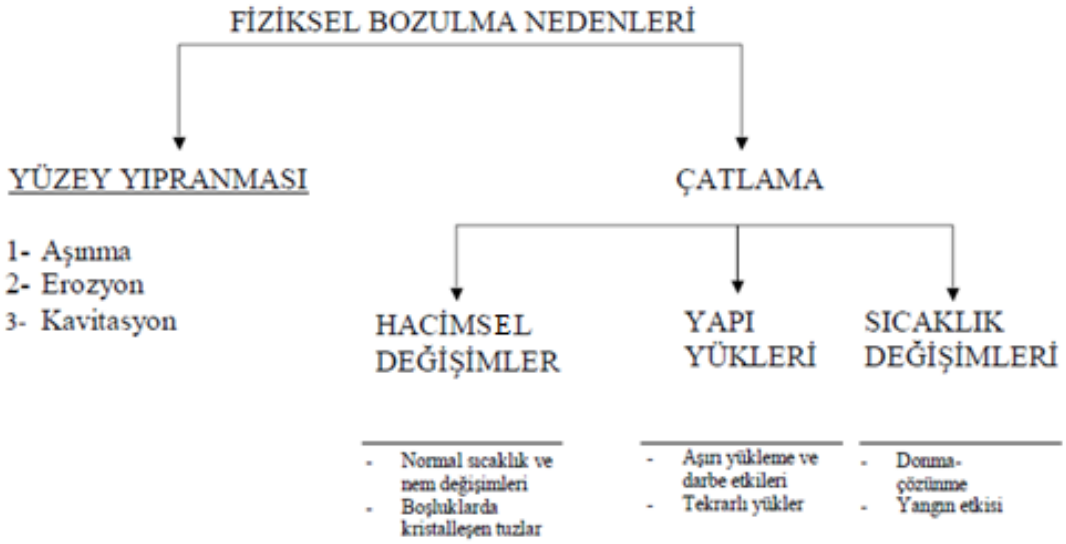
2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Betonun Bozulma Mekanizmaları

Diğer malzemelerde olduğu gibi betonda fiziksel, kimyasal, elektrokimyasal ve biyolojik etkiler sonucu bozulabilir. Beton bu bozulma mekanizmaların tümüne aynı anda maruz kalabilir.

2.1.1. Betonun Fiziksel Bozulma Nedenleri

Betonun fiziksel bozulmasına neden olan temel faktörler şematik olarak aşağıdaki Şekil 2.1.'deki gibi verilebilir (Baradan ve ark. 2002).



Şekil 2.1. Betonun fiziksel bozulma nedenleri

Sertleşmiş çimento hamurunun sürtünme etkisine karşı direnci yüksek değildir. Tekrarlı sürtünme etkisi durumunda özellikle çimento hamurunun porozitesi yüksek ve/veya dayanımının düşük olması durumunda ve aşınma dayanımı düşük agrega kullanıldığında betonun ömrü oldukça kısalabilir. Betonda aşınmaya dayanıklı yüzeyler elde etmek için basınç dayanımının 28 MPa altına düşmemesi gerekir (Cilason ve Aksoy 2000).

Su içinde taşınan kütlelerin betona çarparak ve sürtünerek yüzeyde oluşturdukları erozyon hızı; poroziteye, betonun dayanımına, su içerisinde yüzen kütlelerin miktarına, büyüklüğüne, biçimine, yoğunluğuna, sertliğine ve taşınma hızına bağlıdır. Şiddetli erozyon ve aşınmaya maruz betonda sert agrega kullanılmalı ve basınç dayanımı 48 MPa ve üzerinde olmalıdır (Cilason ve Aksoy 2000).

Aşınma, erozyon ve kavitasyon, betonun yüzeyinde meydana gelen fiziksel bozulma mekanizmaları olduğu için beton yüzeylerinin yüzey kalitesinin iyi olmasıyla yakından ilişkilidir. Betondaki bu etkilerinin azaltılması için beton yüzey kalitesinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

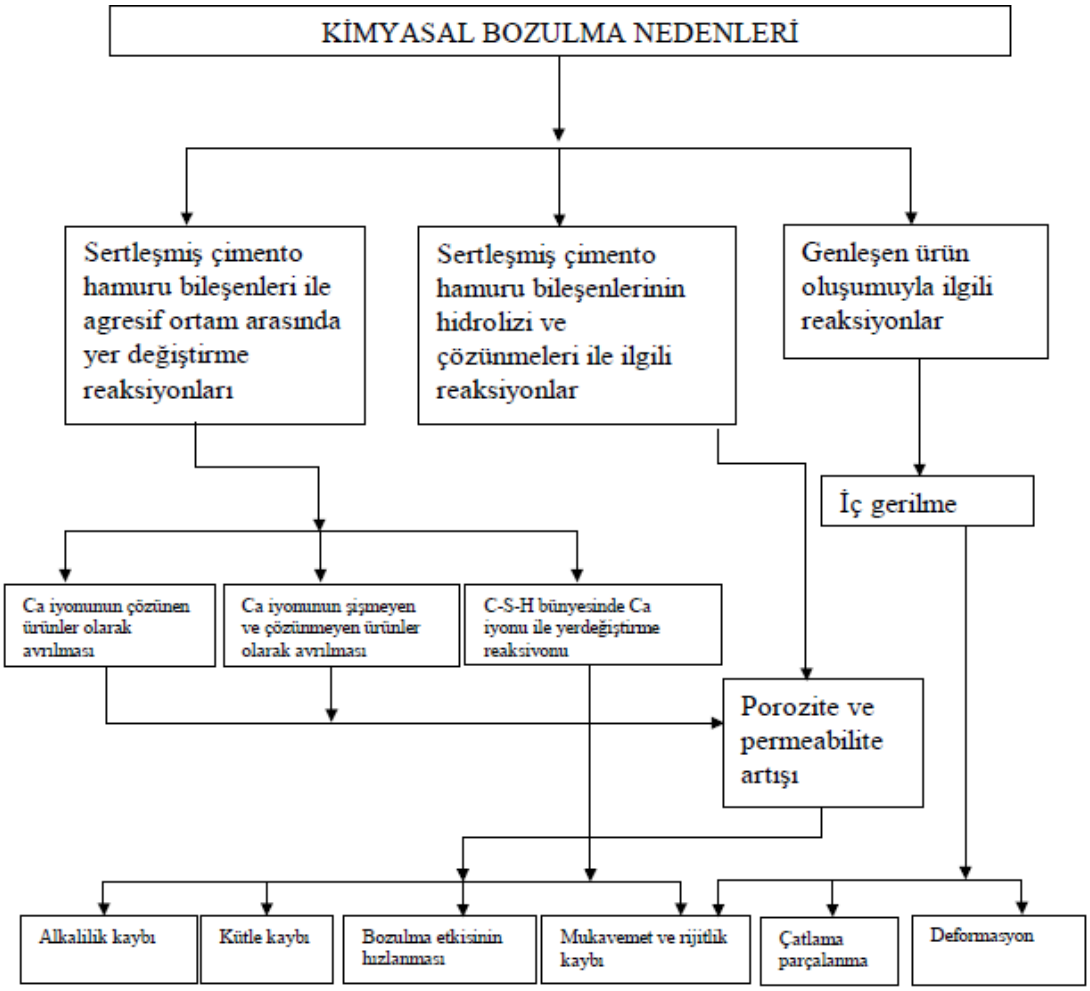
Betonun boşluklarında oluşan özellikle sodyum sülfat, magnezyum sülfat, potasyum nitrat ve kalsiyum klorür tuzları gibi tuz kristalleri meydana getirdiği hacim artışı betonun çatlaması ve parçalanması gibi fiziksel etki biçiminde betonda hasarlara sebep olabilir. Aynı don etkisinde olduğu gibi boşluklarda meydana gelen hacimsel genleşmeler betona zarar verir (Cilason ve Aksoy 2000).

2.1.2. Betonun Kimyasal Bozulma Nedenleri

Betonun kimyasal olarak bozulmasında dış ortamdan gelen zararlı maddelerin çimento hidratasyon ürünleriyle kimyasal olarak reaksiyona girmesi veya beton üretimi sırasında betonun bileşenleri çimento, agrega ve suda bulunan maddelerin uygun koşullarda birbirleriyle reaksiyona girmeleri ile oluşmaktadır.

Çimento hamuru, bünyesinde yüksek miktarda Na^+, K^+ ve OH^- iyonlarının bulunmasından dolayı bazik karakteristiğe sahiptir. Bu nedenle asidik ortamla karşılaştıklarında değişik kimyasal reaksiyonlara girme eğilimi gösterir. Beton pH değeri 12.5'ten düşük olan ortamlarda kimyasal reaksiyonlara girme eğilimlidir. Bu reaksiyonlar betonun bünyesindeki bağlayıcılık özelliğini sağlayan kalsiyumun bünyeden çözünüp uzaklaşmasına, bünyede hacim artırıcı ve su ile ayrışıp uzaklaşabilen ürünlerin oluşmasına neden olmak suretiyle betona zarar verirler. Kimyasal reaksiyonun ilerlemesinde betonun geçirimliliği önemli rol oynamaktadır. Geçirimliliği yüksek ve pH değeri 6'nın altındaki betonlarda kimyasal etkinin hızı oldukça yüksektir. Yumuşak sularda ve durağan suda bulunan CO_2, yeraltı suyu ve deniz suyundaki SO_4^{2-} iyonu ve Cl^- gibi asidik sular ile bazı endüstriyel sulardaki H^+ iyonu pH değerinin 6'nın altına düşmesine neden olur. Böylece betonun kimyasal reaksiyona girme eğilimi daha da artar. Kimyasal reaksiyonlar permeabiliteyi ve poroziteyi artırarak fiziksel bozulma mekanizmalarını da harekete geçirir. Fiziksel ve kimyasal bozulma mekanizmaları birlikte hareket ederek betonun çatlamasına, parçalanmasına, dayanımının ve

dayanıklılığının zamanla azalmasına neden olurlar. Betonun kimyasal bozulma mekanizması Şekil 2.2.' deki gibidir (Baradan ve ark. 2002).

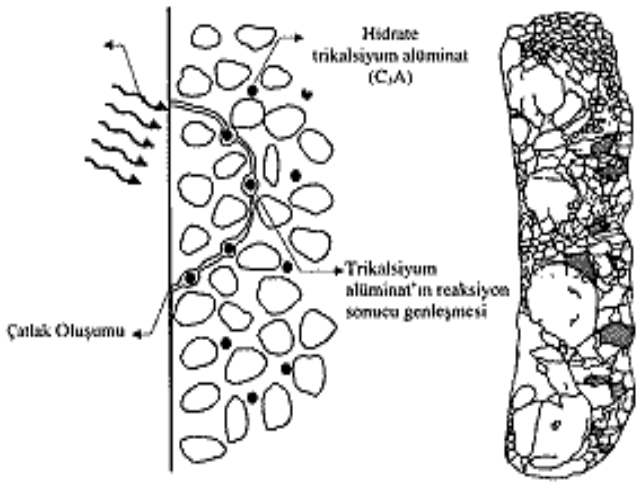


Şekil 2.2. Betonun kimyasal bozulma nedenleri

2.1.2.1.Sülfat Etkisi

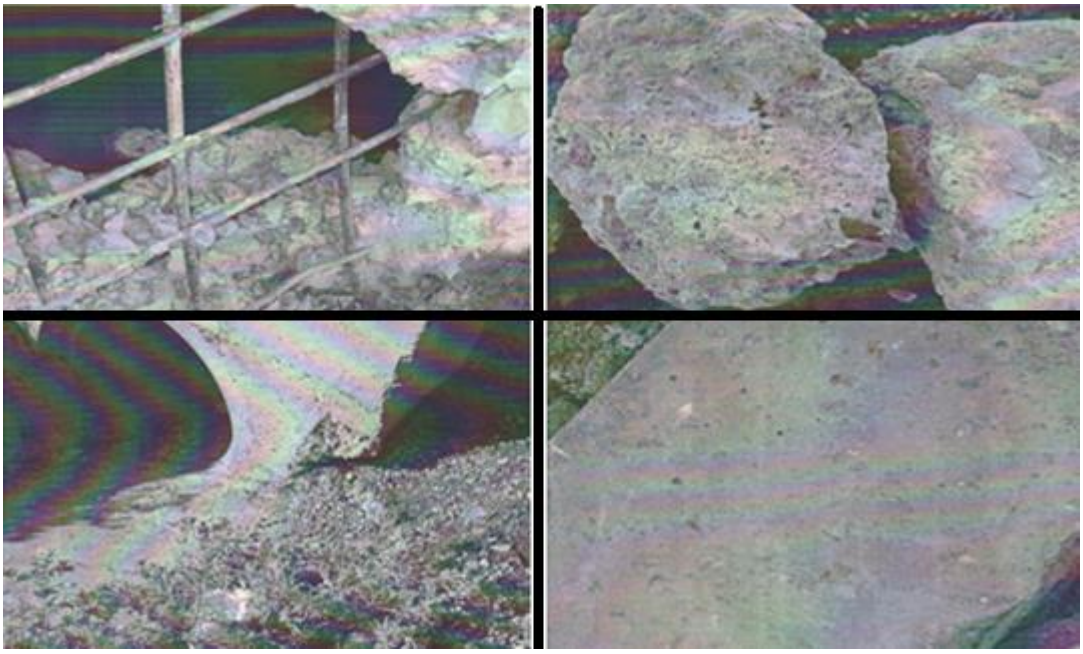
Betonda dayanıklılık problemin nedenlerinde biri sülfat etkisidir (Skalny ve ark. 2002), (Nehdi ve Hayek 2005). Genellikle topraktan, yer altı suyundan, yağmur suyundan, atık sulardan ve deniz suyundan gelen sülfat iyonları beton yüzeyinden nüfus ederek çimentodaki C_3A ile reaksiyonu sonucu yan ürünler oluşturur. Bu yan ürünle oluşan boşluk betonun dayanımını düşürmektedir.

Sülfatın iyonları betonun boşluk yüzeylerinden betonun içine doğru nüfus ederek betona çimentondan gelen C_3A bileşeniyle oluşturduğu reaksiyon sonucu hacimsel boşlukların oluşması ile betonda bozulmalar gerçekleşir. Sülfatın betona etkisi Şekil 2.3.'teki gibidir.



Şekil 2.3. Betonda sülfat etkisi (Baradan 2002).

Sülfat etkisine maruz betonun karakteristik görünümü, genellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm yüzeye yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülmektedir (Karaşin ve Doğruyol 2014). Sülfat etkisine maruz kalmış beton ve betonarme yapılarda oluşan bozulmalar Şekil 2.4.'te gösterilmiştir (Karaşin ve Doğruyol 2014). Sülfat etkisi iç kaynaklı ve dış kaynaklı olmak üzere iki gruba ayrılabilir.



Şekil 2.4. Topraktaki sülfat oranın yüksek olduğu Siirt bölgesinde Sülfat etkisinde betonarme yapılarda bozulmalar

-İç Kaynaklı Sülfat Etkisi

İç kaynaklı sülfat etkisinde betona dış ortamdan sülfat gelmemektedir. Betonu oluşturan çimento, agrega, su ve katkı gibi malzemelerden gelen sülfat iyonlarının uygun ortam şartlarında sertleşmiş betonda etrenjit kristalleri oluşturmasına iç kaynaklı sülfat etkisi denilmektedir. Çimentodaki ani prizini önlemek amacıyla %3 ile %6 oranında katılan alçıtaşı ana sülfat kaynağıdır. İç sülfat etkisiyle oluşan etrenjit kristalleri betonda hacim artışı meydana getirebilir, bunun oluşturacağı iç basınç etkisiyle de betonun çatlamasına sebep olabilir. Çatlak gelişimi ve betondaki fiziksel ve kimyasal bozulma mekanizmalarının birlikte hareketiyle betonun dayanıklılığı azalır (Casanova ve ark 1997), (Skalny ve ark. 2002), (Collepardi 2003), (Ustabaş 2008).

-İç Kaynaklı Sülfat Etkisinin Oluşum Türleri

İç kaynaklı sülfat etkisi iki kısma ayrılır. Bunlardan birincisi normal sıcaklık altındaki beton ve harçlarda meydana gelen iç kaynaklı sülfat etkisidir. İkincisi beton üretimi sırasında buhar kürü gibi yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlardaki iç kaynaklı sülfat etkisidir (Ustabaş 2008).

-Normal Sıcaklık Altında İç Kaynaklı Sülfat Etkisi

Batic ve ark. (2000) ve Collepardi (2003) yaptıkları çalışmalarda mikro yapısal incelemelerde normal betonlarda değişik ortam şartları içinde betonun sertleşmesinden sonra yeni etrenjit kristallerinin oluştuğunu gözlemişlerdir. Literatürde betonun sertleşmesinden sonraki etrenjit oluşumu ikincil etrenjit oluşumu olarak adlandırılır. İkincil etrenjit yavaş gelişen bir reaksiyon ürünü olduğu ve zaman içinde yüksek oranda sülfat bulunduran betonlar için büyük gerilme artışıyla genleşmeler oluşturduğu ve betonda bozulmaya neden olduğu bilinmektedir (Collepardi 2003).

Betonun üretimi sırasında çimento ürünleriyle suyun reaksiyonu sonucu çimentodaki alüminlerle sülfat iyonlarının reaksiyonu sonucu oluşan etrenjit ise birincil etrenjit olarak adlandırılır. Hidratasyon olayı sırasında arta kalan SO_3 ve Al_2O_3 beton sertleştikten sonra uygun çevre şartları altında kimyasal reaksiyonlara girerek etrenjit oluşturabilirler (Collepardi 2003), (Skalny ve ark. 2002), (Batic ve ark. 2000). Betona çimento ile birlikte katılan sülfatlar, alitlerle (C_3A ve CA) ve az kısmı da feritlerle (C_4AF) reaksiyona girerek tüketilirler. Aşırı miktardaki sülfat iyonları sertleşmiş beton

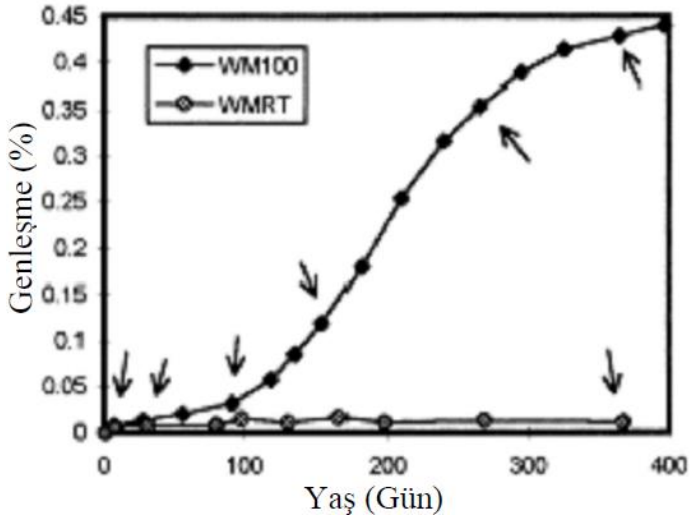
hidratasyon ürünü kristalleri arasında kalarak sonradan gelen suyun etkisiyle yavaşça çözünerek yeni etrenjit grupları oluşturabilir (Skalny ve ark. 2002).

Taylor ve ark. (2001) çalışmasında beton üretimi sırasında yüksek ısıya maruz kalmaması durumunda iç kaynaklı sülfat atağı sonucunda betonda hacim artışı meydana gelmeyeceği ifade edilmiştir.

-Yüksek Sıcaklıkta Kür Gören Betonlarda İç Kaynaklı Sülfat Etkisi

Betonun üretimi sırasında ortamdaki yüksek sıcaklıktan veya betonun hidratasyonu ile açığa çıkan ısıdan kaynaklı oluşan sülfat etkisidir. Beton üretimi sırasında yüksek sıcaklıkta küre ve nemli ortamlara maruz betonlarda iç kaynaklı sülfat atağı ile etrenjit oluşmaktadır. Buhar kürü gibi yüksek sıcaklıkta sülfat etkisi ile oluşan etrenjit jeli literatürde gecikmiş etrenjit olarak anılmaktadır. Bu etrenjit oluşumu betonda hacim artışına ve çatlaklara sebep olmaktadır (Collepardi 2003), (Skalny ve ark. 2002).

Yang ve Lawrence (1999) çalışmasında yüksek ısı kürüne maruz kalmayan betonlarda hacim artışı sonucu çatlak oluşmadığını, ısı kürü uygulanan betonlarda ilk zamanlarda etrenjit kristallerine fazla rastlanmadığını, ısıl kürü takiben oda sıcaklığında suda bekletilen numunelerde dokuz gün sonra etrenjit kristallerinin hamurda ve ara yüzeylerde gelişmeye başladıklarını ve 155 gün sonra da iyi gelişmiş etrenjit iğnelerinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Yang ve Lawrence (1999) çalışmasında Şekil 2.5.' teki grafikteki değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2.5. Normal sıcaklıkta (~20 ^{o}C) ve 12 saat 100 ^{o}C'de kür gören betonlarda hacim artışı (Yang ve Lawrence 1999).

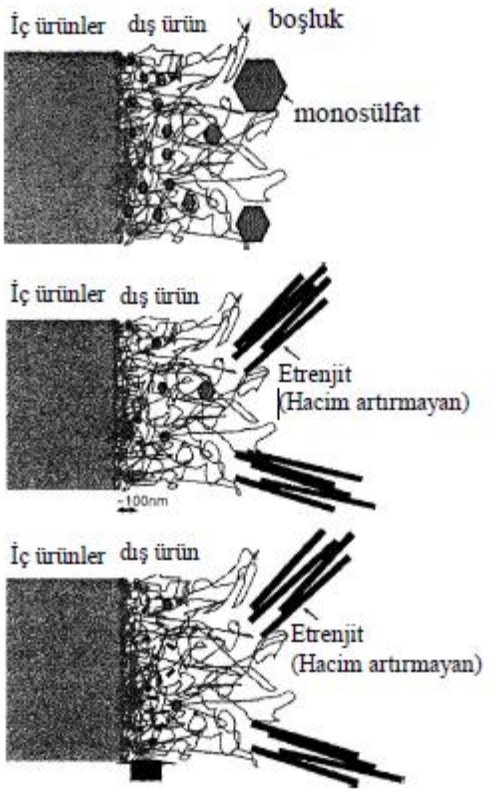
Şekildeki iki harç numunesinden 100^{o}C'de kür uygulanan numunede fazla miktarda hacim artışı meydana gelirken 20^{o}C'de bakım uygulanan numunede belirgin bir hacim Genleşme (%) Yaş (Gün) artışı olmamaktadır. 100^{o}C'de 12 saat kür uygulanan numunelerde dokuz gün içinde hacim artışının başladığı ve bir yılda tamamlandığı görülmektedir. Oda sıcaklığında kür uygulanan numunelerde oluşan etrenjitin çoğunun hidratasyon sırasında meydana geldiği, yüksek sıcaklıkta kür uygulanan numunelerde hemen etrenjitin görülmediği tespit edildi. Yüksek sıcaklıkta kür uygulanan numunelerde yedi gün sonra oda sıcaklığında su içinde bekletildiği zaman gecikmiş etrenjit oluşumu görülmeye başlandı (Skalny ve ark. 2002), (Taylor ve ark. 2001).

İç kaynaklı sülfat etkisinde gecikmiş etrenjit oluşumu sırasında ana reaksiyonlar C-S-H jelinden, monosülfatlardan ve gözenek çözeltisinden kaynaklanmaktadır. C-S-H reaksiyona Ca^{2+}, SO_4^{2-}, OH^-, H_2O; monosülfatlar reaksiyona Ca^{2+}, SO_4^{2-}, OH^-, $Al(OH)_4$, H_2O; gözenek çözeltisi de H_2O ve SO_4^{2-} sağlamaktadır. Bu ürünlerle birlikte gelişen reaksiyon sonucunda etrenjit oluşmaktadır (Taylor ve ark. 2001). Söz konusu reaksiyon ile etrenjit oluşumu ($Ca_6[Al(OH)_6]_2(SO_4)_2.26H_2O$) denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$6Ca^{2+} + 2Al(OH)^{4-} + 4OH^- + 3SO_4^{2-} + 26H_2O \rightarrow Ca_6[Al(OH)_6]_2(SO_4)_2.26H_2O \quad \textbf{(1)}$$

Beton üretimi sırasında buhar kürü uygulanması durumunda yüksek sıcaklığa maruz kaldığında etrenjit kristallerinin oluşmasına neden olan monosülfatlar C-S-H jellerinin dış kısım ürünlerinin arasına yerleşmektedir. Beton üretimi sonrası normal

sıcaklıkta dışardan gelen nemin etkisiyle C-S-H jelinin dış kısmında yerleşen monosülfatlar yavaşça harekete geçerek Şekil 2.6.'daki etrenjit kristalleri oluşturmaya başlamaktadır (Skalny ve ark. 2002), (Taylor ve ark. 2001).



Şekil 2.6. Betonun yüksek ısıya maruz kalmasıyla monosülfatın C-S-H jelleri arasına yerleşmesi ve soğurken çevreden gelen nemin etkisiyle etrenjit oluşumunun şematik gösterimi

-Dış Kaynaklı Sülfat Etkisi

Dış kaynaklı sülfat etkisi, sertleşmiş betona dış kaynaklardan gelen sülfat iyonunun çimento hidratasyon ürünleriyle kimyasal olarak reaksiyona girmesi biçiminde tanımlanmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda betonda yeni bazı ürünler meydana gelir. Oluşan yeni ürünler betonda hacim artışı, kohezyon kaybı, kütle kaybı gibi oluşumlara ilaveten çatlamaya da neden olabilmektedir ve betonun servis ömrünü düşürmektedir (Diamond ve Lee 1999), (Skalny ve ark. 2002), (Santhanam ve ark. 2003).

En yaygın dış sülfat kaynağı yeraltı suyudur. Göl ve nehir suları da dış kaynaklı sülfat atağına sebep olabilecek miktarda sülfat içerebilirler. Endüstriyel atık suları ve tarım sahalarındaki toprakta kullanılan gübrede sülfat etkisine neden olabilir (Skalny ve ark. 2002).

Bir diğer dış kaynaklı sülfat etkisi topraktaki sülfat iyonlarıdır. Sülfat sınır değerlerini aşkın toprağın betona teması sonucu sülfat iyonları ile betondaki çimentonun kimyasal tepkimesi ile oluşan jel, betonda hacimsel genleşmelere bağlı olarak yüzeysel kılcal çatlaklar ve bozulmalar oluşturur (Karaşin ve Doğruyol 2014). TS 12457–4 standartlarına göre toprakta bulunması gereken sülfat sınır değerleri ve Siirt ilinin çeşitli bölgelerinden alınan toprak numunelerinin sülfat değerleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir (Karaşin ve Doğruyol 2014).

Çizelge 2.1. Sülfat parametrelerinin TS 12457–4 standartlarına göre karşılaştırılması

Analiz Edilen Noktalar	Parametreler (mg/l) Sülfat	TS 12457–4 Standartları (mg/l) Sülfat (Max 15)
Tillo–1	10.1	Uygun
Yeni mah.	9.8	Uygun
9051 Çakmak mah.	10.5	Uygun
8653 Çakmak mah.	13.8	Kritik
Şeyh Zeynep	12.3	Uygun
9313/1 Çakmak mah.	**15.1**	**Uygun değil**
STP 3	10.4	Uygun
STP 15	10.2	Uygun
STP 30	**15.4**	**Uygun değil**
SBH 2	13.8	Kritik

Sulardaki sülfat iyonları çoğunlukla alkalilerle ve kalsiyum katyonlarıyla birleşmiş olarak bulunur. Yani sülfat iyonu, doğada sodyum sülfat, potasyum sülfat, magnezyum sülfat ve kalsiyum sülfat şeklinde bulunur. Sülfürik asit (H_2SO_4) ve amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$) sülfat atağına sebebiyet veren sülfat iyonu bulunduran diğer kaynaklardır. Bu değişik türdeki sülfat kaynaklarında meydana gelen reaksiyonlar farklılıklar gösterir. Sülfat iyonunun bağlı olduğu iyona göre çimento hidratasyon ürünleriyle meydana gelen reaksiyon ürünleri de farklılıklar gösterir (Nehdi ve Hayek 2005).

Dış ortamda bulunan sülfat iyonları çimento hidratasyon ürünleriyle kimyasal reaksiyona girerek ortam şartlarına göre alçıtaşı, etrenjit ve tomasit oluşturmaktadır. Oluşan yeni ürünlerin meydana getirdiği ortak etki betonda hacim artışıdır (Collepardi

2003). Oluşan bu ürünler sabit kalmayarak sürekli değişimler gösterirler. Sonradan oluşan alçıtaşı, etrenjit ve tomasit oluşumuna neden olacak şekilde reaksiyonlara girer. Dış çevreden kaynaklanan bu üç ürün aşağıdaki şekilde verilebilir.

1- Sülfat etkisi sonucu CH ve C-S-H'da alçı oluşumu

$$\begin{matrix}\text{CH}\\ \text{C-S-H}\end{matrix} \xrightarrow{H_2O} C\bar{S}H_2 \qquad (2)$$

Sülfat etkisinin hidratasyon ürünleri ile oluşan reaksiyon (2)'de gösterilen alçıtaşı yüzeye yakın kısımlarda özellikle de çatlak ve boşluklarda oluşur (Diamond ve Lee 1999). Alçı taşı betonda hacim artışlarına sebep olur. Bu hacim artışı betonda çatlaklara, parçalanmalara ve betonda dayanıklıklık ve kohezyon kaybına neden olabilir. Çimento hamurunun bağlayıcılık özelliğinden sorumlu C-S-H jelinden kalsiyumun ayrılması kohezyon kaybına sebebiyet vermektedir (Collepardi 2003).

2- Sülfat etkisi sonucu kalsiyum alümin hidratla (C-A-H) ve monosülfat hidratla ($C_3A.CS.H_{12-18}$) etrenjit oluşumu denklem (3) 'te gösterilmiştir.

$$\begin{matrix}C_3A.C\bar{S}.H_{12-18}\\ \text{C-A-H}\end{matrix} \xrightarrow[H_2O]{C\bar{S}H_2} C_3A.3C\bar{S}.H_{32} \qquad (3)$$

Bu reaksiyon sonucu oluşan etrenjit hacim artışına sebebiyet vererek betonun çatlamasına neden olur (Collepardi 2003).

3- Karbonat iyonunun bulunduğu ortamda C-S-H ve CH'ye sülfat etkisiyle tomasit oluşumu denklem (4)'te gösterilmiştir.

$$\begin{matrix}\text{C-S-H}\\ \\ \text{CH}\end{matrix} \xrightarrow[H_2O]{SO_4,\ CO_3} CS.C\bar{S}.C\,\bar{C}.H_{15} \qquad (4)$$

Denklem (4)'te tomasit oluşumu gösterilmiştir. Tomasit oluşumu nemli ve düşük sıcaklıkta artarken sıcaklık artışı ile yavaşlamaktadır (Irassar ve ark. 2000). Tomasit betonda çok ciddi mukavemet ve kohezyon kaybı yaratır (Thomas ve ark. 2003). C-S-H jellerinde önemli bozulmalara buna bağlı olarak beton dayanım kaybına uğrar.

-Magnezyum Sülfat ($MgSO_4$) Etkisi

Betona giren magnezyum sülfat ilk olarak kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek brusit ve alçıtaşı oluşturur.

$$Mg_2+ + SO_4^{2-} + Ca(OH)_2 + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + CaSO_4 2H_2O \quad \textbf{(5)}$$

Denklem (5)' te magnezyum sülfat atağına maruz betonda yüzeye yakın kısımda alçıtaşı ($CaSO_4 2H_2O$) ve brusit ($Mg(OH)_2$) ve oluşumu gösterilmiştir (Bonen ve Cohen 1992). Brusit ($Mg(OH)_2$) suda çözünürlüğü az olan bir ürün olup betondaki boşlukları doldurarak geçirimliliğin azalmasına neden olur. Kalsiyum sülfat ise suda çözünebilen bir üründür. Betondaki kalsiyum hidroksitin sülfat etkisi ile tükenmesi durumunda reaksiyon için gerekli Ca^{2+} iyonu C-S-H jellerinden sağlanmaya başlanır. C-S-H jelinde dekalsifikasyonun başlaması C-S-H jellerinin amorf hidrit silikaya (SiO_2.aq) veya zayıf kristal yapıya sahip magnezyum silika hidrata ($M_3S_2H_2$) ya da her iki ürüne birden dönüştürür. Bu ürünler yanında reaksiyon ilave alçıtaşı, brusit ve magnezyum silika hidrat oluşturur (Skalny ve ark. 2002).

$$xMg^{2+} + xSO_4^{2-} + x.CaO.SiO_2.aq + 3xH_2O \rightarrow x.CaSO_4.2H_2O + xMg(OH)_2 + SiO_2.aq \quad \textbf{(6)}$$

$$2xMg^{2+} + 2xSO_4^{2-} + 2[\, x.CaO.SiO_2.aq] + yH_2O \rightarrow 3MgO.2SiO_2.2H_2O + 2x[CaSO_4.2H_2O] + (2x-3).Mg(OH)_2 \quad \textbf{(7)}$$

(6) ve (7) nolu reaksiyonlar sonucunda C-S-H jelinin C/S oranında azalma olur. C/S oranı reaksiyonun ilk safhalarında betonun iç kısımlarında yüksek dış kısımlarında düşüktür. Magnezyum sülfat etkisi sürekli olarak devam etmesi durumunda C-S-H'daki Ca^{2+} iyonlarının Mg^{2+} iyonlarıyla tamamı yer değiştirerek yapıdaki C/S oranı sıfıra düşer (Skalny ve ark. 2002).

Beton magnezyum sülfat etkisine maruz kaldığında bağlayıcılık kazandıran C-S-H'ın bozulması diğer sülfat etkilerinden daha hızlı olduğu için betonda dayanıklılık kaybı daha fazla olur. Normal sıcaklıkta magnezyum hidroksitin çözünürlüğü yalnızca 0.01 g/lt olması çözeltinin pH değerinin 10.5 değerinde olmasını sağlar. C-S-H'ın stabil kalması için bu seviyedeki pH değeri çok düşüktür. Serbest kalsiyum hidroksitin tamamının tükenmesinden sonra ortamın pH değerini dengelemek için ortamda

magnezyum sülfat olduğu sürece C-S-H kalsiyum hidroksit üretmeye başlar. Böylece betonun C-S-H yapısı magnezyum silika hidrata, brusite ve alçıtaşına dönüşür. Magnezyum sülfat etkisi ile pH değerinin çok düşmesi durumunda kalsiyum alüminat sülfat (CAS) kısımlarda da bozulma olur. CAS'deki Ca^{2+} ve SO_4^{2-} iyonları yapıdan ayrılır (Skalny ve ark. 2002).

Magnezyum sülfat etkisini azaltmak için betonda silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi mineral katkı maddeleri kullanılmaktadır. Al-Amoudi (2002) çalışmasında mineral katkılardan silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun sodyum sülfat etkisinde betonun direncini artırdığı ancak magnezyum sülfat etkisinde doğrudan betondaki CH'i tükettiğinden betona nüfuz eden C-S-H jeli ile reaksiyona girerek betonun direncini azalttığını belirtilmiştir. Bu etkileşim nedeniyle magnezyum sülfat etkisinde katkılı çimento ile üretilen beton normal çimentolu betondan daha kötü performans göstermektedir. Santhanam ve ark. (2001) üretilen betonda optimum miktarda kullanılan mineral katkının betonun permeabilitesini azaltarak magnezyum sülfat etkisine karşı betonun direncinin artacağını belirtmektedir.

Biczok (1967) çalışmasında magnezyum sülfat konsantrasyonunun artması ile betonda hacimsel artış gösteren ürünlerin miktarınında artacağını belirtmiştir. Ortamda bulunan magnezyum sülfat konsantrasyonu düşük olduğunda (<4000 ppm SO_4^{2-}) daha çok etrenjit oluşurken, orta magnezyum sülfat konsantrasyonunda (4000-7500 ppm SO_4^{2-}) etrenjit ve alçıtaşı birlikte oluşmakta ve yüksek sülfat konsantrasyonda (>7500 ppm SO_4^{2-}) magnezyumun neden olduğu bozulmanın şiddetli olduğu görülmektedir.

2.1.2.2. Alkal-Silika Reaksiyonu (ASR)

Alkali silika reaksiyonu betonun bozulmasının önemli sebeplerinden biridir. Beton karışımında kullanılan agregalarda çört, opal, kristobalit, kalsedon kuartz ve trimit gibi bazı mineraller ve reaktif SiO_2 ile çimentoyu oluşturan Na_2O ve K_2O alkali hidroksitlerin reaksiyonu sonucunda betonda oluşan bozulmadır (Malvar ve ark. 2002), (Dogruyol ve Karasin 2016a). Betonda ASR etkisinde ilk bozulmalar Stanton tarafından 1940'lı yıllarında farkedilmiştir. Türkiye'de ise, betonda ASR ile ilgili ilk çalışmalar 1975 yılında yapılmıştır (Koçaçıtak 1975), ilk hasar ise 1995 yılında İzmir çevresindeki bazı köprü ayaklarında ve kütle betonlarında yaygın çatlakların gözlemlenmiştir (Ramyar 2013).

ASR sonucu oluşan alkali-silika jeli bünyesinde fazla miktarda su absorbe ederek hacimce %2-3 seviyesinde genişler, bu hacimsel genleşme sonucu beton şişer ve kılcal çatlaklara yol açar (DSİ 1974).

ASR'nin beton içerisinde bozulmasına neden olan etkenleri şöyle sıralanabilir.

1- Beton agregasında reaktif silis ve alkalitesi yüksek çimento,

2-Ortamda rutubet (bağıl nem oranın %80'in üstünde) olması gereklidir.

Bu etkenler bir arada olmazsa betonda ASR nedeniyle bir genleşme ve buna bağlı çatlaklar oluşmayacaktır. Betonda ASR'ye bağlı oluşan jel miktarı, agregadaki silikanın türü, miktarına ve çimentodaki alkali hidroksit miktarına bağlıdır. ASR'nin oluşturduğu reaksiyon iki aşamada gerçekleşir (DSİ 1974).

Alkali + Reaktif Silika → Alkali Silika Jel Ürünleri

Alkali Silika Jel Ürünleri + Rutubet → Genleşme

Rutubet, alkali iyonlarının yayılmasına ve ASR'nin daha etkin oluşmasına zemin hazırlar ve betonun servis ömrünü olumsuz etkiler dayanıklılık kaybına neden olur. Rutubetin olmadığı ortam koşullarında betonun kuru kalan kısmında ASR ciddi bir tehlike yaratmayabilir (DSİ 1974).

Ortamdaki sıcaklık artışı reaksiyon hızını arttırdığından agregaların büyük çoğunluğu yüksek sıcaklıkta fazla reaktiflik gösterebilir. Ayrıca ıslanma-kuruma alkali taşınmasını kolaylaştırdığından bu durumun sık görüldüğü beton baraj gövdesi elemanlarında ASR'nin oluşma riskini artırmaktadır (DSİ 1974).

Katayamaya (2002) kayaç türlerinin yapıya vermiş olduğu zarar şiddetini araştırdığı çalışmasında andezit özellik gösteren kayacın ASR'ye en reaktif kayaç olduğunu, ASR olarak en çok zarar veren kayaç türünün andezit olduğu dasit ve riyolitin ASR şiddetinin daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucunda, İzmir yöresinde beton sektöründe kullanılan Gediz ve Nif nehri yatak ve teraslarındaki doğal iri ve ince agregalarında reaktif camsı riyolitin içeriğinin %3'ün üzerinde olduğu ve bunun ASR'ye yol açtığı anlaşılmıştır (Katayama 2000). Daha sonra yapılan araştırma ve incelemeler, reaksiyonun İzmir (1) yöresine has olmadığı, ülkenin, Aliağa (2) (Çopuroğlu ve ark. 2007), Niğde (3) (Korkanç ve Tuğrul 2004), Afyon (4), Sivas (5) (Erik ve Mutlutürk 2004), Fırat havzası (6) (Aşık ve ark.2004), Deriner Çoruh havzası (7) (Sağlık ve ark. 2003), Ankara (8)

(Bektaş ve ark. 2008) ve Sakarya (9) (Yıldırım ve ark. 2011) gibi diğer bölgelerinde de bulunan bazı agregaların ASR oluşturacak özellikte olduğunu ortaya koymuştur. Türkiye'de ASR'ye reaktif olabileceği belirlenmiş agregaların lokasyonları Şekil 2.7.'de harita üzerinde verilmiştir.



Şekil 2.7. Türkiye'de ASR'ye reaktif olabileceği tespit edilmiş agregaların lokasyonları (Ramyar 2013).

ASR tespiti için kullanılan standart yöntemler ASTM C 1260'de verilmiştir. Türkiye'de DSİ, TSE, TÇMB gibi kuruluşlar tarafından da sıklıkla kullanılan yöntemdir.

Çimento üretiminde kullanılan malzemelerde bulunan Na_2O ve K_2O (alkaliler), üretilen çimentonun yapısında da yer almaktadır. Beton da kullanılan agregalar reaktif silis veya reaktif karbonat içerdiği takdirde, alkalilerle agrega arasında "alkali-agrega reaksiyonu" olarak adlandırılan kimyasal olaylar gelişmektedir. Alkali-agrega reaksiyonları beton yapımından sonraki süreçte (birkaç ay-birkaç yıl) içinde, sertleşmiş betonun içerisinde büyük genleşmelere yol açarak, betonun çatlayıp kırılmasına neden olmaktadır. Bu yüzden çimentonun yapısında yer alan alkalilerin miktarının belirli değerden daha fazla olmaması istenmektedir. ASTM C 150 standartlarına göre "Na_2O + $0.66K_2O$ " miktarının %0.6' dan fazla olmaması tavsiye edilmektedir (Erdoğan 2003).

-Alkali-Silika Reaksiyonun Betona Etkileri

Betonda Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)'nun etkisi yaklaşık 1 yıl sonra (ortamdaki nem ve sıcaklık bu sürede etkindir) yüzeysel olarak harita şeklinde kılcal çatlaklar oluşturmasıyla anlaşılmaktadır.

Söz konusu yüzeysel çatlaklar betonu sülfat saldırısı, fiziksel aşınma gibi çevresel etkilere açık bırakarak dayanım ve dayanıklılığını olumsuz etkileyerek betonun servis ömrünü düşürecektir. ASR' nin etkisi altında kalan betonların tipik görüntüsü aşağıda Şekil 2.8.'de verilmiştir (Andiç 2007).



Şekil 2.8. ASR' nin etkisi altında kalan betonlarda gözlenen bozulmalar. İzmir Adnan Menderes Havalimanı pist ve taksi yolu betonunda oluşna ASR çatlakları

-ASR Ürünlerinin Oluşumu

ASR ürünlerinin oluşumu, reaktif silisin miktarına ve türüne, reaksiyona giren ürünlerin yoğunluğuna ve reaksiyon sıcaklığına ortamdaki neme bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Thaulow ve ark. 1996), (Kawamura ve ark. 1998). Betonun çatlaklarında yer alan jel, genelde şeffaf ve reçinemsidir. Thaulow ve ark. (1996)'nın ASR jelinin görsel incelemesine dayalı bir çalışmasında genelde çimento hamurundaki iri agrega taneleri içinde ASR ürünleri gülsü kristal yapıya benzer olduğu belirtilmiştir. ASR jeller yeterince akışkan özellik gösterip beton boşluklarından ve çatlaklar arasından akarak boşluğu kısmen doldurabilmektedir.

Elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile ASR ürünlerinin kompozisyonu ve morfolojisi ile ilgili araştırmalar artış göstermiştir. Bu araştırmaların sonucunda jelin, farklı oranlarda silis, kalsiyum ve alkali içerdiği anlaşılmıştır. Çok düşük alkaliteye sahip olanlar hariç, çoğu çimento klinkerinin %1 ile 3 arasında değişen K_2O/Na_2O oranına sahip olduğu bu durumun jel kompozisyonunu etkilediği bilinmektedir (Swamy 1992), (Lindgard ve ark. 2012).

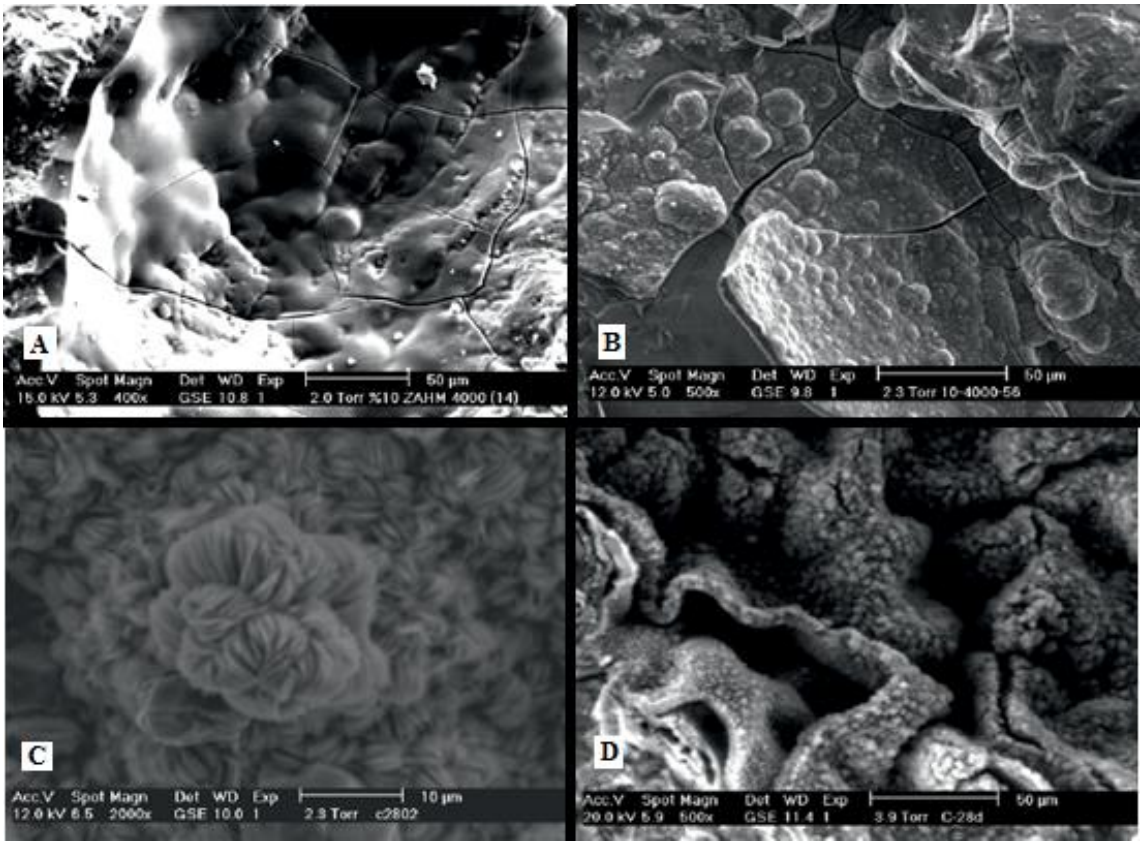
ASR ürünleri oluşumunun, agreganın yapısı ve dokusu ile birlikte petrografik özelliği, (Lu ve ark. 2006) yavaş veya hızlı reaktif oluşuna ve pesimum oran göstermesine bağlı olduğu bilinmektedir (Diomand ve Thaulow 1974). Ancak

çalışmalarda agrega özelliklerinin ASR jeline tek etken olmadığı da anlaşılmaktadır. Aynı numunenin eşdeğer ama farklı yerlerinde kalsiyum içeriği birbirinden farklı jeller tespit edilmiştir (Peterson ve ark. 2006), (Fernandes 2009), (Lindgard ve ark. 2012). Alkalilerin kalsiyum ile yer değiştirmesi sonucu, iri agregadan uzaktaki çatlaklarda kalsiyum içeriği yüksek jel bulunmuştur. Oluşan hacimsel genleşmenin, jelin miktarından ziyade, jelin içeriğinde ki kalsiyum değerine bağlı olduğu belirlenmiştir (Kundsen ve Thaulow 1975), (Kawamura ve ark. 1998), (Lindgard ve ark. 2012).

Moranville (1989) çalışmasında, ASR sonucu olaşan ürünleri jeller ve kristaller olmak üzere iki grupta sınıflandırmıştır. Jelleri masif veya süngersi görünümlü olarak tanımlamıştır. Jelin masif veya süngerimsi olması SEM'de kuruma esnasındaki büzülme şekline veya miktarına bağlı değiştiğini, jellerin farklı kompozisyonlarının da etkisi olabileceği ifade edilmiştir. Kristal yapıdaki ürünlerin gülsü, dikensi veya çubuksu ve yapraksı olmak üzere çeşitli morfolojik tipleri olduğu görülmüştür. Çeşitli yapıya ve morfolojiye sahip ASR ürünleri Şekil 2.9.'da gösterilmiştir (Andiç 2007).

Gerçek yapılarda görülen ASR ürünlerinin morfolojik ve kimyasal yapısının, hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi sonucu elde edilen reaksiyon ürünleri ile benzer özellikte olduğu görülmüştür. Amorf jelin zamanla kristalize olduğu kabul edilmektedir. Jelin kristalize olması bazı etkilere bağlıdır. Bazı araştırmacılara göre jelin, kuruma sonucu kristalize olduğunu belirtmiştir (Cole ve Lancucki 1983). Andersen ve Thaulow (1990) ile Thaulow ve ark. (1996), kristalize jellerin genellikle agrega içinde rastlandığını, çimento hamurundaki çatlaklarda ise daha az rastladığını açıklamıştır. Kristal yapıdaki jel ile amorf yapıya sahip jelin kimyasal kompozisyonundaki değişikliğin çimento hamuru boşluk çözeltisi ile agrega boşluklarında yer alan suyun kimyasal yapısından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Kurtis ve ark. (1996),(1998), çalışmalarında alkali silis jelinin sodyum ve kalsiyum hidroksit çözeltisi içerisinde kristalize olduğunu, betonda oluşan ASR ürünlerinin genelde amorf yapıda olduğunu belirtmiştir. Peterson ve ark. (2006) çalışmasında 1890'larda ait bir yapının beton örnekleri incelenmiş yaşı ilerlemiş betonda kristalleşmiş ASR ürünleri çok miktarda olduğunu gözlemlemiş ve bunun sonucunda ASR'nin kristalleşmesinin zamanla artabileceğini belirtmiştir. SEM'de yapılan araştırmalar sonucunda ASR ürünlerinin

karakteristik görünümü kristalimsi ve gülümsü olup Şekil 2.9.'da gösterilmiştir (Andiç 2007).



Şekil 2.9. a) SEM'de Masif ASR ürünü b) Yarı kristalin çatlamış ASR ürünü c) Gülümsü ASR ürünü d) Tabaka halinde gülsü ASR ürünü.

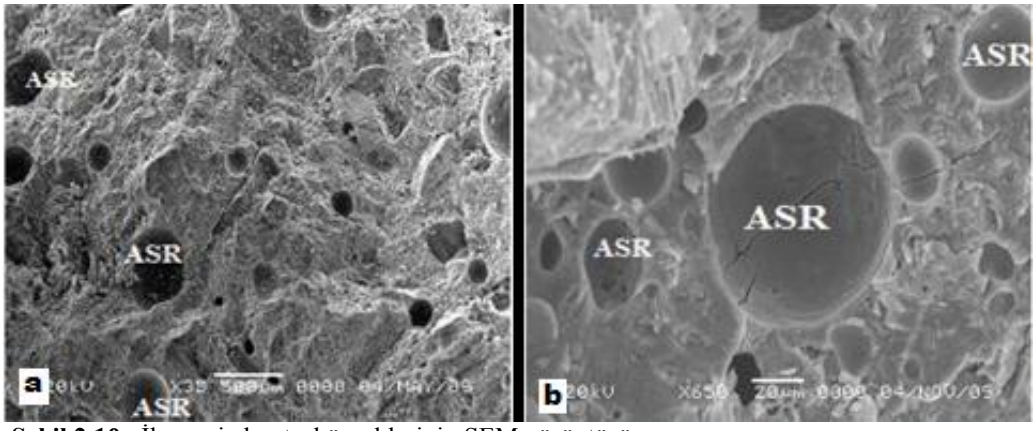
Çizelge 2.2. Alkali-silis jeli kimyasal analiz sonuçları (kütlece %)

Na_2O	K_2O	SiO_2	CaO	MgO	%100'e göre fark	Referans
12.9	-	53.9	2.9	0.6	29.8	Stanton(1942)
12.9	-	53.4	2.6	0.8	30.2	
14.9	5.2	61.7	0.6	-	17.6	Idorn(1961)
13.4	5.1	65.5	0.5	0.2	15.3	
12.4	4.9	69.9	0.3	0.5	12.0	
17.9	8.2	73.7	1.1	0.1	0.0	
9.4	4.1	72.8	1.3	0.2	15.3	
14.6	6.2	61.9	-	0.1	12.0	
16.2	5.7	56.8	-	-	21.3	
8.2	4.1	56.1	17.4	0.2	14.0	
8.3	5.0	28.5	22.4	0.2	35.6	
1.2	0.4	51.4	29.9	10.0	17.1	Poole (1975)
7.4	0.7	53.0	22.1	10.0	16.7	
1.5	13.9	38.9	27.3	-	17.4	Gutteridge ve Hoobs (1980)
0.4	4.7	51.1	21.5	-	22.3	Regourd (1983)
-	0.6	27.9	35.2	-	36.2	
1.0	6.9	61.5	9.2	-	21.3	Oberholster (1983)
1.0	6.2	53.8	8.2	-	30.7	
1.8	5.5	49.9	12.8	-	29.9	
1.0	5.2	50.4	12.0	-	30.7	
1.4	9.0	62.9	12.5	-	13.8	
0.8	7.4	53.2	10.0	-	28.4	
1.2	4.1	66.5	6.5	-	21.7	
3.7	12.9	43.3	21.8	0.8	14.0	Mullick ve Samuel (1986)
3.9	11.7	49.4	15.9	0.5	16.7	
2.65	9.37	40.0	18.6	0.2	29.18	Baillemont ve ark. (2000)
12.94	1.01	60.4	20.3	-	5.35	Andiç ve Çakır (2007)
9.45	1.08	45.61	34.41	-	9.45	Andiç ve Çakır (2007)

Çizelge 2.2.'de farklı kaynaklardan elde edilen ASR jelinin kimyasal analiz sonuçları gösterilmiştir (Andiç 2007).

-ASR Etkisinde UK ve SD İkameli Harç Çubuklarının Mikro Yapısal Özellikleri

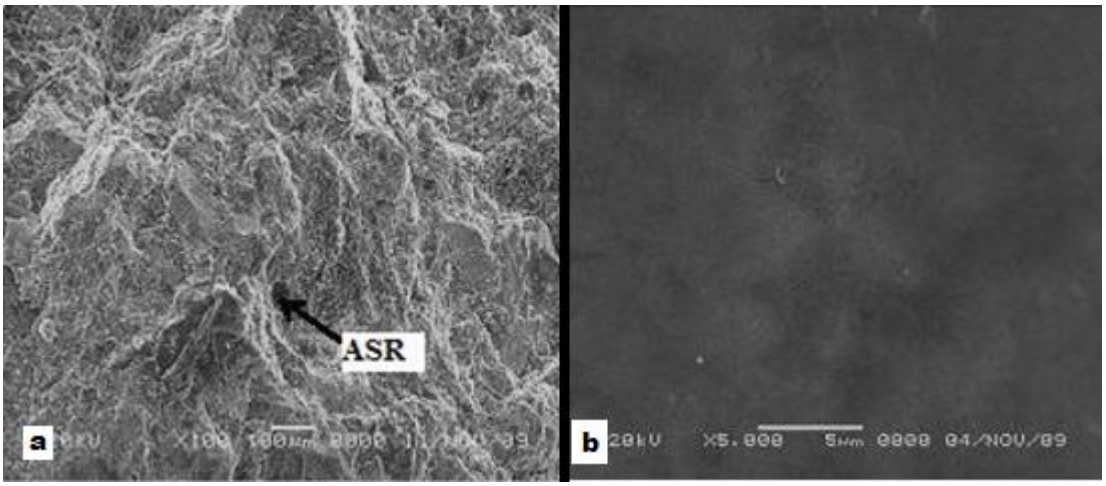
Harç çubuklarının farklı yerlerinden alınan numuneler SEM görüntüleri ile mikro yapı analizleri incelenmiştir. Mikro yapısı incelen numunelerde ASR ürünlerinin genelde agrega çatlaklarında, boşluklarda ve agrega-çimento hamuru arasında olduğu gözlemlenmiştir. SEM'de farklı morfolojik yapıdaki ASR ürünleri 100 kat ve daha fazla büyütülen görüntülerde net olarak görülebilmiştir (Demir 2010).



Şekil 2.10. İkamesiz kontrol örneklerinin SEM görüntüsü

ASR etkisindeki çatlamalar genellikle boşluk içerisinde başlayarak boşluk etrafında gözlenmiştir. Şekil 2.10.'da mineral katkı kullanılmayan numunelerde ASR sonucu oluşan çatlaklar 35 kat büyütmede boşluk şeklinde oluştuğu görülmüştür (Şekil 2.10.a). 650 kat büyütmeden sonra ise çatlaklar daha net olarak görülmüştür (Şekil 2.10.b). Bu ürünler genelde masif jel yapıda ve büzülme çatlakları içerdiği, çatlakların boşluk içinden başlayıp boşluk etrafında da sıkça yayıldığı gözlenmiştir (Demir 2010), (Doğruyol ve Karaşin 2016 b).

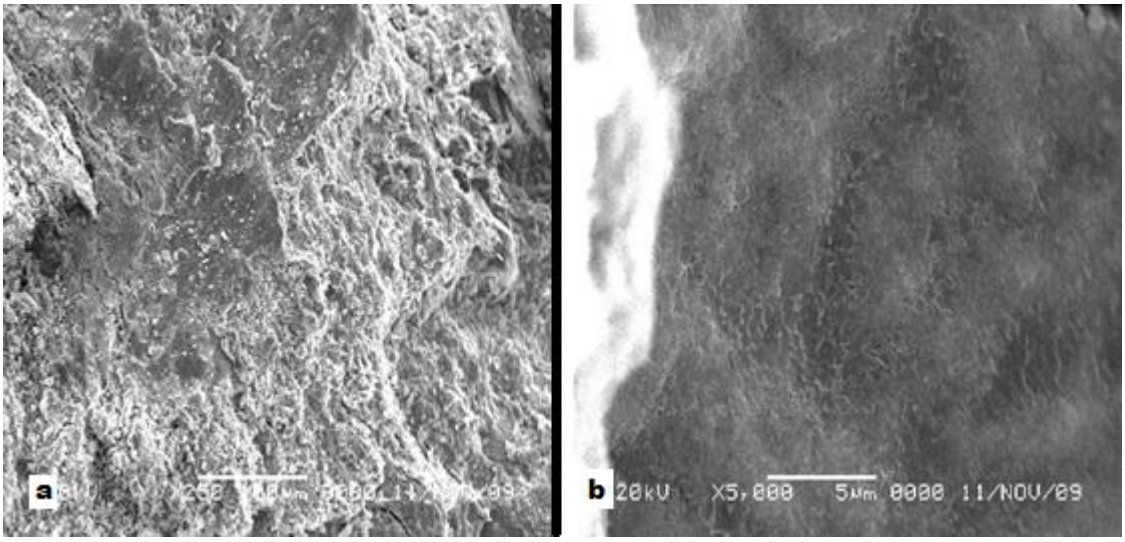
ASR çatlakları genellikle agrega çimento hamurunun olduğu bölgelerde 1-2µm boyutlarında görülmüştür ve çatlakların yoğun olduğu bölgelerde Ca, olmadığı bölgelerde ise Si oranı yüksek olduğu gözlenmiştir (Demir 2010).



Şekil 2.11. %20 UK İkameli örneklerinin SEM görüntüsü

Şekil 2.11'de gösterilen görüntüde 16 gün sonunda incelenen %20 UK ikameli numunelerde ASR ürüne çok az rastlanmıştır. Oluşan ASR çatlakları 1µm altında

görülmüştür. Beton numunlerde çimento yerine %5–20 arasında UK ikame edilen numunlerde ASR ürünleri ikame oranına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. UK çimento ile ikame oranının artırılması ASR ürünlerinin azalmasını sağlamıştır. 16 günde %20 oranında çimento yerine SD ikameli numunelerde ASR ürünlerinde azalma görülmüştür (Şekil 2.12.a ve Şekil 2.12.b). ASR ürünleri, %5–10 arasında SD ikameli örneklerde ikame oranına bağlı olarak, %15–20'ye artırılan örneklerde ise çok az olduğu gözlemlenmiştir (Demir 2010).



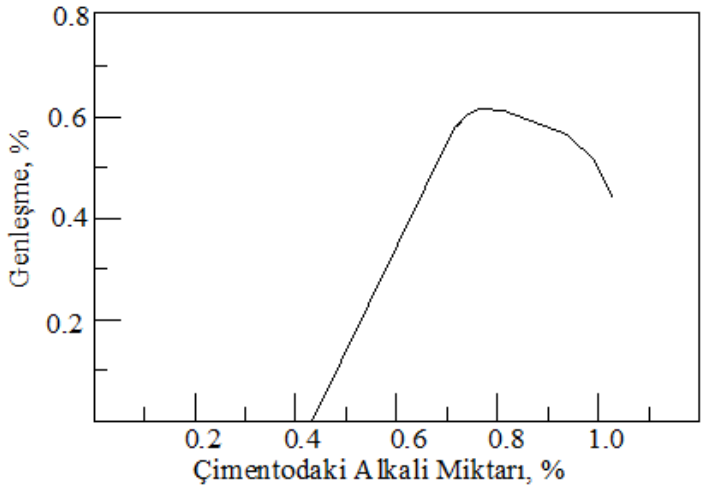
Şekil 2.12. %20 SD İkameli örneklerinin SEM görüntüsü

%20 oranında ikame edilen UK ikameli numuneler ile SD ikameli numunelerin morfolojik yapılarında benzerliklerin olduğu ancak UK ikameli numunelerde SD ikameli numunelere göre ASR ürünlerinin biraz daha fazla olduğu gözlenmiştir (Demir 2010).

-Alkali-Silika Reaksiyonun Oluşumunu Azaltıcı Önlemler

Alkali-silika gelişiminde kayaçların sınıflandırılmasının $Na_2O + K_2O$ ve SiO_2 gibi parametreler kullanılır. Çimentoda alkali miktarı Amerikan standartlarına göre "$Na_2O + 0.66\ K_2O$" % 0.6'dan fazla olmasının ASR'ye reaktifliğin artabileceği ifade edilmiştir (Erdoğan 2003). Katayama (2002) çalışmasında Na_2O miktarı %0.50 olan çimentoları düşük alkali çimento, %1.04 olanı yüksek alkali olarak tanımlamıştır. ASR'ye yüksek reaktif kayaçlar ile düşük alkali çimentoların kullanılması durumda

ASR etkisinin azaltılabileceği belirtilmiştir. Çimentodaki alkaliler ile betondaki hacimsel genleşme ilişkisi Şekil 2.13.'te verilmiştir (Erdoğan 2003).



Şekil 2.13. Alkali- genleşme ilişkisi

Şekil 2.13'te toplam alkali miktarının ağırlıkça %0.4'e kadar olduğu durumda betonda herhangi bir genleşme oluşturmadığı, % 0.8'de genleşme miktarının en fazla olduğu sonrasında bir miktar azalma olduğu anlaşılmaktadır.

Belirli bir bölgeden elde edilen ve uzun yıllar kullanılarak herhangi bir zararlı etkisi görülmemiş olan agregalarla beton üretilmesi alkali-silika genleşmesi olasılığını azaltmaktadır.

Herhangi bir agrega türünün reaktif olup olmadığı TS 2517, ASTM C 227 ve ASTM C 289 standartlarına uygun petrografik analiz yöntemleriyle tespit edilmelidir. Mevcut yöntemler arasında en çok kullanılan harç çubukları yöntemidir (Diamond 1976). Bu yönteme göre agreaga kum haline gelecek şekilde öğütülmekte sonra agrega, çimento ve su karışımı oluşturulan harçtan 25 x 25 x 286 mm boyutlu harç numuneler oluşturulmaktadır. Hazırlanan harçların boyu belli dönemlerde ölçülerek hacimsel genleşme miktarları hesaplanmaktadır. Eğer harçların boyunda 3 ay sonra % 0.05'den , 6 ay sonra % 0.10 'dan fazla genleşme olmuş ise, kullanılan agreganın ASR' ye reaktif olduğu ve betonda kullanılmasının zararlı olabileceği düşünülmektedir (Erdoğan 2003).

Betonda mineral katkıların kullanılması, su/çimento oranın düşük tutulması gibi önlemler betonun geçirimliliğini düşüreceğinden, alkali silika jellerinin ihtiyaç duyduğu su azalacağından ASR reaksiyonunun etkisi azaltılabilir (Erdoğan 2003).

2.2. Puzolanların Tanımı ve Genel Sınıfları

Puzolanlar ASTM standartlarına göre kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak bağlayıcı malzemelerle kullanıldığı zaman bağlayıcılık özelliklerine sahip olan içerisinde silis ve alümin, az miktarda da demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon bulunan çok ince taneli malzemelerdir.

Puzolanlar oluşma şekillerine göre ikiye ayrılırlar:

1) Doğal Puzolanlar: Doğada kendiliğinden oluşmuş genellikle volkanik ürünlere denir. Volkanik kül ve tüf, ısıl işlem görmüş kül ve geyler, diatomlu topraklar doğal puzolan olarak tanımlanmaktadır.

2) Yapay Puzolanlar: Genellikle termik santral, demir çelik tesislerinde sanayi ürünlerin yan ürünü olarak ortaya çıkan atıl durumdaki ürünlerdir. Silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi çok ince taneli atıl ürünler yapay puzolanlar olarak tanımlanmaktadır.

2.2.1. Puzolanların Tarihçesi

Eski Roma'da yaklaşık 2000 yıl önce mühendis mimar Vitrüviüs'ün doğal puzolan sınıfına giren volkanik kül ve sönmüş kireci suyla karıştırarak bunların hidrolik bağlayıcılık özelliği olduğunu tespit etmiştir. Elde edilen hidrolik bağlayıcı malzeme ile eski Roma'da çok sayıda eser inşa edilmiştir. Bir miktar kireç ile volkanik küllerin su ile karıştırılmasıyla oluşan hidrolik bağlayıcı içerisine taş parçaları da ekleyerek üretilmiş betonun günümüz betonuna benzer olduğu bilinmektedir. Böylelikle İtalya ve Fransa başta olmak üzere birçok ülkedeki eski bina, köprü ve su kanalları geçmişten günümüze kadar ayakta kalmayı başarmıştır (Malinowski 1982).

Türkiye'de Çatalhöyük'teki çalışmalarda eski yapılarda kullanılan harcın 8000 yıllık olduğu belirlenmiştir (Davidavitz 1987). Eski yapılarda kullanılan kireç ve alçıdan elde edilen bağlayıcılar sulu ortamlara dayanıklı değildir. Bu yapıların günümüze kadar gelmesi, harçlarda bağlayıcı içine puzolanların karıştırılması ile daha dayanıklı hale getirildiği yani puzolanların ilk Anadolu'da kullanılmış olduğunu düşündürmektedir. Puzolanlı harçların Mısır'da "homra", Hindistan'da "surkhi" ve Osmanlı'da "horasan harcı" olarak adlandırılmıştır (Ramachandran 1995).

2.2.2. Puzolanik Reaksiyon ve Puzolanik Malzemelerin Aktivitesi

Çok ince taneli malzeme olarak bilinen puzolanların kimyasal yapısında yüksek oranda silis ve alümin bulunmaktadır. Puzolanlar, sönmüş kireç ve su ile birleştirildiğinde, tıpkı çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan ve bağlayıcılık sağlayan C-S-H jelleri oluşmaktadır.

Puzolanik malzemenin sönmüş kireç ve suyla hangi ölçüde reaksiyona gireceği ve göstereceği bağlayıcılık miktarı puzolanik aktivite olarak adlandırılmaktadır.

Puzolanlar elde edilişlerine göre doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Her bir gruba giren puzolan türleri aşağıdaki Çizelge 2.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Puzolanların sınıflandırılması

Puzolanlar	
Doğal Puzolanlar	**Yapay Puzolanlar**
Volkanik Küller	Uçucu Kül
Killi Şist	Pişirilmiş Kil
Diatome Toprağı	Yüksek Fırın Cürufu
Ponza Taşı	Silis Dumanı
Volkanik Tüfler	Demirli Olmayan Cüruf
Traslar	Pirinç Kabuğu Külü

2.2.3. Doğal Puzolanlar

Volkanik kökenli doğal puzolan olarak sayılan diatome toprağı ve killi şist gibi topraklar önce ısıl işleme tabi tutulup daha sonra öğütülerek puzolanik özellik göstermektedirler (Hewlett 1998). En az çimento kadar ince taneli doğal puzolanlar bağlayıcı olarak üç şekilde kullanılabilirler:

1) Tarihi yapılarda kullanıldığı gibi sönmüş kireç ve suyla birleştirilip doğrudan kullanılabilir,

2) Portland çimento üretimi sırasında klinker ile birlikte öğütülerek, puzolanik çimento tipi çimento üretiminde,

3) Beton karışımına çimento ile birlikte veya belli miktarda çimento yerine ikame edilerek mineral katkı maddesi olarak kullanılabilmektedir.

Ancak puzolanlar günümüzde genellikle portland çimentosunun üretimi sırasında ve beton dizaynı sırasında beton karışımına çimento ile beraber eklenerek veya belli miktarda çimento yerine ikame edilerek kullanılmaktadırlar. Sönmüş kireç ve suyla birleştirilerek kullanılması pek yaygın değildir. Doğal puzolan tipleri şu şekildedir.

2.2.3.1. Volkanik Orijinli Puzolanlar

Doğal puzolanları daha çok volkanik orijinli puzolanlar oluşturur. Volkanik püskürme sırasında açığa çıkan eriyik durumdaki magmadaki yüzeye çıkan silis ve alüminli içerikleri lavların aniden soğumasıyla camsı (amorf) yapıyı kazanmaktadır. Püskürtme gazların etkisinde gözenekli yapıya kavuşup bu sayede büyük yüzey alanı kazanır. Yüzey alanının büyüdükçe düzensiz yerleşim ile birlikte sulu ortamlarda alüminli silisler ile kalsiyum iyonları kolayca reaksiyona girebilmektedir. Volkanik püskürme şiddetinin artması ile eriyik malzemenin amorf yapısı ve puzolanik aktivitesi artırmaktadır (Ramachandran 1995).

2.2.3.2. Pişirilmiş Kil ve Geyl

Kil ve geyl yüksek oranda silis ve alüminden oluşan kristal yapıdaki minerallerdir. Kil ve geylin doğal yapıları puzolanik özellik göstermezler. Puzolanik özellik kazandırmak için 2 saat 700- 900 ˚C sıcaklığa maruz bırakılarak malzemelerin kristal yapıları bozulmakta böylelikle yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapıya sahip olarak puzolanik özellik kazanabilmektedirler. ABD'de, Hindistan'da ve Brezilya'da birçok baraj inşaatında bu tür malzemelerin kullanıldığı bilinmektedir (Ramachandran 1995).

2.2.3.3. Diatomlu Topraklar

Diatomlar, silisli yapıya sahip mikroskobik ölçüdeki tek hücreli su bitkileridir. Organik yapıların etkisi ile diatomlu topraklarda, amorf yapıya sahip büyük miktarda silis bulunabilmektedir. Diatomlu topraklar öğütülerek ya da öğütülmeden puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak puzolanik özellik kazanabilmesi ince taneli olmaları puzolanik aktiviteyi artıracağından diatomlu toprakların 760 ile 1000 ˚C sıcaklığa kadar pişirildikten sonra öğütülmelidir (Ramachandran 1995).

-Doğal Puzolanların Kimyasal Yapısı

Doğal puzolanların kimyasal yapısını SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oluşturmaktadır. Pişirilmiş kilde ise bu oksitler ile birlikte % 21.8 oranında CaO bulunmaktadır. Doğal puzolanlarda yer alan oksit miktarları Çizelge 2.4.'te verilmiştir (Ramachandran 1995).

Çizelge 2.4. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı (%)

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Alkali
Volkanik cam	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik tüf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomlu toprak	86.0	2.3	1.8	-	0.6	0.4
Pişirilmiş Kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

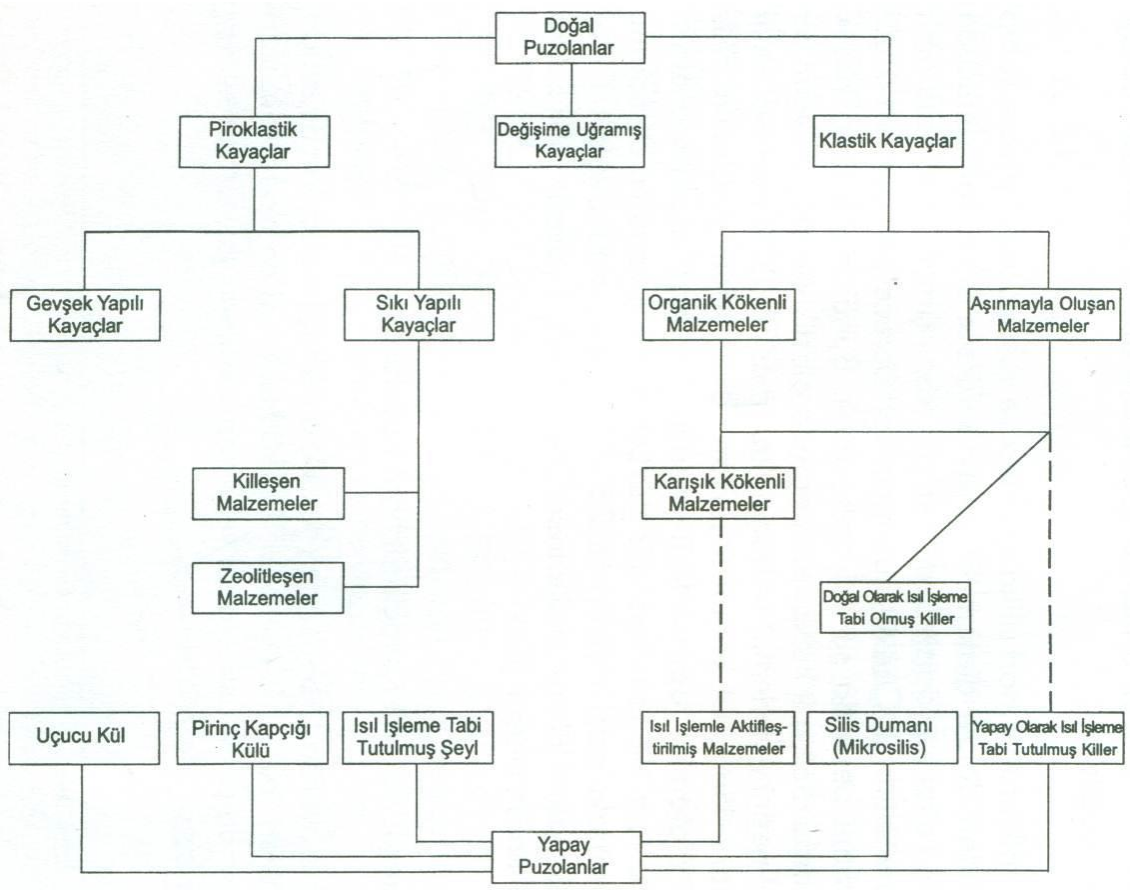
Çizelge 2.5.'te ise beton karışımlarında puzolan kullanılması durumunda, beton özellikleri üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri gösterilmektedir (Erdoğan 2007).

Çizelge 2.5. Doğal puzolan katkıların beton özelliklerine etkileri

Olumlu Etkileri
Betonda işlenebilmeyi artırır
Betonda terlemeyi azaltır
Betonun hidratasyon ısısını azaltmakta, böylece kütle betonlarındaki çatlamayı önlemektedir
Beton yüzey geçirgenliğini azaltmaktadır
Sertleşmiş betonun sülfat ataklarına karşı dayanıklılığını artırmaktadır
Sertleşmiş betonda ASR etkisini azaltmaktadır
Betonda ekonomiklik sağlamaktadır
Potansiyel Zararlı Etkileri
Priz süresini geciktirir
Betonun erken yaş dayanımını düşürür
Hava sürüklenmiş betonların içerisine dahil edilecek sürüklenmiş hava miktarını azaltmaktadır, bu durumda hava sürükleyici katkı maddesinin daha fazla kullanılması gerekmektedir.

-Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanların kökenini temel alan sınıflandırma, Massazza tarafından Şekil 2.14.'teki gibi yapılmıştır (Hewlett 1998).



Şekil 2.14. Puzolanların kökenini temel alan sınıflandırma

-Beton Katkı Maddesi Olarak Doğal Puzolanların Kullanılabilirliğine Dair Standartlar

Doğal puzolanların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre beton yapımında uygun bir katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri TS 25 ve ASTM C 618 standartlarına göre belirtilen sınır değerlere bağlı olmalıdırlar (TS EN 450 1988, ASTM C 618 1994). Türk ve Amerikan beton standartlarına göre doğal puzolanların SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 toplam oranının en az %70 olması gerektiği belirtilmiştir. SO_3, MgO ve alkaliler gibi betona zarar verebilecek bileşenler ise yakın oranlarda sınırlama getirilmiştir. Doğal puzolanların beton içerisinde kullanılabilmesinin Türk ve Amerikan standartlarına göre belirlenmiş sınır değerler Çizelge 2.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Standartlara göre doğal puzolanların kimyasal sınır değerleri

	TS 25	ASTM C 618
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	70.0	70.0
SO_3, en fazla, %	5.0	4.0
Nemlilik, en fazla, %	3.0	3.0
Kızdırma kaybı, en fazla, %	10.0	10.0
MgO, en fazla, %	5.0	-
Na_2O olarak alkaliler, en fazla, %	1.5	1.5

2.2.4. Yapay Puzolanlar (Mineral Katkı Malzemeler)

Yapay puzolonlar mineral katkı maddeleri olarakta adlandırılırlar. Betonda katkı maddesi olarak kullanılan puzolanların, puzolanik reativite gösterebilmeleri için mutlaka ince taneli durumunda olmaları gerekmektedir. Uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) gibi yapay puzolanlar, sanayi yan ürünü olarak elde edilen ince taneli malzemelerdir. Diğer yandan, volkanik tüf, granüle yüksek fırın cürufu (GYFC), pişirilmiş kil gibi iri taneli doğal puzolanlar ise beton katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri için en az portland çimento (PÇ) 'nun tanelerinin inceliğine gelene kadar öğütülmelidirler (Erdoğan 2003).

Mineral katkılar beton karışımına doğrudan eklenebilir betonun oluşturan ana malzemeler ile birlikte karılmaktadır. Genellikle ise beton karışımında bir miktar çimento yerine ikame edilerek kullanılmaktadırlar (Erdoğan 2003).

Mineral katkılarda diğer puzolanlar gibi taze betonun işlenebilmesini artırmak, terleme ve segregasyonu azaltmak, hidratasyon ısısını düşürmek, ASR nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltmak, su geçirgenliği azaltmak, beton dayanım ve dayanıklılığını artırmak, sülfat etkisinde beton dayanıklılığı artırmak ve çimento yerine ikame edildiğinde daha ekonomik bir beton elde etmek gibi taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğine etki etmektedirler (Erdoğan 2007).

2.2.4.1. Uçucu Küller

Uçucu kül (UK), termik santral tesislerinde pulverize kömürün yanması ile baca gazlarının elektro filtrelerde toplanan ince taneli yan üründür. Uçucu kül dünyada yıllık yaklaşık 450 milyon ton üretilirken, Türkiye'de ise yıllık üretim yaklaşık 15 milyon ton civarındadır (Başyiğit ve ark. 2007). UK'lerin bacalarda tutulması ile biriken yığın

malzeme önemli ölçüde çevre kirliliği oluşturmaktadır. Bu durum Şekil 2.15.'te gösterilmiştir (Beycioğlu 2008).



Şekil 2.15. Uçucu küllerin oluşturduğu bir atık yığını

Uçucu kül, atıl malzeme olduğu için betonda bir miktar çimento yerine ikame edildiğinde beton maliyetini düşürmesi çimento üretimini azaltarak enerji korunumu sağlaması ve geri dönüşüm malzemesi olarak kullanıldığından çevresel problemleri azaltması nedeniyle betonlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir (Langan ve ark. 2002), (Karaşin ve Doğruyol 2014), (Doğruyol ve Karaşin 2016c). Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım alanları Çizelge 2.7.' de verilmiştir.

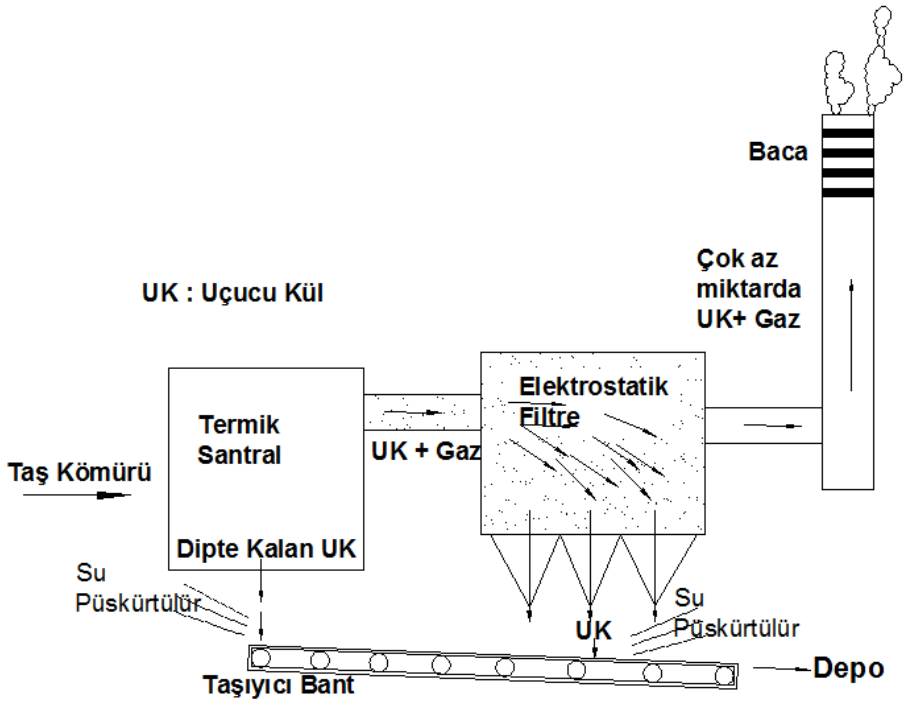
Çizelge 2.7.Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım alanları

Malzeme	**Kullanım alanı/Yeri**
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame olarak
Agrega	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla/Ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, seramik. plastik, harç

Termik santrallerin enerjisini sağlayan kömürün yanması sonucu oluşan ergimiş malzeme küresel şekilli 0,5-150 μ aralığında çok ince kül taneciklerine dönüşmektedir.

Bu ince tanecikler uçucu kül olarak adlandırılırlar. Uçucu külü oluşturan ana bileşenler SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ve CaO olup bunların miktarı uçucu külün tipini belirlemektedir. Az miktarda da MgO, SO_3 bileşenleri bulunmaktadır. Uçucu kül kimyasal yapısında SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO %1-40 arasında değişen oranlarda bulunmaktadır. Bileşenlerin farklılık göstermesi uçucu külün karakteristiğini etkilemektedir. ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıfı olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Uçucu külün kimyasal yapısı incelendiğinde bitümlü kömürün etkisiyle $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ (S+A+F) yüzdesi %70'den fazla olan F sınıfı uçucu küllerdir. Linyit veya yarı bitümlü kömürlerden üretilen ve toplam $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ miktarı % 50'den fazla olan uçucu küller ise C sınıfı girmektedirler (Türker ve ark. 2007).

F sınıfı uçucu küller puzolanik özellik taşımaktadır ve tek başlarına bağlayıcı özellik göstermemektedirler. Ancak C sınıfı uçucu küller bir başka bağlayıcı malzeye gereksinim duymadan bağlayıcı özellik gösterebilmektedir (ASTM C 618). Uçucu külün termik santrallerden elde edilmesi Şekil 2.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Uçucu külün termik santrallerden elde edilmesi

Şekil 2.16'da çıkan toplam külün %20 si kazan altı cüruf teknesinden ıslak cüruf olarak alınır. Geri kalan elektrostatik filtrede biriktirilir. Uçucu küller ve cüruf ıslatılarak taşıyıcı bantla kül parkına atılır.

Türkiye'de 11 adet termik santral aktif olarak çalışmaktadır ve bunlardan sadece Çatalağzı termik santralinden F tipi uçucu kül elde edilmektedir (Şengül ve ark. 2003).

Uçucu küllerin beton yapımında kullanılması ile ilk çalışmalar 1932 yılında başlamıştır (Price 1975). ABD-Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesinde 1932 yılından itibaren yapılan araştırmalara göre, beton yapımında uçucu kül çimento miktarının ağırlıkça %30 - %50'si yerine ikame edildiğinde betondan istenilen performansın arttığı tespit edilmiştir (Erdoğan 2007).

Uçucu kül beton endüstrisinde 1937 yılından beridir mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde betonda en fazla kullanılan mineral katkı olan uçucu kül (THBB 2014), ilk olarak 1948 yılında ABD-Montana'daki Hungry Horse Barajının betonlarında portland çimentosu ağırlıkça %32.4 kadarı uçucu külle yer değiştirilerek üretilmiştir (Erdoğan 2007).

Çizelge 2.8.'de, 45-50 yıl kadar önce betonları uçucu kül ile yapılmış olan bazı baraj isimleri belirtilmektedir (ACI 1994).

Çizelge 2.8. Uçucu kül kullanılan bazı barajlar

Yıl	**Baraj**	**Miktar, kg/m^3**
1965	Yellowtail (ABD)	50
1972	Dworshak (ABD)	42
1972	Libby (ABD)	29
1979	Peace Site 1 (Kanada)	63

Topçu (2006) çalışmasında uçucu külün betonda kullanılması durumunda olumlu ve olumsuz etkilerini Çizelge 2.9.'da göstermiştir.

Çizelge 2.9. Uçucu kül kullanımının betona etkileri

Uçucu külün betonda kullanılmasının olumlu etkileri
Betonda terleme ve hidratasyon ısısını azaltır
Betonun işlenebilmesini artırır
Betonun geçirimliliğini azaltır
Sülfat etkisine karşı dayanıklılığını artırır
Uçucu külün betonda kullanılmasının olumsuz etkileri
Betonun priz süresini uzatır
Betonun erken yaş dayanımını düşürür
Betonun kür süresini uzatır

-Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

Uçucu kül, elde edildiği kömürün yanış özelliğine bağlı olarak açık griden koyu griye değişen renkte olan, ince taneli bir malzemedir. Kömürün tam yanmadığı durumda yanmamış karbon etkisiyle uçucu kül siyah renktedir. Yanmanın gerçekleştiği durumda ise uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir (Güler ve ark. 2005).

Uçucu külün inceliği etki eden faktörlerden biri kazana verilen kömürün öğütülme derecesi, diğer faktör ise 0.5 ile 200 mikron arasında değişen küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olmaktır (Güler ve ark. 2005).

Camsı ve çoğunlukla küresel yapıda olan uçucu küllerin spesifik yüzeyleri ortalama 2800 - 3800 cm^2/gr arasında değişmektedir, mutlak yoğunluğu ise yüksek demir içeriğine sahip olanlarda fazla, alümin, silika ve karbon miktarı yüksek olan uçucu küllerin yoğunluğu ise düşüktür. Uçucu külün yoğunluğu 2.2 - 2.7 gr/cm^3 arasında değişmektedir (Ete 1979 ve 1982), (Yazıcı 2004), (Güler ve ark. 2005).

-Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşenleri için TS 639'da belirtilen standart şartları Çizelge 2.10.'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. TS 639 'ya göre uçucu kül kimyasal özellikleri

Özellik	**Standart Sınırlar**
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	En az % 70
MgO	En çok % 5
SO_3	En çok % 5
Rutubet	En çok % 3
Kızdırma kaybı	En çok % 10
İncelik (Blaine)	En az 3000 cm^2/g

Türkiye'de üretilen bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları ile tez çalışmasında kullanılan Elbistan termik santralinden temin edilen uçucu külün TS EN 450, TS 639 ve ASTM C 618 standartlarına göre limit değerleri Çizelge 2.11.'de verilmiştir (TÇMB 2003).

Çizelge 2.11.Türkiye'de üretilen bazı uçucu küllerin kimyasal bileşenleri

Uçucu kül Oksit (%)	Orhaneli	Seyitömer	Yatağan	Soma	Elbistan	TS EN 450	TS 639	ASTM C 618	
								F	C
SiO_2	47.48	54.49	51.50	43.39	58.02				
Al_2O_3	24.17	20.58	23.08	21.71	23.31				
Fe_2O_3	8.03	9.27	6.07	4.07	5.91				
S+A+F	79.68	84.34	80.65	70.76	87.14		>70	>70	>50
CaO	11.38	4.26	10.53	22.23	3.78				
MgO	2.27	4.48	2.42	1.65	1.88		<5		
SO_3	2.49	0.52	1.32	2.07	0.05	<3	<5	<5	<5
K_2O	2.47	2.01	2.54	1.09	1.76				
Na_2O	0.35	0.65	0.77	0.30	0.84				
K.Kaybı	1.11	3.01	1.06	2.64	2.46	<5	<10	<6	<6

Çizelge 2.1.'de TS 639 ve ASTM C 618 standartlarına göre uçucu küllerin SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 oksitlerinin toplamı %50'den fazla olması durumunda C sınıfı uçucu kül, %70'den fazla olduğunda ise F sınıfı uçucu kül olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre Türkiye'de üretilen uçucu küller F sınıfı uçucu küldür.

-Uçucu Küllü Betonun İşlenebilme Kabiliyeti

Hassan ve ark. (1997) çalışmasına göre, beton karışımında çimentonun ağırlıkça %10'nu yerine ikame edilen uçucu kül, beton su ihtiyacını %3-4 oranında azalttığını belirtmektedirler. Bu durum uçucu kül katkılı betonların işlenebilmesini katkısız betondan daha iyi olmasını sağlamaktadır. Ayrıca uçucu külün yoğunluğu portland çimentonun yoğunluğundan daha düşük olması, portland çimento yerine ikame edilen uçucu kül bağlayıcı hamurun hacmini artırır. Bağlayıcı hamurun hacminin artması

betondaki agrega tanelerinin arasını daha iyi doldurmaya olanak sağlamaktadır. Ayrıca küresel taneli uçucu kül, beton iç sürtünmesini azaltmakta, betonun akıcılığını da artırmaktadır (Erdoğan 2003).

-Uçucu Küllü Betonun Eğilme ve Basınç Dayanımı

İnce taneli yapı uçucu külün puzolanik etkisini artırmakta aynı zamanda su/bağlayıcı oranını düşürmektedir. Bu durum betonun basınç dayanım performansını artırmaktadır (Poon ve ark. 2000).

Uçucu küllü betonun erken yaşlarda nispeten düşük dayanım karakteristiklere sahip olduğunu ancak nihai dayanım silis dumanlı betonun dayanım ve taşıma karakteristiklerine ulaştığı tespit edilmiştir (Hasan ve ark. 2000), (Erdoğan 2003).

-Uçucu Külün Sülfat ve Diğer Zararlı Kimyasallara Karşı Dayanıklılığı

Uçucu kül içeren betonların sülfat direnci içermeyen betonlar ile aynı olmaktadır. Kimyasallara karşı dayanıklılığı etkileyen en önemli faktörler, maruz sülfat, su/bağlayıcı oranı, kür koşulları ve permeabilite dayanımıdır. F sınıfı uçucu küllerin permeabilitesi daha düşük olduğu için, betonun servis ömrü uzamakta ve betonun sülfat direncini arttırmaktadır (Nawy 2001).

Roy ve ark. (2001) çalışmasında, uçucu külün betonda %10'a kadar kullanılması kimyasal dayanımının arttırdığı fakat %15-30 arasında kullanıldığında kimyasal dayanımın azaldığını belirtmişlerdir.

-Uçucu Külün Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)'na Etkisi

%20-%30'a kadar yüksek CaO'lu uçucu kül ile %3-%5'e kadar silis dumanının birlikte kullanılmasının hem ASR hem de sülfat nedeniyle oluşan genleşmeleri azalttığı tespit edilmiştir (Blezynski ve Thomas 1998),(Thomas ve ark. 1999).

Uçucu kül ikamesi portland çimento miktarını azaltması C_3A'nın ve alkalilerin miktarlarını azaltacağından betonlarda alkali-agrega reaksiyonuna ve sülfatın olumsuz etkisini de düşürmektedir (Erdoğan 2003).

2.2.4.2. Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum metali veya ferro silisyum alaşımlarının üretimi sırasında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Oluşan toz şeklindeki bu malzeme mikrosilis, silis tozu

veya silica füme olarak adlandırılmaktadır. Silis dumanı amorf yapıya sahip oluşu ve yüksek miktarda SiO_2 içeriğinden dolayı çok iyi bir puzolanik malzemedir (Yeğinobalı 2007).

Silis dumanı, agrega ve çimento hamuru ara yüzeyini geliştirir ve erken puzolanik reaksiyonlar sayesinde betonun dayanımına ve geçirimsizliğine katkıda bulunur. Silis dumanı genelde betonun su gereksimini arttırır (Topçu 2006). Yüksek dayanımlı beton üretiminde silis dumanı yaygın olarak kullanılır (Erdoğan 2003), (Topçu 2006). Süper akışkanlaştırıcı katkılarla silis dumanının birlikte kullanımı betonda su/ çimento oranını azaltırken kaliteli bir içyapı elde edilmesini de sağlar (Aköz 2002).

Silis dumanı çok ince taneli oluşundan ve terlemeyi azalttığından beton yüzeyinin düzeltilmesi işlemi güçleşmektedir. Çoğu zaman plastik büzülme çatlaklarına neden olan silis dumanı genellikle betonun koyu renk kazanmasına sebep olur (Topçu 2006).

Silis dumanının betonda kullanımını, ilk olarak 1950 yılında Norveç Teknoloji Enstitüsünde araştırılmıştır. Beton dayanımına yarattığı pozitif etki farkedilince Oslo'daki Blindtarmen Tüneli'nin betonlarına %15 civarında silis dumanı katılarak inşa edilmiştir (Mehta 1986).

-Silis Dumanın Fiziksel Özellikleri

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden oluşur. Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgül yüzey bazında inceliği Blaine metoduyla tayin edilememektedir. Nitrojen emme yöntemi ile incelik değeri yaklaşık ~ 200.000 cm^2/gr olduğu belirlenmiştir. Silis dumanı tane boyu 1μ'dan küçük olup ortalama 0,1 μ civarındadır. Silis dumanının inceliği çimentodan ortalama 100 kere daha incedir (Yeğinobalı 2007). Malzemenin yoğunluğu 2.2 g/cm^3, birim hacim ağırlığı ise 200-250 kg/cm^3 mertebesindedir.

-Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri

Silis dumanının kimyasal özelliği, üretilen metalin ya da alaşımın tipine göre değişebilir. Esas bileşeni %85'in üzerindeki SiO_2 içeriğidir. İkinci esas bileşeni ise yanmamış karbon kalıntılarıdır. Silis dumanı ayrıca %1 ile %2 arasında Fe_2O_3 içeriğine sahiptir. Çok az miktarda da Na_2O, SO_3, Al_2O_3, MgO ve K_2O gibi oksitler bulunur. Farklı ülkelerde üretilen silis dumanın kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.12.'de verilmiştir (Yazıcı 1996).

Çizelge 2.12. Bazı tipik silis dumanlarının kimyasal kompozisyonu

Bileşen	**USA**	**Norveç**	**Kanada**	**Türkiye**
SiO_2	90-93	90-96	89-95	93-95
C	1.3-2.6	0.5-1.4	2.1-4.2	0.8-1.0
Fe_2O_3	0.4-0.7	0.2-0.8	0.1-3.1	0.4-1.0
Al_2O_3	0.5-1.6	0.5-3.0	0.1-0.7	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	0.3-1.0	1.0-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-1.0	0.6-1.0
Na_2O_3	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.2	0.1-0.4
K_2O	1.0-1.2	0.4-1.0	0.5-1.4	0.5-1.0
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.2	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	1.4-2.8	0.7-2.5	2.3-4.4	0.5-1.0

-Silis Dumanlı Betonun İşlenebilme Kabiliyeti

Çok ince taneli yapıya sahip silis dumanı taneleri çok büyük yüzey alanı nedeni ile betonun su gereksinimi artırmaktadır. Bu durumda $1m^3$ betona, her 1 kg SD için 1 litre su ilavesi öngörülmektedir (Sellevold ve Radjy 1983).

Silis dumanı çimentonun %5'i dolayında düşük dozda katılması durumunda su ilavesine gerek kalmayabilir. Ancak silis dumanı kullanılan beton karışımına akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcı gibi kimyasal katkılar ile birlikte kullanılması önerilmektedir. Silis dumanı katkıları kimyasal akışkanlaştırıcılar birlikte kullanıldığında su miktarını arttırmadan işlenebilirliği sağlamak mümkün olmaktadır (Khayat ve Aitcin 1992).

-Silis Dumanlı Betonun Eğilme ve Basınç Dayanımı

Silis dumanı katkılı betonlarda çekme ve eğilme dayanımlarının basınç dayanımına oranları katkısız betonlarınkine benzemektedir. Ancak süper akışkanlaştırıcı kimyasalların kullanılmaması ve silis dumanı miktarının artması durumunda, katkısız betona göre eğilme ve basınç dayanımını düşürmektedir (Khayat ve Aitcin 1992).

Beton basınç dayanımı su/bağlayıcı oranını düşürme ile artırılabilir. Bununla birlikte beton basınç dayanımı %20 silis dumanı katkısına kadar artmakta ve %10-%15 oranında maksimum seviyeye gelmektedir. (Duval ve Kadri 1998).

Silis dumanının çok ince taneli olması, betonda boşlukları doldurarak dolgu malzeme özelliği göstermesinin yanısıra puzolanik aktivitesinin çok yüksek olmasını, silis dumanı katılan betonlarda çok yüksek dayanımlar elde edilebilmesini sağlamıştır. Burada dikkat edilmesi gereken ince taneli yapı betonun su ihtiyacını artıracağından silis dumanlı beton üretiminde mutlaka yüksek miktarda su-azaltıcı türde kimyasal katkıların da kullanılmaları gerekmektedir. Böylece, "su/(çimento+SD)" miktarı düşük tutulabilmektedir (Erdoğan 2003).

-Silis Dumanın Sülfat ve Diğer Zararlı Kimyasallara Karşı Dayanıklılığı

Silis dumanı katkılı beton, su geçirgenliği daha az olduğundan bu tür betonlara daha az sülfatlı su sızabilmektedir bu sayede sodyum sülfata karşı çok iyi dayanım göstermesine rağmen, magnezyum sülfata karşı direnci silis dumanı miktarı arttıkça azalmaktadır (Park ve ark. 1999), (Erdoğan 2003).

Aköz ve ark. (1999) çalışmasına göre portland çimentolu harçların 40 ^{o}C'ye kadar ısıtılan magnezyum sülfat çözeltisindeki performansı artarken silis dumanı içeren harçlarda 180 gün sonunda mekanik ve fiziksel özelliklerinde ciddi oranda azalma olmaktadır.

-Silis Dumanın Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)'na Etkisi

Erdoğan (2003) çalışmasına göre, çimento ağırlığının %5-%15'i kadar silis dumanı ikame edilen betonlarda, betondaki alkali miktarının azalması ile, ASR'nin oluşumu azaltılabilir.

Silis dumanın ince taneli yapısı betonun permeabilitesini azaltmaktadır. %10 oranında silis dumanın ağırlıkça çimento yerine kullanılması, alkali-agrega reaksiyonuna neden olan temel faktörlerin önüne geçmektedir (Newman ve Choo 2003).

2.3. Bazalt Agregası

Bazalt çoğu zaman gri veya siyah renkte olup bazen açık gri renge sahip sert dayanıklı olan Dünya yüzeyinde en yaygın olarak bulunan volkanik kayaç türüdür (Le

Matire 2002). Bazalt doğal kırmataş hammaddelerinin Industrial Minerals and Rocks'ın jeolojik sınıflandırılmasında mağmatik guplardan volkanik kayaç olarak sınıflandırılmaktadır (Lefond 1985).

Çizelge 2.13. Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırması

GRUP	GENEL SINIFLAMA	KAYAÇ	YOĞUNLUK g/cm^3
MAĞMATİK	PLÜTONİK	Granit	2.60
		Siyenit	2.70
		Diyorit	2.80
		Gabro	2.90
		Peridotit	2.90
	VOLKANİK	Riyoht	2.60
		Trakit	2.60
		Andezit	2.60
		Bazalt	**2.80**
		Diyabaz	2.90
SEDİMANTER	KİMYASAL (KARBONATLI)	Dolomit	2.70
		Kireçtaşı	2.60
	KIRINTILI (SİLİSLİ)	Konglomera, kumtaşı, kuvarsit, arkoz, kiltaşı, çört	2.60
METAMORFİK	FOLİASYONLU	Amfibolit	3.00
		Şist	2.80
		Grays	2.70
	FOLİASYONSUZ	Mermer	2.70
		Kuvarsit	2.80

Industrial Minerals and Rocks'ın jeolojik sınıflandırılmasına göre bazaltın yoğunluğu ortalama olarak Çizelge 2.13.'te 2.80 g/cm^3 verilmiş olup beton agregası olarak kullanılacak kayaçların yoğunluğu ASTM C-127 standartlarına göre 2.70 g/cm^3, den düşük olması gereklidir.

2.3.1. Farklı Yörelere Ait Bazalt Taşının Kimyasal Analizleri

Araştırmaları yapılan bazaltlar, Orta Anadolu'da yaygın olarak gözlenen Niğde yöresinden seçilmiş ve bölgede beton agregası olarak yaygın bir kullanıma sahiptir. Alt Kuvaterner yaşlı Melendiz volkanitleri ile Kuvaterner yaşlı Karataş volkanitleri ve İğredağ bazaltlarıdır.

Bölgedeki rastlanan Kuvaterner öncesi volkanitler genellikle asidik özelliktedir. Bu volkanizmaların son ürünleri ise ortaç ve genellikle bazik bileşimlidir (Ercan ve ark . 1992), (Aydar ve Gourgaud 1993). Asidik özellik gösteren volkanitler alkali-agrega reaksiyonuna aktif olmalarından ötürü betonda agrega olarak kullanılmaları uygun değildir. Bundan ötürü bazik bileşime sahip İğredağ bazaltları, Karataş volkanitleri ile Melendiz volkanitlerinin içerisinde gözlenen bazaltik lavlar araştırma için uygun görülmüştür. Uygun görülen bazaltlardan 11 farklı lokasyondan örnekleme yapılmıştır. Bunlar; Melendiz volkanitlerine ait MV1, MV2, MV3, MV4, MV5 ve MV6, Karataş volkanitlerine ait KV1, KV2, KV3 ve KV4 ile İğredağ bazaltlarına ait IB1 örnekleridir. Farklı yörelere ait bazalt kayaçların kimyasal bileşenleri Çizelge 2.14.'te verilmiştir.

Çizelge 2.14. Farklı yörelere ait bazalt kayaçların kimyasal bileşenleri

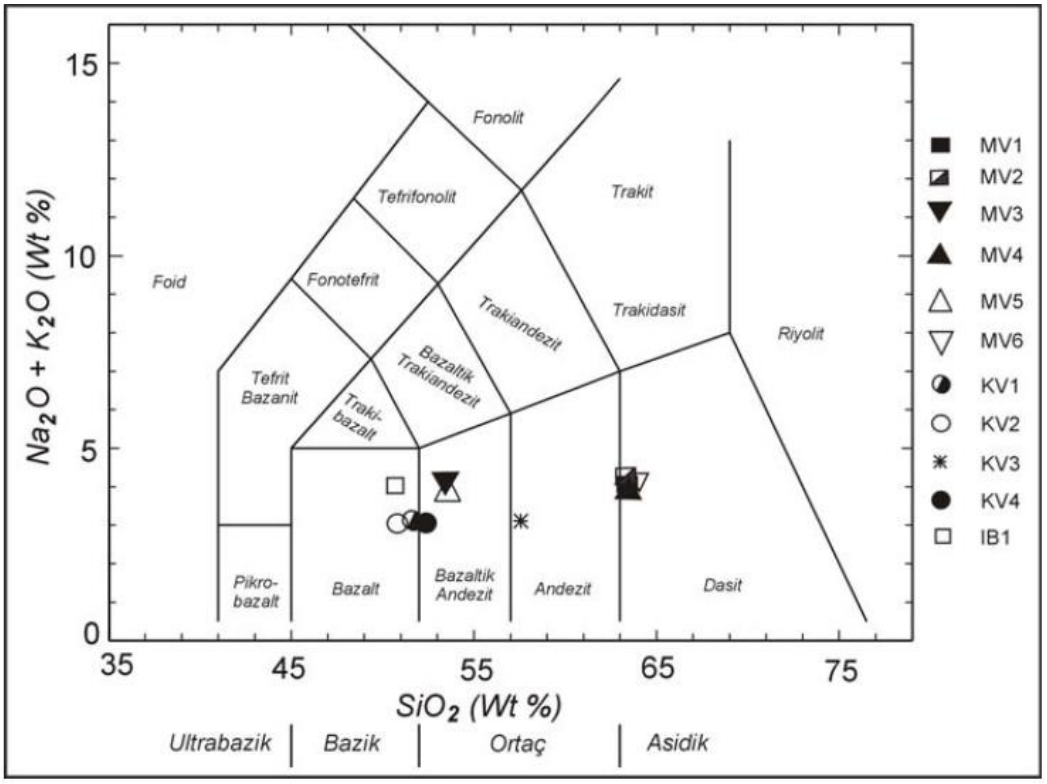
Bileşen (%)	MV 1	MV 2	MV 3	MV 4	MV 5	MV 6	KV1	KV2	KV3	KV4	IB1
SiO_2	60.97	60.92	51.19	51.07	60.89	60.97	49.17	48.36	54.36	49.06	49.69
Al_2O_3	17.01	16.99	17.14	17.02	16.90	16.79	15.91	16.05	20.37	16.65	15.48
Fe_2O_3	5.48	5.50	8.13	8.06	5.41	5.40	8.74	8.49	7.04	9.16	8.21
MgO	2.96	2.67	6.50	6.61	3.23	2.98	9.31	9.12	2.67	7.96	9.14
CaO	7.09	7.12	9.12	9.08	7.17	7.29	10.70	10.69	8.96	9.52	11.02
Na_2O	3.27	3.30	3.83	3.83	3.23	3.26	3.33	3.34	2.97	3.41	3.05
K_2O	1.21	1.21	1.61	1.63	1.28	1.18	0.68	0.67	1.81	0.89	1.00
TiO_2	0.70	0.70	1.31	1.30	0.69	0.70	1.12	1.29	0.71	1.54	1.01
P_2O_5	0.14	0.14	0.56	0.56	0.14	0.15	0.36	0.32	0.17	0.36	0.35
MnO	0.09	0.08	0.13	0.13	0.08	0.08	0.15	0.14	0.12	0.15	0.14
Cr_2O_3	0.009	0.007	0.025	0.026	0.008	0.006	0.048	0.049	< 0.001	0.031	0.055
A.K. 1000^OC	0.6	1.2	0.1	0.2	0.7	0.9	<0.1	1	0.6	0.8	0.4
Toplam	99.63	99.94	99.83	99.69	99.83	99.81	99.57	99.67	99.9	99.67	99.72

Bu çizelgede görüldüğü gibi bazaltlar; % 49.06 - 60.97 arasında değişen miktarda SiO_2 içermektedirler. Al_2O_3 miktarı % 15.48 - 20.37 arasında değişim göstermektedir. Toplam Fe_2O_3 oranı, Melendiz volkanitlerinin MV3 ve MV4 fasiyesleri dışındaki örneklerde düşük olup, % 5.40 – 9.16 arasındadır. MgO % 2.67- 9.31, CaO %

7.09 - 11.02 arasında değişim sunmaktadır. Na_2O % 2.97 – 3.83 ve K_2O % 0.67 – 1.81 arasında değişen değerlere sahiptir. TiO_2 % 0.69 – 1.54, P_2O_5 % 0.14 – 0.56 değerleri arasındadır. MnO değerleri düşük olup % 0.08 – 0.15 arasında bulunmaktadır. Cr_2O_3 oldukça düşük olup, % <0.001 – 0.049 arasındadır. Ateşte kayıp değerleri ise % <0.1 – 1.2 arasında değişmektedir.

Bazaltlar, Na_2O + K_2O ve SiO_2 içeriklerine göre, Le Maitre ve ark. (1989) sınıflandırması kullanılarak değerlendirilmiştir. Uluslararası Jeoloji Bilimleri Birliği (UJBB) magmatik kayaçların sistematiğine göre SiO_2 miktarı diğer bileşenler ile toplam ağırlık oranı %45-52, Na_2O+K_2O alkalilerinin toplamı % 5'i geçmeyen kayacın bazik özellikte olduğunu ve betonda kullanılması ASR'ye neden olmadığı belirtilmiştir (Le Maitre ve ark. 1989).

Bir kayaçta SiO_2'nin ağırlıkça yüzdesi, magmatik kayaçların bazik ve ultra bazik, andezit, asit grupların ayırt edilebilmesi için parametre olarak yüzyıla aşkın süredir kullanılır. Ancak SiO_2 kesin sayısal sınır değerleri yazardan yazara çeşitlilik gösterir. UJBB'nin 1981'de Cambridge toplantısında aldığı karar ile sınırların dengelemeye ihtiyaç olduğu ultabazik, bazik, andezit, asidik magmatik kayaçlarda ağırlıkça % SiO_2 miktarının sırasıyla 45, 52 ve 63 olması gerektiğine karar verilmiştir (Le Maitre ve ark. 1989). Bu sınıflamaya göre, Melendiz volkanitleri; bazaltik andezit ve andezit, dasit, Karataş volkanitleri; çoğunlukla bazalt, bazaltik andezit ve andezit, İğredağ bazaltları ise bazalt karakterindedir. Bazaltların Le Maitre ve ark. (1989)'a göre sınıflandırılması Şekil 2.17.'deki gibidir.



Şekil 2.17. Bazaltların sınıflandırılması

Katayama ve ark. (1989)'a göre, bazaltlardaki SiO_2 içeriği % 50'den fazla olduğunda andezit gibi davranmakta ve potansiyel ASR'ye reaktif agrega özellik gösterebilmektedir.

Katayama (2002) volkanik kayaç türlerinin ASR etkisinde yapıya vermiş olduğu zarar şiddetini araştırdığı çalışmasında andezitin en reaktif kayaç olduğunu, ASR olarak betona en şiddetli zarar veren kayaç türünün andezit olduğu dasit ve riyolitin ise daha az zararlı etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

ASTM C 1260 standardına uygun olarak gerçekleştirilen hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde bazaltın, opal, çört, kalsedon gibi sedimanter kayaçlar ile karşılaştırıldığında ASR'yi oluşturan en zararsız agrega olarak tanımlanmıştır (Binal 2004).

2.3.2. Diyarbakır Bazaltı

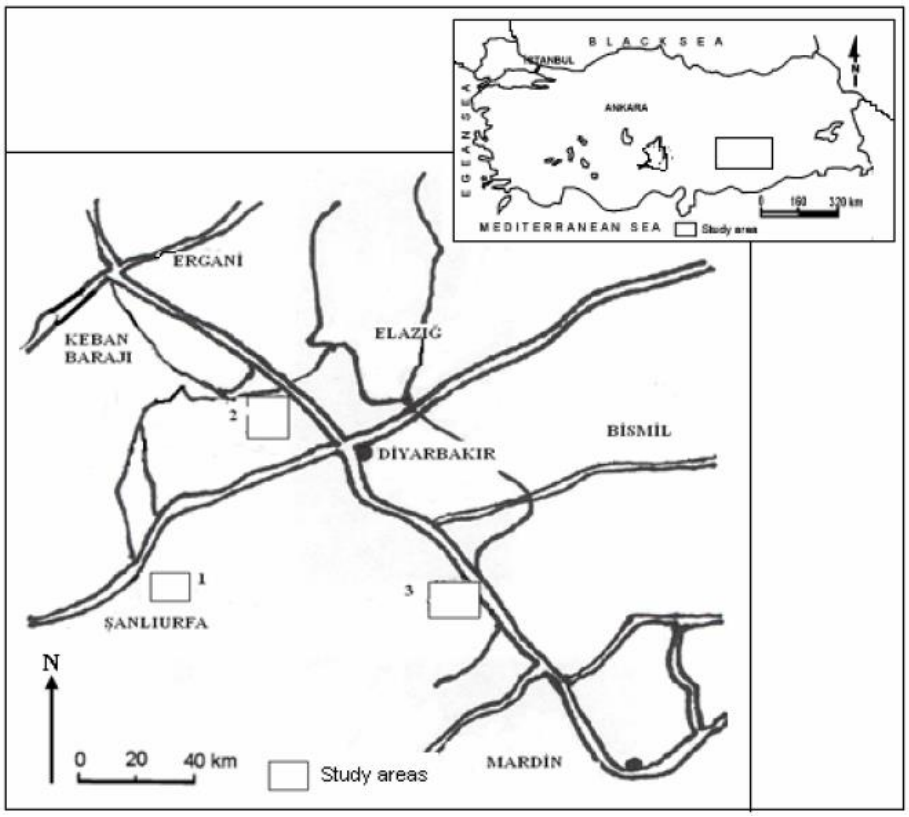
Diyarbakır-Karacadağ bazalt yatakları Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bazı yerlerde 80 metre kalınlığına ulaşan 10000 km^2 lik geniş bir alana yayılmıştır. Diyarbakır şehri de çok eski zamanlardan bu yana bu bazalt zemin üzerinde

bulunmaktadır (Erkan 1995). Diyarbakır bazaltının Diyarbakır ili çevresinde yayılışı Şekil 2.18.'de gösterilmiştir.



Şekil.2.18. Bazaltın Diyarbakır ili çevresinde yayılışı

Şekil 2.19.'da Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Diyarbakır ili haritasında çalışmaya ait Diyarbakır-Karacadağ bazaltının yaygın olarak görüldüğü üç bölgeden numunemeler alınmıştır. Bu bölgeler; I. Bölge Diyarbakır'ın batısı (Şanlıurfa yolu), II. Bölge Diyarbakır'ın kuzeyi (Elazığ yolu) ve III. bölge Diyarbakır'ın doğusudur (Mardin yolu) (Yıldız ve ark. 2008).



Şekil 2.19. Diyarbakır-Karacadağ bazalt numunelerin alındığı bölgeler

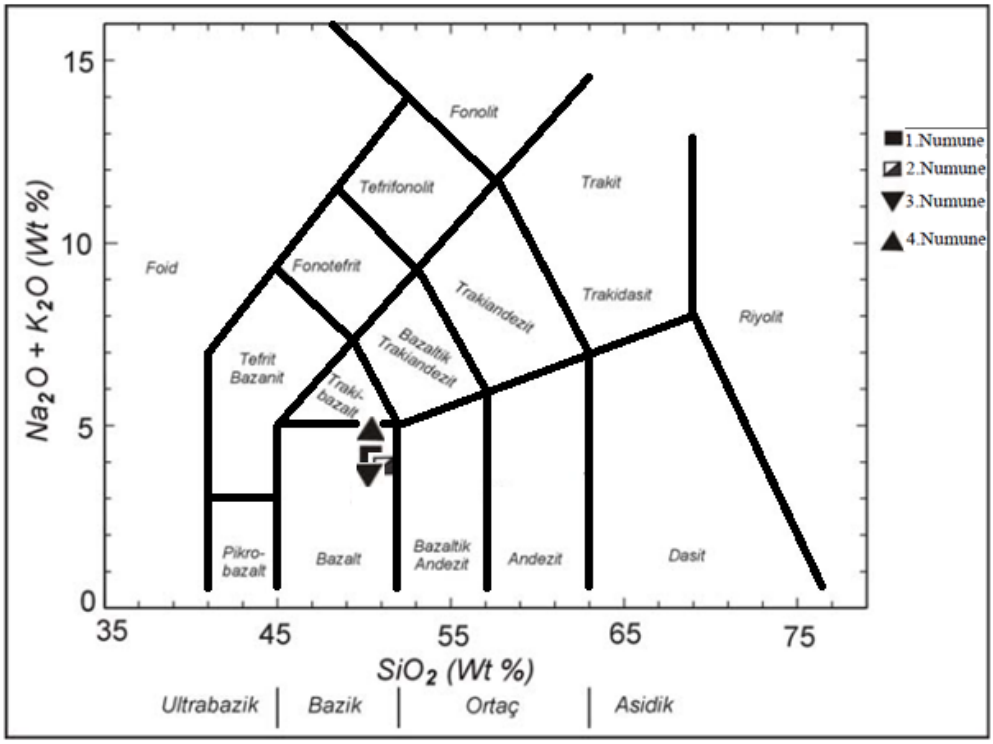
Batısında Diyarbakır-Şanlıurfa, kuzeyinde Diyarbakır-Elazığ ve güneyinde Diyarbakır-Mardin yolu üzerindeki bölgelerde 120-130 km çapında geniş bazalt platolarına rastlanmaktadır. Koyu gri renge sahiptir. Bazalt su emme, paslanma, dona, yüksek dayanımı sayesinde darbelere ve sürtünmelere karşı çok dayanıklıdır (Erkan 1995).

Diyarbakır-Karacadağ bazaltının sahip olduğu yüksek aşınma dayanımı, düşük ısıl iletkenlik, asitlere ve dona karşı dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde günümüzde kullanım alanları çeşitlilik kazanmış olup üzerindeki araştırmalar artmıştır (Yıldız ve ark. 2008).

Diyarbakır bazaltının fiziksel ve kimyasal yapısı üzerine ülkemizde olduğu gibi yurtdışında da bazı araştırmalar yapılmıştır. Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsünde tarafından X-ray flouresans spektrometresi ile (XRF) Karacadağ zirvesine yakın farklı yerlerden alınan bazalt numunelerin temel element kimyasal analizler yapılmıştır. Bu araştırmaya göre Karacadağ'ın farklı bölgelerinden alınan bazalt taşının kimyasal bileşenleri Çizelge 2.15.'teki gibidir (Yıldız ve ark. 2008).

Çizelge 2.15. Diyarbakır bazaltının kimyasal bileşenleri

Bileşenler	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4.Numune
SiO_2	46.04	48.70	46.79	45.88
TiO_2	3.18	2.62	2.94	2.86
Al_2O_3	13.89	14.05	14.18	13.68
Fe_2O_3	4.89	4.32	4.62	4.69
FeO	8.80	7.78	8.31	8.44
MnO	0.15	0.15	0.16	0.16
MgO	8.76	8.57	9.19	8.82
CaO	9.12	8.67	8.77	9.32
Na_2O	3.64	3.23	3.18	3.78
K_2O	1.04	1.36	1.30	1.63
P_2O_5	0.44	0.48	0.51	0.69



Şekil 2.20. Diyarbakır taşının Le Maitre (1989) sınıflandırması

Şekil 2.20.'ye göre Diyarbakır bazaltı olarak alınan tüm numuneler kimyasal değerleri göz önünde bulundurularak, Le Maitre (1989) sınıflandırmasına göre bazik özelliktedir. Katayama ve ark. (1989)'a göre, SiO_2 içeriği % 50' den az olduğu için potansiyel reaktif agrega özelliği göstermediğinden beton agregası olarak kullanılmasında ASR bakımından herhangi bir sakıncası olmadığı görülmektedir.

2.3.2.1. Diyarbakır Karacadağ Bazaltının Mekanik Özellikleri

-Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Diyarbakır bazaltı gözenekli ve gözeneksiz olmak üzere iki çeşidi vardır. Düşey doğrultuda dik olarak etkiyen yükler karşısında Diyarbakır bazaltının davranışları ve dayanımları belirlenmiş olup Diyarbakır bazaltı gözenekli ve gözeneksiz tek eksenli basınç dayanımı Çizelge 2.16.'da çekme dayanımı Çizelge 2.17.'de verilmiştir (Acar 2002).

Çizelge 2.16. Gözenekli ve gözeneksiz bazaltın tek eksenli basınç dayanımı

Cinsi	No	Num.Çapı (mm)	Num.Boyu (mm)	Boy-çap oranı	Yüzey Alan (mm^2)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort.Basınç Dayanımı (Mpa)
Gözeneksiz	1	41	101	2.46	1320.25	111.34	89.10
	2	42	102	2.43	1385.44	101.63	
	3	42	102	2.43	1385.44	75.43	
	4	41	104	2.54	1320.25	78.46	
	5	41	102	2.49	1320.25	78.62	
Gözenekli	6	42	104	2.48	1385.44	43.89	51.76
	7	42	103	2.45	1385.44	49.95	
	8	42	102	2.43	1385.44	51.32	
	9	41	108	2.63	1320.25	61.12	
	10	42	102	2.43	1385.44	52.51	

Çizelge 2.16.'ya göre çapı 42 mm yüksekliği 102 mm olan 5 adet numunenin Diyarbakır bazalt taşının tek eksenli basınç dayanım ortalaması gözenekli için 51.76 N/mm^2 (Mpa), gözeneksiz ise 89.10 Mpa N/mm^2 (Mpa)'dır (Acar 2002).

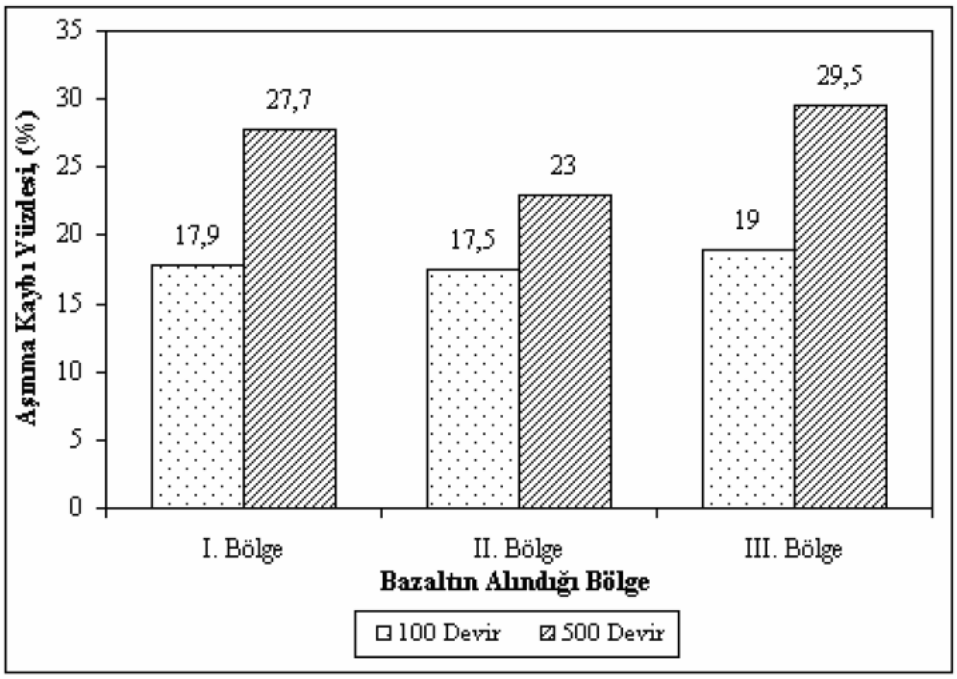
Diyarbakır bazaltının birim ağırlığı bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Bazalt taşının Diyarbakır'ın batısında Şanlıurfa yolu üzerinde birim ağırlık değeri 2.66-2.79 g/cm^3, kuzeyinde Elazığ yolu üzerinde birim ağırlık değeri 2.91-2.93 g/cm^3 ve güneyinde Mardin yolu üzerinde birim ağırlık değeri 2.45-2.47 g/cm^3 değerlere sahiptir (Keleşoğlu 2008).

Çizelge 2.17. Gözenekli ve Gözeneksiz Bazaltın Çekme Dayanımı

Cinsi	No	Num.Çapı (mm)	Num.Kalınlığı (mm)	Kal.-çap oranı	Yenilme Yükü (kN)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Ort.Çekme Dayanımı (Mpa)
Gözeneksiz	1	56	27	0.48	32.9	14.37	13.94
	2	56	27	0.48	33.0	14.42	
	3	56	27	0.48	38.5	16.82	
	4	56	27	0.48	26.0	11.36	
	5	56	27	0.48	29.4	12.84	
Gözenekli	6	56	27	0.48	16.0	6.99	7.16
	7	56	27	0.48	19.3	8.43	
	8	56	27	0.48	13.2	5.77	
	9	56	27	0.48	16.1	7.03	
	10	56	27	0.48	17.4	7.60	

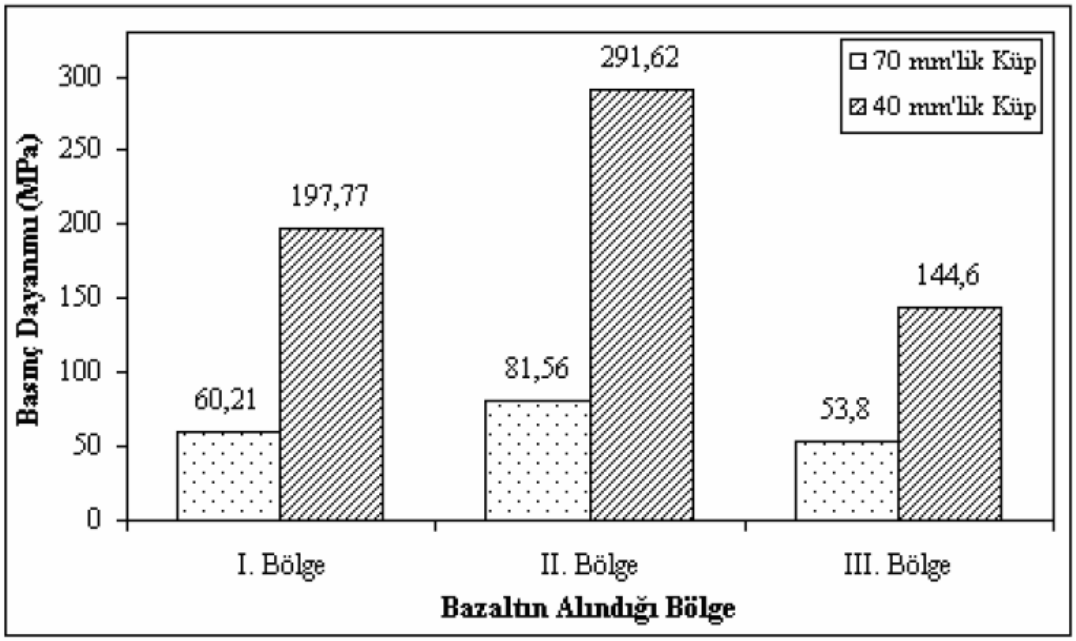
Çizelge 2.17.'ye göre gözeneksiz bazaltın ortalama çekme dayanımı; 13.94 MPa, gözenekli bazaltın ortalama çekme dayanımı ise 7.16 MPa olarak hesaplanmıştır (Acar 2002).

Diyarbakır-Karacadağ yöresinin I.bölge (Diyarbakır-Şanlıurfa),II.bölge (Diyarbakır-Elazığ) ve III. Bölge (Diyarbakır-Mardin) olmak üzere üç farklı bölgesinden alınan bazalt taşların aşınma mukavemetini tespit etmek amacıyla yapılan 100 ve 500 devirde Los Angeles aşınma kaybı deney sonuçlarına ait veriler Şekil 2.21.'de grafik olarak gösterilmiştir. Buna göre aşınma kaybı değeri birim ağırlık değerine ters orantılı olarak değiştiği saptanmıştır (Acar 2002).



Şekil 2.21. Numunelerin aşınma kaybı yüzdelerinin bölgelere göre değişimi

Diyarbakır-Karacadağ bazalt taşlarına ait tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 2.23. ’de gösterilmiştir.

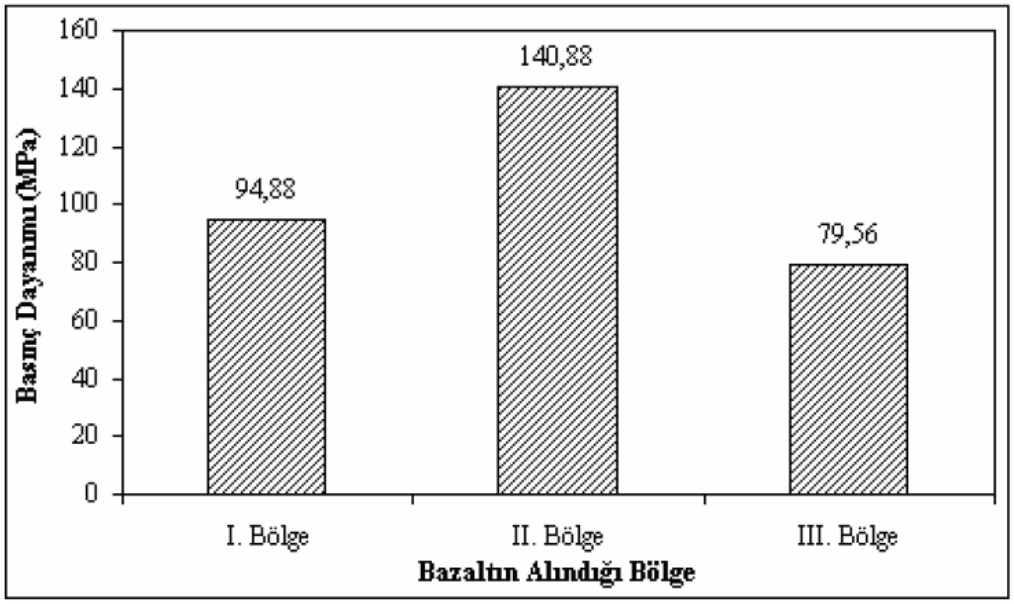


Şekil 2.22. Diyarbakır bazalt taşları üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları

Diyarbakır-Karacadağ yöresinin farklı bölgelerine ait bazalt taşalarının tek eksenli basınç dayanım değerleri incelendiğinde, Şekil 2.22.’de görüldüğü gibi en

yüksek basınç dayanımı değeri yoğunlukla doğru orantılı olarak II. Bölgesinde Diyarbakır-Elazığ yolu üzerinden alınan numunelerden elde edilirken, en düşük basınç dayanımı değerini ise III. Bölgedeki Diyarbakır-Mardin yolu üzerinde alınan numunelerde elde edilmiştir.

Silindirik numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları ise Şekil 2.23.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Silindirik numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Şekil 2.23.'te gösterilen Diyarbakır bazalt agregasına ait silindirik numunelerin basınç dayanım değerlerine göre en yüksek basınç dayanımı değerini Diyarbakır- Elazığ yolu üzeri olan II. Bölgeden alınan numuneler gösterirken, en düşük basınç dayanımı değerini ise Diyarbakır-Mardin yolu üzeri olan III. Bölgedeki numuneler göstermiştir.

Karacadağ bazalt taşı bölgede beton agregası olarak kullanılan diğer kayaç türü olan kalker ile karşılaştırıldığında basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı gibi birçok önemli özelliği kalkerinkinden çok üstündür. Kalkerin, fiziksel ve mekanik gibi agreganın önemli özelliklerini oluşturan değerlerin, standartta öngörülen sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Karacadağ bazaltının ısıl iletkenliği, normal betonun ısıl iletkenliğine yakındır ancak kalkerin biraz daha büyüktür. Bazalt ve kalkerin fiziko-mekanik ve ısıl özellikleri aşağıda Çizelge 2.18.'de verilmiştir (Gümüşçü ve Turgut 2012).

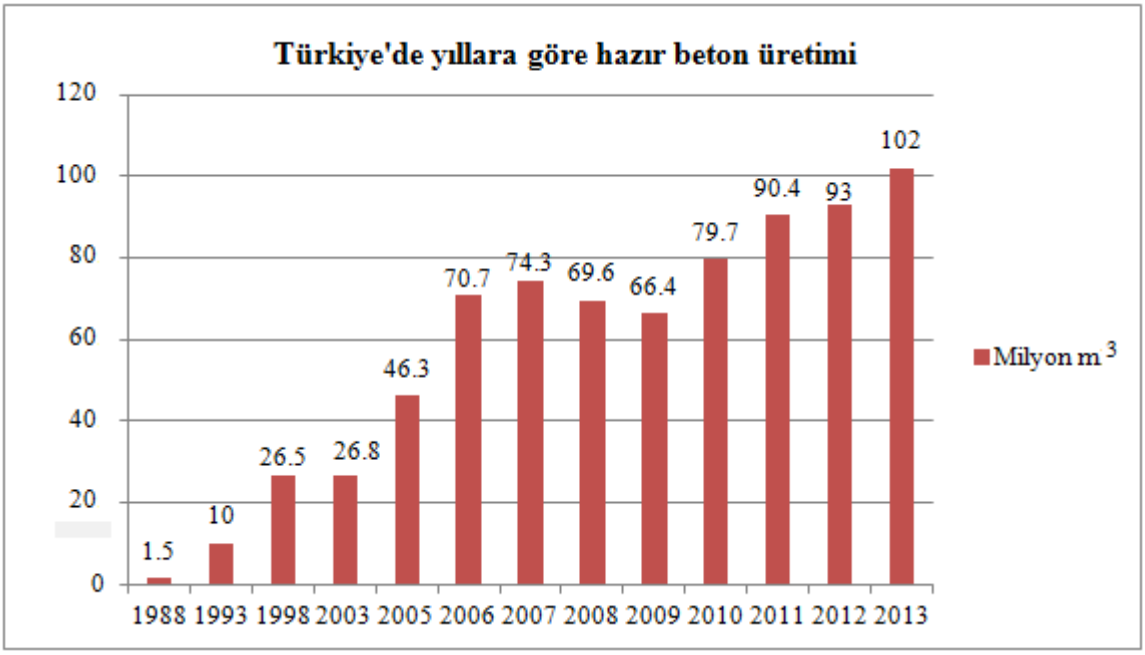
Çizelge 2.18. Bazalt ve kalkerin fiziko-mekanik ve ısıl özellikleri

		Bazalt	**Kalker**
Basınç dayanımı (Mpa)	kuru	97.60	17.80
	doygun	83.20	14.65
Basınç dayanımı (Mpa)	kuru	16.20	4.90
	doygun	13.90	4.16
Schmidt çekici (Mpa)	kuru	75.00	21.00
	doygun	67.50	15.80
Don sonrası basınç dayanımı (Mpa)		83.90	16.30
Elastisite Modul (Gpa)		68.50	14.00
Poisson oranı		0.25	0.31
Ağırlıkça su emme (%)		0.81	8.40
Hacimce su emme (%)		2.17	19.22
Su emme (g/cm^3)		0.022	0.174
Kılcal su emme ($cm/sn^{0,5}$)		1.52	1.23
Birim ağırlık (g/cm^3)		2.69	2.08
Yoğunluk boşluk miktarı (%)		6.80	19.22
Aşınma Kaybı ($cm^3/50$ cm^2)		18.75	27.76
Donma-Çözülme kaybı (%)		6.90	0.07
Isıl iletkenlik (W/m.K)		1.74	1.42
Ultrason hızı (km/sn)		4.70	3.40

2.4. Türkiye ve Dünya'da Hazır Beton Üretimi

Türkiye'de hazır beton üretimi ilk kez 1988 yılında beton üreticilerin bir araya gelmesi ile oluşturdukları hazır beton birliği (THBB)' nin kurulması ile başlamıştır. Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) üyesi tüm hazır beton tesisleri TS EN 206-1 beton standartına uygun üretim yapmak zorundadırlar.

Türkiye'deki konut ihtiyacının birçoğu betonarme olması itibari ile beton üretimi, kentsel dönüşüm, havaalanı, köprü, sanat yapılar gibi projelerin hayata geçirilmesi ile son yıllarda sürekli artış göstermektedir. Türkiye'de beton üretimi THBB'nin 2014 yılı raporuna göre yıllık 102 milyon m^3 olmuştur. Türkiye'deki yıllara göre hazır beton üretimi Şekil 2.24.'te verilmiştir (THBB 2014).



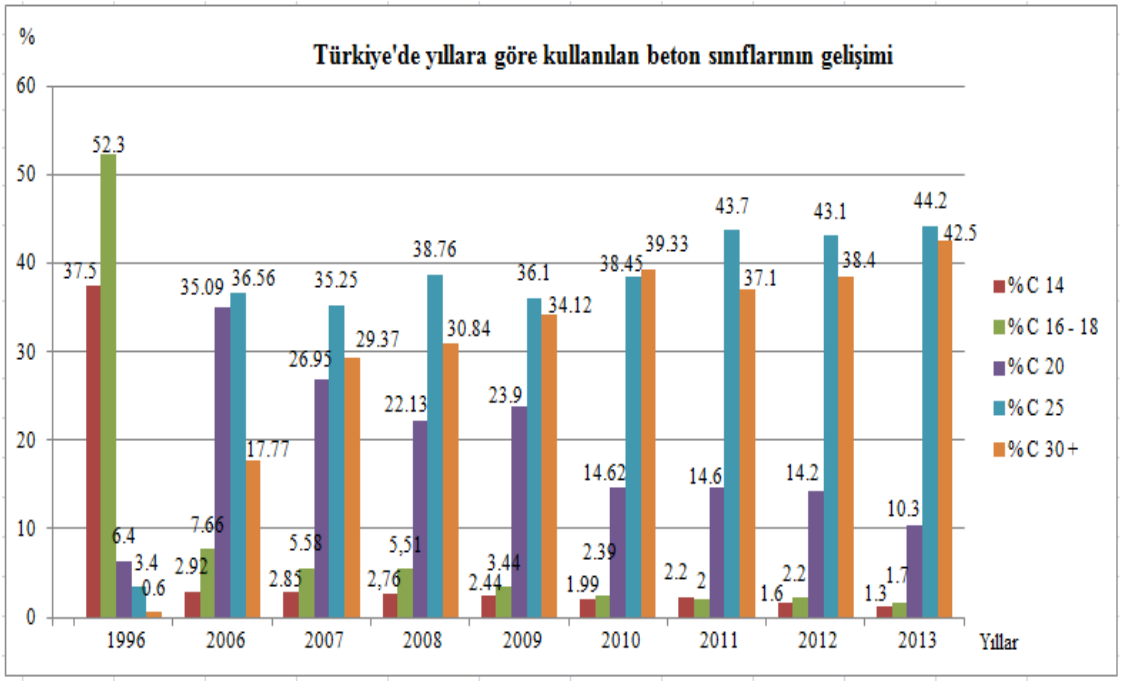
Şekil 2.24. Türkiye'deki yıllara göre hazır beton üretimi

Türkiye'de olduğu gibi dünyada da beton üretimi yüksektir. Türkiye, hazır beton üretiminde 2009 yılından beri Avrupa'da birinci sırada olup dünyada ise 2013 yılında Çin ve ABD'nin ardından üçüncü sıraya yükselmiştir (THBB 2014). Avrupa birliği ülkelerin toplam beton üretimi yıllara göre düşüş göstermektedir. Türkiye'de kişi başına üretim yaklaşık 1.27 m^3 iken Avrupa birliği ülkelerinde yaklaşık 0.42 m^3 olup dünya'da ortalama yaklaşık 0.70 m^3'tür (THBB 2014). 2011-2013 yılları arasında en büyük düşüş İspanya'da görülmüştür. En fazla artış ise Türkiye'ye aittir. Hazır beton üretiminin ülkelere göre dağılımı Çizelge 2.19.'da gösterilmiştir (THBB 2014).

Çizelge 2.19. Ülkelerin yıllık hazır beton üretimi

Ülke	Hazır Beton Üretimi (milyon m^3)		Kişi başı hazır beton Tüketimi (m^3/Kişi)	
	2012 yılı	2013 yılı	2012 yılı	2013 yılı
Avusturya	10.6	10.5	1.30	1.20
Belçika	12.5	12.5	1.10	1.10
Çekya	6.9	6.5	0.70	0.60
Danimarka	2.0	2.3	0.40	0.40
Finlanda	2.7	2.7	0.50	0.50
Fransa	38.9	38.6	0.60	0.60
Almanya	46.0	45.6	0.60	0.60
İrlanda	2.4	2.4	0.50	0.50
İtalya	39.9	31.7	0.70	0.50
Hollanda	7.3	6.6	0.40	0.40
Polonya	19.5	18.0	0.50	0.50
Portekiz	3.7	2.7	0.30	0.30
Slovakya	1.9	1.7	0.30	0.30
İspanya	21.6	16.3	0.50	0.30
İsveç	3.3	-	0.3	-
Birleşik Krallık	17.6	19.6	0.3	0.3
İsrail	13	14	1.6	1.7
Norveç	3.7	3.8	0.7	0.8
İsviçre	13	12	1.6	1.5
Toplam Avrupa Birliği	236.8	217.7	0.46	0.42
Türkiye	93	102	1.2	1.3
Rusya	42	44	0.3	0.3
Amerika	225	230	0.7	0.7

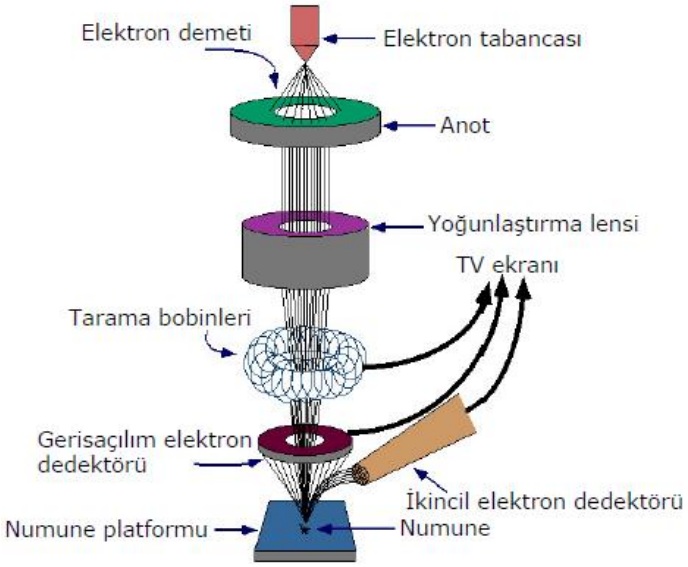
Beton sınıflarına göre üretim, yılların ihtiyaçlarına göre değişkenlik göstermiştir. 1996 yılı itibari ile en fazla C16- C18 sınıfı beton üretimi yapılmışken günümüzde ise C25- C30 beton sınıfı en fazla üretilen beton sınıfı olmuştur. Türkiye'de üretilen beton sınıfının yıllara göre dağılımı Şekil 2.25.'de gösterilmiştir (THBB 2014).



Şekil 2.25. Türkiye'de üretilen beton sınıfının yıllara göre dağılımı

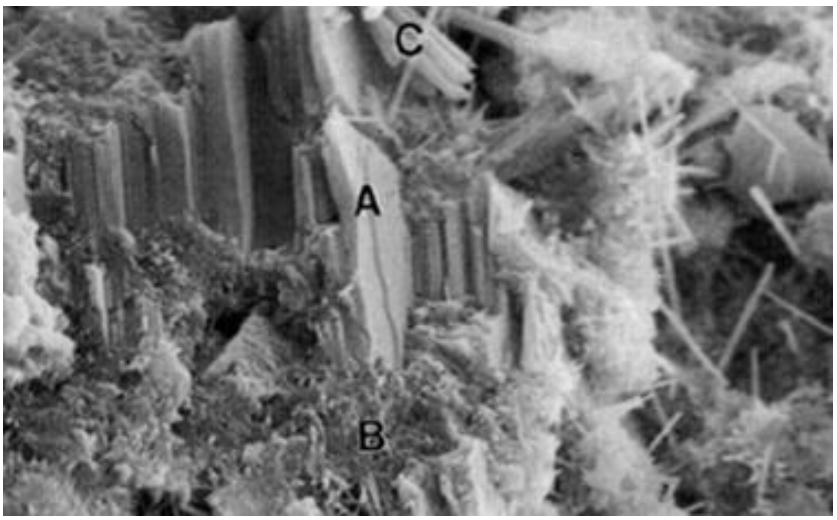
2.5. Betonun Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile Görüntülenmesi

Taramalı Elektron Mikroskobun (SEM) çalışma prensibi, yüzeyi incelenecek numuneye, Tungsten, Lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu (FEG) gun'dan çıkan elektronların gönderilmesi sonucu meydana gelen etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır. SEM'de genel olarak bu elektron enerjisi 200-300 eV'dan 100 keV'a kadar değişebilir. Bu amaçla, yoğunlaştırıcı elektromanyetik mercekle toplanan, objektif mercekle odaklanan elektron demeti, yine elektromanyetik saptırıcı bobinlerle örnek yüzeyinde tarama işlemini (scanning) gerçekleştirir. Bir taramalı elektron mikroskobunda görüntü oluşumu temel prensip; elektron tabancasından çıkan elektron demetlerinin incelenen numuneni yüzeyi ile yaptığı elastik, elastik olmayan çarpışmalar gibi fiziksel etkileşim sonucunda ortaya çıkan sinyallerin detektörce toplanması ve incelenmesi dayalıdır ve bunun sonucunda sinyaller görüntüye dönüşür (TAEK 2009). SEM'in çalışma prensibi Şekil 2.26.'da verilmiştir.



Şekil 2.26. Taramalı elektron mikroskopunun görüntüleme prensibi

Elektro manyetik mikroskop bir çok alanda kullanıldığı gibi beton araştırmalarında kullanılmaktadır. Beton hidratasyon ürünleri ve yan ürünlerinin araştırılması ile ilgili çalışmada Şekil 2.27.'de A ile gösterilen betonda dolgu görevi gören C-H bağı, B ile gösterilen betonda bağlayıcılık özelliği kazandıran C-S-H bağı ve C ile gösterilen yan ürün olan etrenjit iğneleri görüntülenmiştir (Arslan 2006).

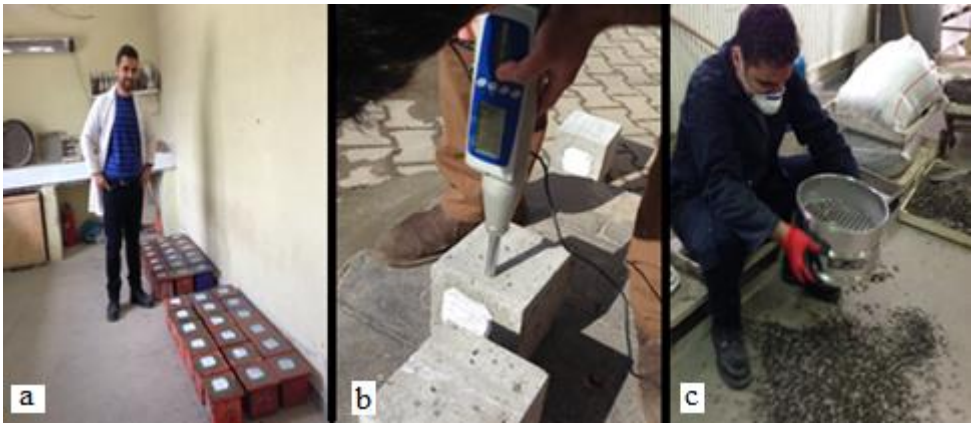


Şekil 2.27. Beton numunesinin hidratasyon ürünlerinin SEM görüntüsü

3. MATERYAL VE METOT

3.1.Materyal

Tez çalışmasında hazırlanan numunelerin bir kısmı Şekil 3.1.a.'da beton dayanım değerinin tespiti için yapılan Schmidt çekici deneyi Şekil 3.1.b.'de, deney kullanılan bazalt agreganın elek analizi ile çalışması Şekil 3.1.c.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışma

3.1.1. Kimyasal Analiz

Mineral katkılardan silis dumanı Elbistan termik santralinden alınmıştır. Silis dumanı Mısır orjinli olup İstanbul Aryum firmasından alınmıştır. Mineral katkıların analiz sonuçları Limak Ergani çimento fabrikasında yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1.'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 . Bağlayıcı malzemelerin kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	**Silis Dumanı**	**Uçucu Kül**	**CEM I 42.5**
	%	**%**	**%**
SiO_2	90.50	58.02	21.13
TiO_2	0.02	1.76	-
Al_2O_3	1.86	23.31	4.98
Fe_2O_3	2.63	5.91	3.73
MgO	0.78	1.88	1.13
CaO	0.42	3.78	65.23
Na_2O	0.16	0.84	0.28
K_2O	0.97	1.76	0.78
SO_3	0.14	0.05	3.09
K.Kaybı	1.68	2.46	1.29
Rutubet	0.67	0.12	-

Çizelge 3.1.'e göre silis dumanının SiO_2 miktarı ağırlıkça %90'nın üzerindedir. Uçucu kül Bölüm 2.2.4.1.'de anlatılan ASTM C 618 standardına göre $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ yüzdesi %70'den fazla olduğu için F sınıfı uçucu küller sınıfına girmektedir. Deneyde kullanılan CEM I 42.5 sınıfı çimento Bölüm 2.1.2.2.'de anlatıldığı üzere $Na_2O + 0.66.K_2O > \%0.6$ olduğu için ASR etkisine karşın reaktif özellikte olabilir.

Deneyde kullanılan bazalt agregası kimyasal analizleri Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezin (DÜBTAM)'de yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 . Diyarbakır bazaltı kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	**Diyarbakır Bazaltı**
	%
SiO_2	50.28
TiO_2	1.00
Al_2O_3	22.60
Fe_2O_3	3.24
MgO	4.55
CaO	5.76
Na_2O	6.00
K_2O	1.50
P_2O_5	0.50

Bazalt agregası Bölüm 2.3.1.'de anlatılan Le Maitre ve ark. (1989)'nın çalışmasına göre bazik karaktere sahip olup alkali silika (ASR)'ye reaktif özellik göstermemektedir.

3.1.2. Fiziksel Analizler

3.1.2.1. Blaine Deneyi (özgül yüzey alanı tayini)

Blaine testi malzemenin gramındaki cm^2 cinsinden toplam alan olarak özgül yüzeyi belirterek malzemenin inceliğinin hesaplanmasında kullanılır. Blaine deneyinde özgül yüzey alanı tayini yapılırken hesap yöntemi mutlak olmaktan ziyade mukayese ile hesaplanmaktadır. Böylece özgül yüzeyi bilinen referans bir numune cihazın kalibrasyonu için gereklidir. Blaine deney aleti Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Blaine Deney Aleti

Limak Ergani Çimento Fabrikasında TS EN 196:6, ASTM C 204 standartlarına uygun blaine test aleti kullanılarak malzemelerin blaine deneyi ile özgül yüzey alanı tayinleri yapılmış sonuçları Çizelge 3.3.' te aşağıda verilmiştir.

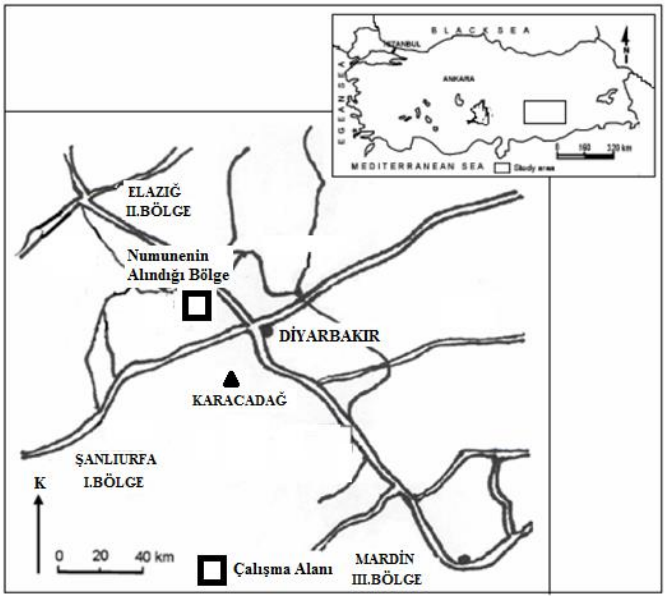
Çizelge 3.3. Blaine deneyi sonuçları

Malzeme	Blaine Değeri (cm^2/gr)
Silis dumanı	-
Uçucu Kül	2172
P.Ç. 42.5 Çimento	3874

Silis Dumanı çok ince olması sebebiyle Blaine deney aleti hassasiyetiyle ölçülememektir. Özgül yüzey alanı ancak nitrojen emme yöntemi ile yaklaşık değeri ~ 200.000 cm^2/gr olduğu hesaplanabilmektedir.

3.1.2.2. Agrega

Agrega, ince ve iri bazalt agrega olarak Diyarbakır ili Elazığ yolu (II. Bölge) üzeri taş ocağından temin edilmiştir. Agreganın temin edildiği bölge Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Bazalt Numunesinin alındığı bölge

-Elek Analizi

İnce ve iri agregayı ayıran elek boyutu, Türk standartlarında 4 mm, Amerikan standartlarında ise, 4.75 mm'dir. Beton yapımında agreganın uygun veya iyi olarak kabul edilmesi için agrega karışım oranın TS 706 standartlarına uygun olması gerekmektedir. Standartlara uygun agrega karışımı taze betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi, ince ve iri tanelerin ayrışmasına engel olarak betonun üniform olmasını sağlayarak betonda uygun işlenebilme, dayanım ve dayanıklılığının elde edilmesindeki en önemli husustur. Bu yüzden elek analizi beton üretiminde önem arz etmektedir.

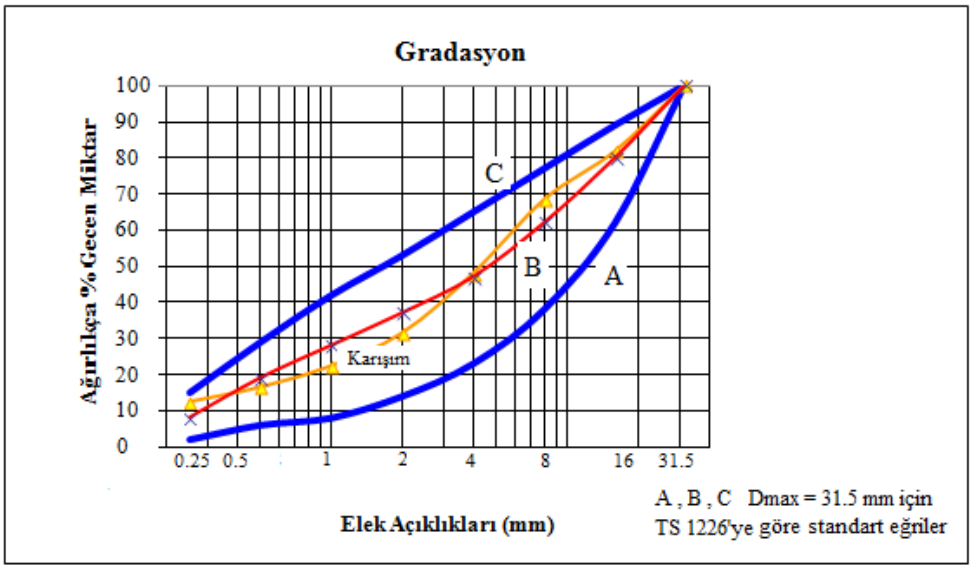
Beton karışımında kullanılan Diyarbakır kırma bazaltın elek analizi Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Elek analizi sonuçları

		Agrega grupları			Agrega karışım geçen (%)	D_{max} 31.5mm için Limit Değerler (TS 1226)
Elek çapı		Kırma İri Bazalt (16-32mm)	Kırma İri Bazalt (8-16mm)	Kırma İnce Bazalt (0-8mm)		
31.5 mm	Elekten geçen (%)	100	100	100	100	100
16 mm		24.33	100	100	82	62-89
8 mm		0.61	61.25	100	68	38-77
4 mm		-	8.35	82.77	48	23-65
2 mm		-	-	56.18	31	14-53
1 mm		-	-	39.89	22	8-42
0.5 mm		-	-	29.33	16	5-28
0.25 mm		-	-	22.10	12	2-15
Karışım yüzdesi		%24	%20	%56		

Agrega gradasyonunun uygun olup olmadığının tespiti için, Türk standartları tarafından en büyük tane çapına göre (8, 16, 31.5, 63 mm) eğriler verilmektedir. Uygun karışım gradasyonu için aşağıdan yukarıya doğru A, B ve C harfleri ile standart eğriler gösterilmektedir. Eğer karışım gradasyonu A-B eğrisi arasında ise gradasyon çok iyi, B-C eğrileri arasında ise kullanılabilir olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 3.14'te agrega gruplarından (0-8 mm) aralığına sahip kırma bazalt kumdan kütlece % 56, (8-16 mm) aralığına sahip kırma iri bazalt agregasından kütlece % 20, (16-32 mm) aralığına sahip kırma iri bazalt agregasından kütlece % 24 oranında karıştırılmıştır.

Deneyde kullanılan Diyarbakır bazalt agregasının beton karışımına uygunluğu Şekil 3.4.'te D_{max} =31.5 mm olan gradasyon eğrisinde gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deneyde kullanılan agreganın gradasyon eğrisi

Deneyde kullanılan Diyarbakır kırma bazalt agregası su muhtevası ve su emme kapasitesi Çizelge 3.5.' te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney agregasının bazı özellikleri

Agrega Grubu	Kırma kum bazalt (0-8 mm)	Kırma İri bazalt 1 (8-16 mm)	Kırma İri bazalt 2 (16-32 mm)	Standart
Agrega Su Muhtevası (%)	5.6	0.8	1.0	
Su Emme Kapasitesi	2.712	1.317	1.082	< 2.0 ASTM C-127
Özgül Ağırlık	2.733	2.792	2.797	< 2.70 ASTM C-127

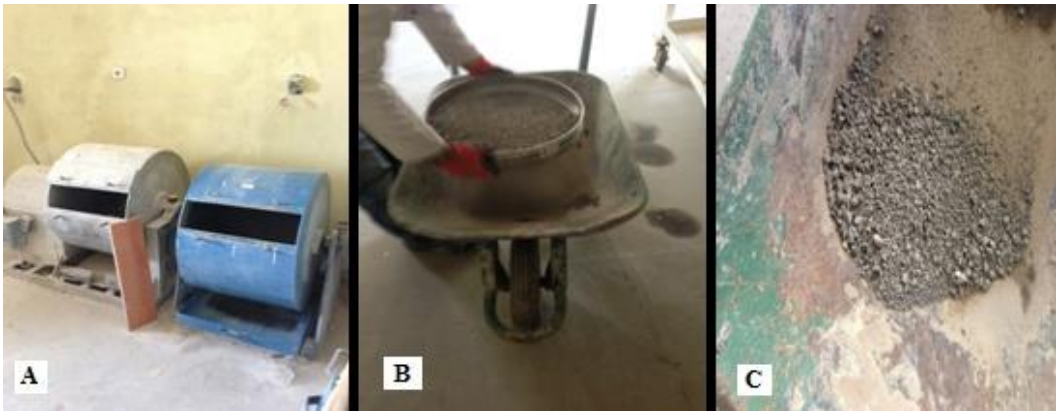
Çizelge 3.5.'e göre deneyde kullanılan bazalt agregasının su emme kapasitesi ve özgül ağırlık değerleri ASTM C-127'de verilen sınır değerleri sağlamaktadır.

-Los Angeles Aşınma Deneyi

TS EN 1097-2 standartlarına göre yapılan aşınma deneyinde 5000 gr ağırlığında, granülometri bileşimi 8-16 mm grup agreganın %70'i 16-32 mm'lik grup agreganın %30'u alınarak agregalar aşınmaya maruz bırakılmıştır. Tamburun (Şekil 3.5a.) 500 defa döndükten sonra 1.6mm' lik elekten (Şekil 3.5.b.) elenen numunelerin deney sonuçları elek üstünde kalan malzemenin ilk ağırlığına (5000 gr) oranı hesaplandı. Diyarbakır bazalt taşının Los Angeles aşınma kayıp değerleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Agreganın LA Aşınma deneyi sonuçları

Agrega Türü	ΣAgrega miktarı (gr)	1.6 mm Elek üzerinde kalan gr)	Kayıp (%)	TS 706'ya göre kayıp (%)
Bazalt Agregası	5000	3475	30.5	<50



Şekil 3.5 **a.** Los Angeles Aşınma deney aleti **b.** Aşınmaya maruz agreganın 1,6 mm Elekten elenmesi **c.** Elekten geçen aşınmış agrega

TS 706'ya göre aşınma dayanıklı agregalarda, bilyalı tamburun 100 ve 500 devir döndürülmesi sonucunda ortaya çıkacak aşınma miktarı sırasıyla %10 ve %50'den fazla olmamalıdır. Çizelge 3.6.'ya göre deneyde kullanılan bazalt agregasının aşınma kaybı TS 706'nın sınır değerlerini sağlamaktadır.

3.1.3. Çimento

Deneyde çimento TS EN 197-1 (2012) standartına uygun üretilmiş, Limak Ergani Çimento Fabrikasından temin edilen ASTM C tip I'e yakın özellik gösteren CEM-I 42.5 R çimento tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Deneyde kullanılan çimentonun analiz sonuçları Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Çimentonun analiz sonuçları

Fiziksel Deneyler		Standart	Sonuçlar (%)
Özgül Ağırlık (g/cm^3)		-	3.06
Priz Süresi (saat)	Başlangıç	Minimum 01:00	02:40
	Bitiş	-	03:40
Hacim genleşmesi (mm)		Maksimum 10	1

3.1.4. Su

Beton karma suyu olarak Diyarbakır ili şehir şebekesi musluk suyu kullanılmıştır. Beton karma suyunun kimyasal analiz raporu Çizelge 3.8.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Suyun kimyasal analiz sonuçları

Parametre adı	Birimi	Analiz Sonucu	TS 266	A1 K	A1 Z	A2 K	A2 Z	A3 K	A3 Z
pH		7.74	6.5<ph<9.5	6.5-8.5		5.5-9			
Alkalinite	mg/l	154.5	-						
Serbest Klor	mg/l	0.59							
Toplam sertlik	F^o	17.80	-						
Ca-CO_3	F^o	12.04							
Mg-$CaCO_3$	F^o	5.76							
Demir	mg/l	0.01	0.2						
alüminyum	mg/l	0	0.2	300		300		1	
Amonyak Azotu	mg/l	0	0.5	0.05		1	1.5	2	4
Nitrat Azotu	mg/l	0.26	50	25	50(İ)		50(İ)		50(İ)
Nitrit Azotu	mg/l	<0.01	0.5	0.5					
Mangan	mg/l	0.029	0.05	0.05		0.1		1	

3.2. Metot

Diyarbakır Karayolları 9.Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliği laboratuarlarında mineral katkısız, %10 silis dumanı ikameli ve %20 uçucu kül ikameli olmak üzere 3 grup halinde 72 adet 150x150x150mm küp numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler, 7, 28 ve 1 yıl sonunda kırılmak üzere su emme ve dayanıklılığını belirleyebilmek için %10 magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmıştır.

Her sette 3 er numune kırılarak dayanım ortalamaları alınmıştır. Schimdt çekici değerlerinde her numuneden 9 adet değer alınıp bunun ortalaması alınmıştır.

Basınç Dayanımları 0.6 $N/mm^2/sn$ lik basınç sağlayan Tecnotest marka beton test aletiyle ve dijital göstergeli Schimdt çekici ile ölçülmüştür.

SEM deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan numunelerin sülfat çözeltisinde ve su küründeki görüntüsü Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 90 gün sonunda sülfat küründe (sol üçlü) ve su küründe bekletilen (sağ üçlü)numuneler

3.2.1. Beton Karışım Değerleri

Beton deneylerinde kullanılan malzemelerin özgül ağırlık değerleri Çizelge 3.9.' daki gibidir.

Çizelge 3.9. Malzemelerin özgül ağırlık değerleri

Malzeme	Özgül ağırlık (kg/m^3)	Standart
Portland Çimento	3.15	
Bazalt Agrega (karışım)	2.76	< 2.70 ASTM C-127
Süper akışkanlaştırıcı	1.15	

Çizelge 3.9.'a göre deneyde kullanılan bazalt agregasının özgül ağırlığı ASTM C-127' ye göre verilen sınır değerin biraz üzerindedir.

Deney için hazırlanan 15x15x15 cm'lik küp numuneler C30 beton sınıfına göre üretilmiştir. 1 m^3 beton karışım için değerleri Çizelge 3.10.' da verilmiştir.

Çizelge 3.10. 1 m^3 beton için karışım miktarları

Malzemeler	Mineral Katkısız	% 20 UK İkameli	%10 SD İkameli
Çimento Miktarı (kg/m^3)	350	280	315
Su Miktarı (kg/m^3)	150	150	150
Kırmataş iri bazalt 1 (16-32) (kg/m^3)	496	464	480
Kırmataş iri bazalt 2 (8-16) (kg/m^3)	413	386	399
Kırmataş kum bazalt (0-8) (kg/m^3)	1131	1058	1094
Uçucu kül(kg/m^3)	0	70	0
Silis dumanı(kg/m^3)	0	0	35
Kimyasal Kat. (Süper akışkanlaştırıcı) (kg/m^3)	3.5	3.5	3.5
1 m^3 ağırlıkları	2543	2411	2477
Su /bağlayıcı		0.43	

Çizelge 3.10.'a göre betonda kıvamı artırmak için bağlayıcı malzemenin ağırlıkça %1'i kadar yani 3.5 kg/m^3 süper akışkanlaştıcı kimyasal katkı kullanılmıştır.

Mineral katkı ikameli betonların birim ağırlıkları, Hazır Beton Üreticilerinin belirlemiş olduğu 2200-2500 kg/m^3 ağırlık değerini sağladığı, katkısız betonun ise yakın değerde olduğu hesaplanmıştır.

3.2.2. Maliyet Analizi

Beton bağlayıcı malzemelerinin birim fiyatları Çizelge 3.11.'de verilmiştir. 2017 yılı Nisan ayına ait olup dolar kuru 1 dolar = 3.70 TL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.11. 1 m^3 betonun bağlayıcı malzeme maliyeti

Malzeme	Fiyatı ($/ton)	Mineral katkısız	%20 UK İkameli	% 10 SD İkameli
Çimento	55	19.25	15.40	17.32
Uçucu Kül	13	-	0.91	-
Silis Dumanı	492	-	-	17.22
Toplam ($/$m^3$)		19.25	16.31	34.54

Çizelge 3.11.'e göre betonda kullanılan bağlayıcı malzemelere göre en ekonomik beton üretimi 16.31 $/$m^3$ ile uçucu ikameli beton iken, en pahalı beton üretimi 34.54 $/$m^3$ ile silis dumanı ikameli betonun olduğu hesaplanmıştır.

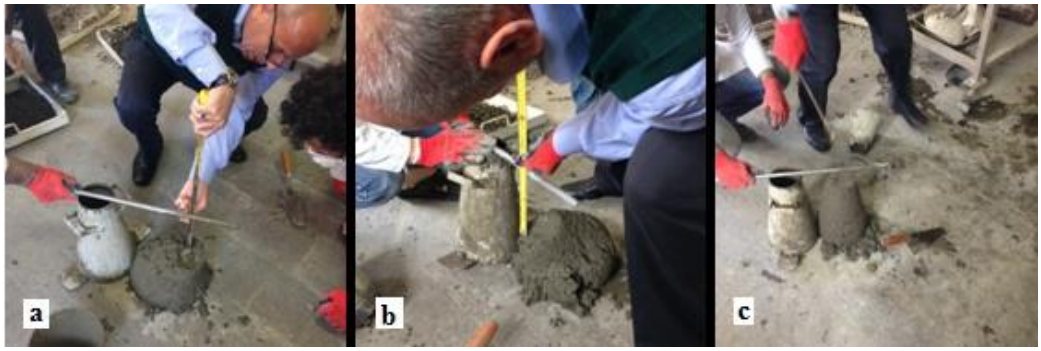
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taze Beton Deneyleri

4.1.1. Slump Deneyi

Taze betonun işlenebilirliğinin tespiti için TS EN 12350 (2010) standartlarına uygun olarak slump deneyi yapılmıştır.

Çökme konisi ile beton arasında oluşan yükseklik farkı 3 farklı noktadan ölçülmüştür ve ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Her karışım numunesinin slump ölçümleri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Slump değerleri sonuçları ise Çizelge 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. a) Mineral katkısız betonun slump deneyi **b)** Uçucu kül ikameli betonun slump deneyi **c)** Silis dumanı ikameli betonun slump deneyi

Çizelge 4.1. Slump deneyi sonuçları

Beton Türü	Çökme (cm)
Mineral Katkısız Beton	14
Uçucu Kül İkameli Beton	15
Silis Dumanı İkameli Beton	6

Çizelge 4.1.'de elde edilen sonuçlara göre mineral katkısız ve uçucu kül ikameli betondaki 14-15 cm'lik çökme miktarı pompalanabilir hazır beton için iyi sayılabilir ancak silis dumanı ikameli numunenin 6 cm'lik çökme değeri pompa için elverişli olmayabilir.

4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

4.2.1. Kür Koşulları

Su küründe ve magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde yapılan gözle muayenede magnezyum sülfat çözeltisine maruz beton numunelerin yüzeyinde

beyazımsı bir tabaka oluştuğu gözlenmiştir. Bu beyazımsı tabakanın zamanla yumuşayarak ve çamurumsu bir yapıya dönüştüğü ve yüzeyinde zamanla artan kılcal çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir ancak su küründe bekletilen numunelerde bu durum gözlenmemiştir.

4.2.1.2. 28 Gün Su Küründe Bekletilen Numunelerin Gözlemleri

28 gün sonunda su küründe bekletilen mineral katkısız, %20 oranında çimento yerine ikame edilen uçucu kül ikameli, %10 oranında çimento yerine ikame edilen silis dumanı ikameli numuneler sırasıyla Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te verilmiştir.



Şekil 4.2. 28 gün sonunda su küründe bekletilen mineral katkısız numuneler



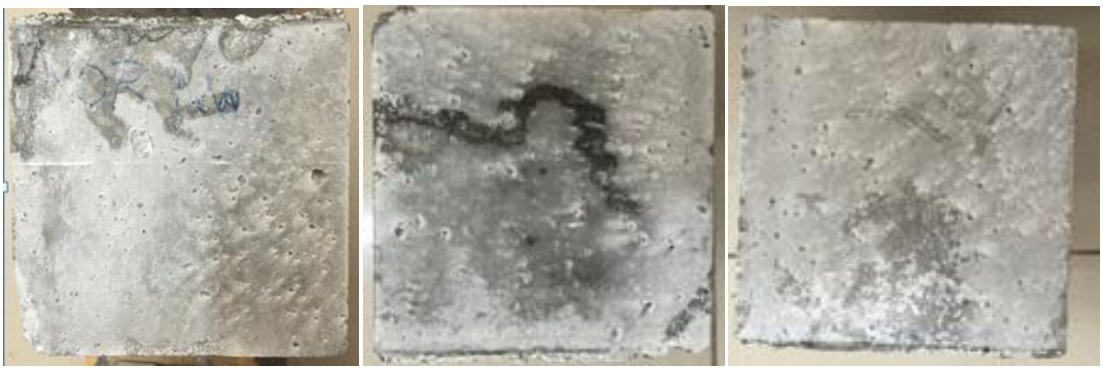
Şekil 4.3. 28 gün sonunda su küründe bekletilen uçucu kül ikameli numuneler



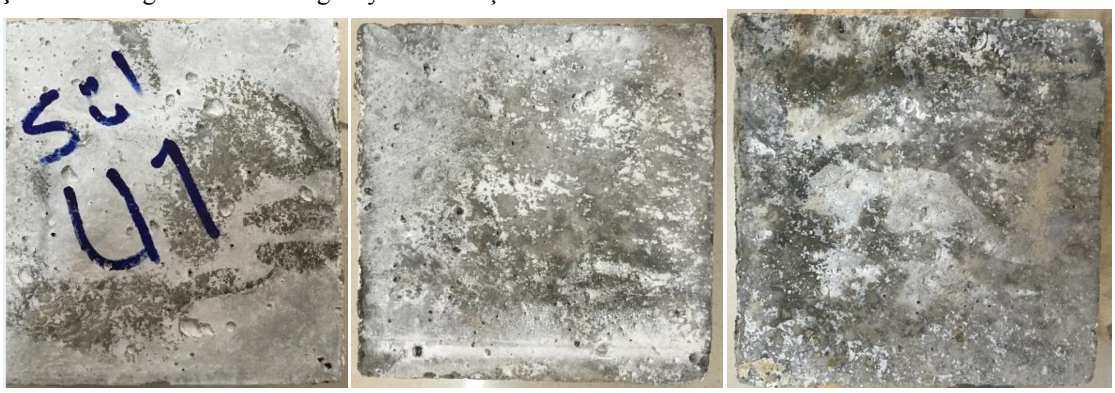
Şekil 4.4. 28 gün sonunda su küründe bekletilen silis dumanı ikameli numuneler

4.2.1.2. 28 Gün Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Numunelerin Gözlemleri

28 gün sonunda %10 derişime sahip magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin beyazımsı bir tabaka ile kaplı olduğu kenarlarında hafif dökülmeler olduğu gözlemlenmiştir. Magnezyum sülfat çözeltisine maruz mineral katkısız numunenin görüntüsü Şekil 4.5.'te, uçucu kül ikameli numunenin Şekil 4.6.'da, silis dumanı ikameli numunenin Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. 28 gün sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız numuneler



Şekil 4.6. 28 gün sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli numuneler



Şekil 4.7. 28 gün sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli numuneler

4.2.1.3. 365 Gün Su Küründe Bekletilen Numunelerin Gözlemleri

365 gün su kürü uygulanan numunelerin yüzeyi incelendiğinde herhangi bir çatlak oluşmadığı gözlemlenmiştir. 365 gün su küründe bekletilen numunelerin görüntüleri sırasıyla mineral katkısız Şekil 4.8.'de, uçucu kül ikameli Şekil 4.9.'da, silis dumanı ikameli Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.8. 365 gün sonunda su küründe bekletilen mineral katkısız numuneler



Şekil 4.9. 365 gün sonunda su küründe bekletilen uçucu kül ikameli numuneler



Şekil 4.10. 365 gün sonunda su küründe bekletilen silis dumanı ikameli numuneler

4.2.1.4. 365 Gün Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Numunelerin Gözlemleri

365 gün sonunda %10 derişime sahip magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin tüm yüzeyi tamamen beyazımsı bir tabaka ile kaplandığı, 28 gün aynı derişime sahip çözeltide bekletilenlerin numunelere göre yüzeysel boşlukların ve kenarlarındaki dökülmelerin arttığı numunelerin sülfat etkisinden zamanla daha fazla bozulduğu gözlemlenmiştir. Buna göre magnezyum sülfat çözeltisine maruz mineral katkısız numunenin görüntüsü Şekil 4.11.'de, uçucu kül ikameli numunenin Şekil 4.12.'de ve silis dumanı ikameli numunenin Şekil 4.13.'te verilmiştir.



Şekil 4.11. 365 gün sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız numuneler



Şekil 4.12. 365 gün sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli numuneler

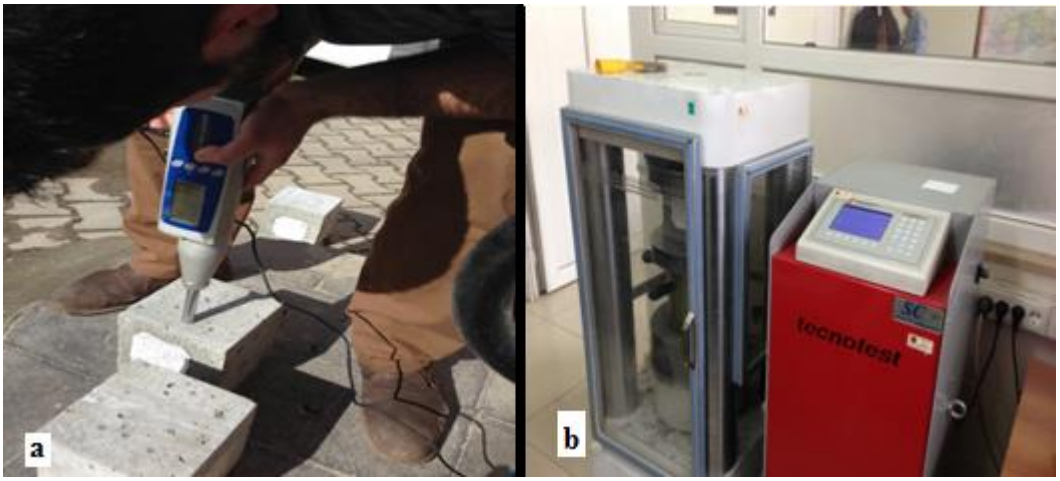


Şekil 4.13. 365 gün sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli numuneler

4.2.2. Beton Basınç Deneyleri

Beton basınç değerini beton test çekici (Schmidt) (Şekil 4.14.a.) ve beton basınç aleti (Şekil 4.14.b.) ile pres uygulaması olmak üzere iki farklı şekilde hesaplanmıştır. Dijital schmidt çekicini dik olarak uygulayarak dokuz adet okuma yapılarak bu değerlerin okumaların ortalamaları ile dayanım tayin edilmiştir.

Beton basınç aleti ile tespit ise saniyede 0.6 Mpa yük uygulayan başlıkların arasına yerleştirilen numunelerin kırılması ile betonun dayanımını belirlendi. Farklı dizayna sahip numunelerden üçer adet numune kırılarak ortalama değeri ile dayanım hesaplanmıştır.



Şekil 4.14. a. Test Çekici (Schmidt) **b.** Beton basınç aleti

Su küründe ve %10'luk sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 7 gün sonundaki schimdt çekici yöntemi ile beton basınç sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 7 gün sonunda sertleşmiş beton test sonuçları

	Su Kürü			**Sülfat Kürü**		
	Mineral Katkısız Beton	**Silis Dumanı İkameli**	**Uçucu Kül İkameli**	**Mineral Katkısız Beton**	**Silis Dumanı İkameli**	**Uçucu Kül İkameli**
Ağırlık (gr)						
Numune 1	8275.5	8259.5	8124	8200	8137.7	7971.5
Numune 2	8239.6	8335	8191.8	8200	8110.2	8045.7
Numune 3	8325	8315.6	8274	8080	8057.3	8100
Ortalama	**8280.03**	**8303.37**	**8196.60**	**8160.00**	**8101.73**	**8039.07**
Dayanım (Mpa)						
Numune 1	28.37	32.56	22.44	28.01	30.04	20.92
Numune 2	28.28	33.14	26.63	28.22	28.08	20.43
Numune 3	26.72	31.51	25.64	27.65	28.28	20.25
Ortalama Basınç Dayanımı (Mpa)	**27.79**	**32.40**	**24.90**	**27.96**	**28.80**	**20.53**
Standart Sapma	0.76	0.67	1.79	0.24	0.88	0.28
Test Çekici (Schmidt) okumaları (Mpa)						
Ölçüm 1	19	15	17	19	19	17
Ölçüm 2	18	18	14	18	19	17
Ölçüm 3	18	20	14	18	15	14
Ölçüm 4	18	17	15	17	17	15
Ölçüm 5	18	18	14	18	18	14
Ölçüm 6	15	15	14	18	18	14
Ölçüm 7	17	17	21	18	18	15
Ölçüm 8	18	17	19	18	19	14
Ölçüm 9	15	18	15	18	18	14
ort	**17.33**	**17.22**	**15.89**	**18.00**	**17.89**	**14.89**

Su küründe ve %10'luk sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 28 gün sonundaki schimdt çekici yöntemi ile beton basınç sonuçları Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 28 gün sonunda sertleşmiş beton test sonuçları

	Su Kürü			**Sülfat Kürü**		
	Mineral Katkısız Beton	**Silis Dumanı İkameli**	**Uçucu Kül İkameli**	**Mineral Katkısız Beton**	**Silis Dumanı İkameli**	**Uçucu Kül İkameli**
Dayanım (Mpa)						
Numune 1	39.46	48.65	43.80	45.09	51.03	40.82
Numune 2	44.35	53.02	45.37	38.45	43.33	41.98
Numune 3	45.77	49.16	42.48	42.82	48.23	41.78
Ortalama Basınç Dayanımı (Mpa)	**43.19**	**50.28**	**43.88**	**42.12**	**47.53**	**41.53**
Standart Sapma	2.70	1.95	1.18	2.76	3.18	0.51
Test çekici (Schmidt) okumaları (Mpa)						
Ölçüm 1	29	25	23	24	25	19
Ölçüm 2	28	24	24	29	26	19
Ölçüm 3	25	25	23	33	24	24
Ölçüm 4	25	25	23	30	20	24
Ölçüm 5	25	25	23	29	21	25
Ölçüm 6	25	25	23	29	21	25
Ölçüm 7	25	23	23	26	21	24
Ölçüm 8	25	23	23	26	21	21
Ölçüm 9	25	21	23	26	21	23
Ortalama	25.78	24	23.11	28	22.22	22.67

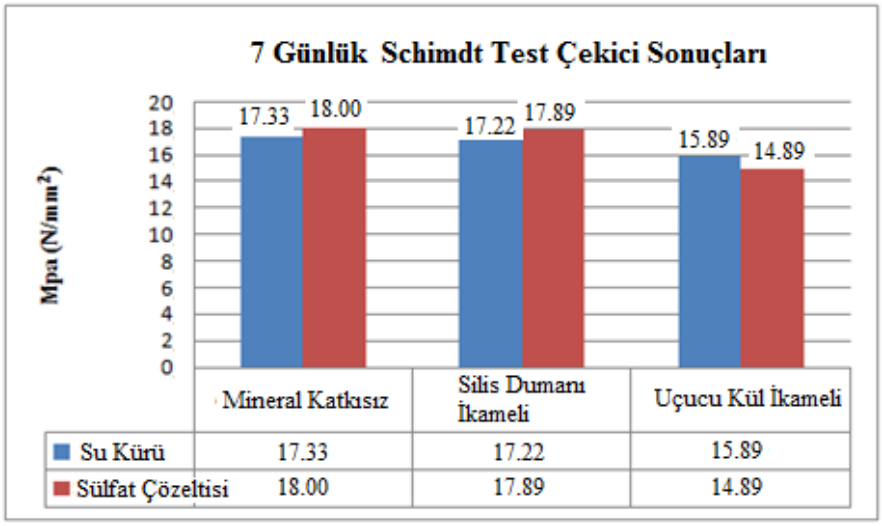
Su küründe ve %10'luk sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 365 gün beton basınç sonuçları Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. 365 gün sonunda sertleşmiş beton test sonuçları

	Su Kürü			Sülfat Kürü		
	Mineral Katkısız Beton	Silis Dumanı İkameli	Uçucu Kül İkameli	Mineral Katkısız Beton	Silis Dumanı İkameli	Uçucu Kül İkameli
Numune 1	58.63	61.40	56.95	41.48	44.12	49.27
Numune 2	47.37	58.38	56.49	34.42	45.94	45.73
Numune 3	49.92	56.16	51.24	41.99	50.46	44.65
Ortalama Dayanım (Mpa)	**51.97**	**58.65**	**54.89**	**39.29**	**46.84**	**44.22**

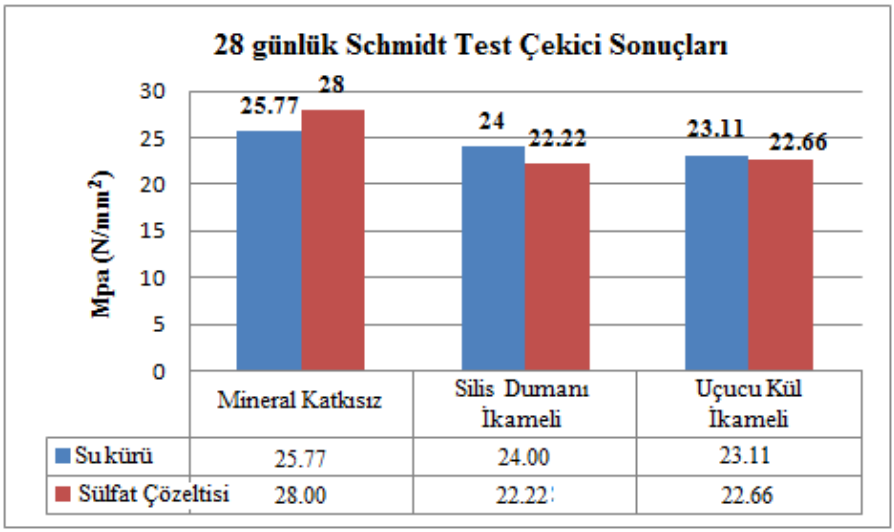
4.2.2.1. Beton Test Çekici (Schmidt) Sonuçları

Numunelerin 7 ve 28 günlük Schmidt test çekici uygulmasıyla basınç değerleri sırasıyla Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da verilmiştir. Schmidt test çekicine göre mineral katkısız numuneler 7 günlük dayanım değeri en yüksek grup olarak, uçucu kül ikameli numuneler en düşük dayanım değerine sahip grup olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.15.).



Şekil 4.15. 7 günlük beton test çekici (Schmidt) değerleri

Numunelerin 28 günlük dayanım değerleri Schmidt test çekici uygulmasına göre aynı şekilde mineral katkısız numunelerin en yüksek grup, uçucu kül ikameli numunelerin en düşük dayanım değerine sahip grup olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.16.).



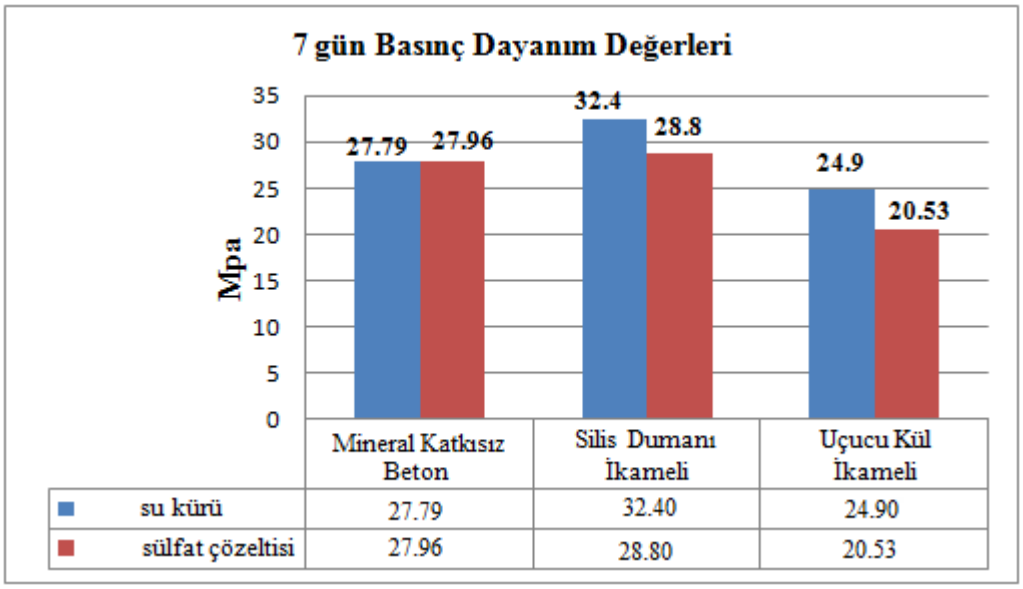
Şekil 4.16. 28 günlük beton test çekici (Schmidt) değerleri

4.2.2.2. Beton Basınç Verileri

Su küründe ve %10'luk sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 7 gün sonundaki beton basınç aleti yöntemi ile beton basınç sonuçları Çizelge 4.5.'te ve Şekil 4.17'de verilmiştir. Beton basınç dayanım testine göre silis dumanı ikameli numuneler 7 günlük dayanım yani erken yaş değeri hem su küründe hem de sülfat çözeltisinde en yüksek dayanım değerine sahip grup olarak tespit edilmiştir. Uçucu kül ikameli betonların 7 günlük dayanım değerlerinin ise en düşük grup olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. 7 günlük beton basınç değerlerinin karşılaştırılması

Beton Türü	Su kürü	Sülfat kürü	Yüzdelik fark (-)
Mineral katkısız beton	27.79	27.96	0.6
Silis dumanı ikameli	32.40	28.80	12.5
Uçucu kül ikameli	24.90	20.53	21.3



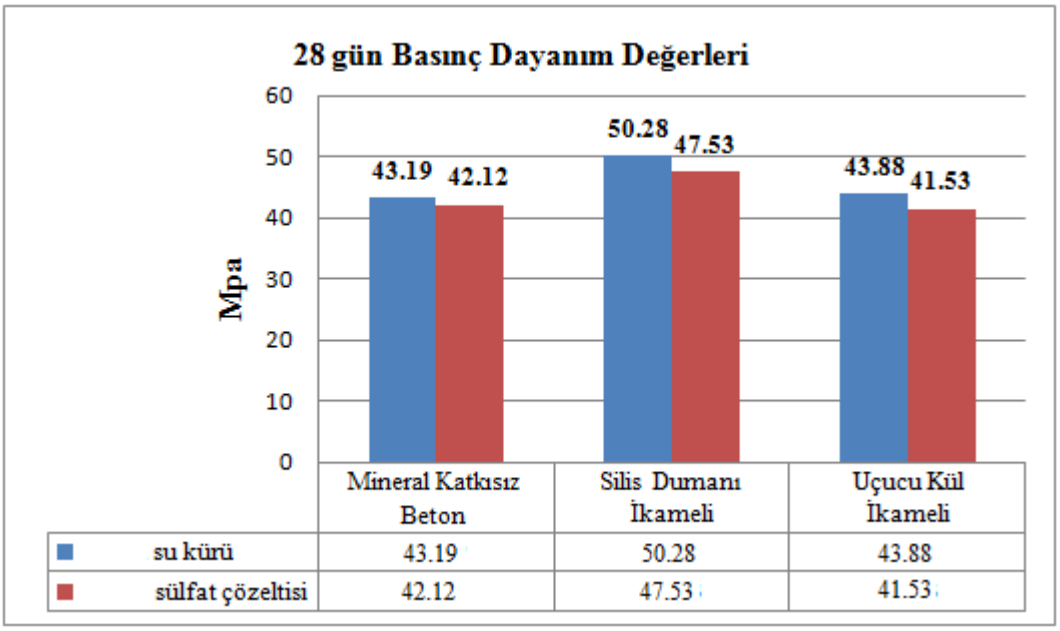
Şekil 4.17. 7 günlük beton basınç değerleri

Su küründe ve %10'luk sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 28 gün sonundaki dayanım değerleri beton basınç aleti yöntemi ile Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Beton basınç dayanım testine göre silis dumanı ikameli numeneler 28 günlük dayanım değeri hem su küründe hem de sülfat çözeltisinde en yüksek dayanım değerine sahip grup olarak tespit edilmiştir. Mineral katkısız ve uçucu kül ikameli betonların dayanım değerleri birbirilerine yakın değerde olduğu tespit edilmiştir.

Farklı karışım oranlarında üretilen numunelerin dayanıklılıklarını test edebilmek için %10 magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmıştır. Bu durumda su kürüne maruz numunelerin dayanımları karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.6.'da ve Şekil 4.18.'de verilmiştir. Buna göre mineral katkısız betonun 28 günlük basınç dayanım değeri en düşük çıkmasına karşılık sülfat çözeltisinde diğer üretilen karışımlara oranlara dayanım kaybı en düşük olarak belirlenmiştir. Silis dumanı ikameli beton 28 günlük dayanım kaybını en fazla gösteren grup olmuştur.

Çizelge 4.6. 28 günlük beton basınç değerlerinin karşılaştırılması

Beton Türü	Su Kürü	Sülfat Kürü	Yüzdelik fark (-)
Mineral katkısız beton	43.19	42.12	2.54
Silis dumanı ikameli	50.28	47.53	5.78
Uçucu kül ikameli	43.88	41.53	5.65



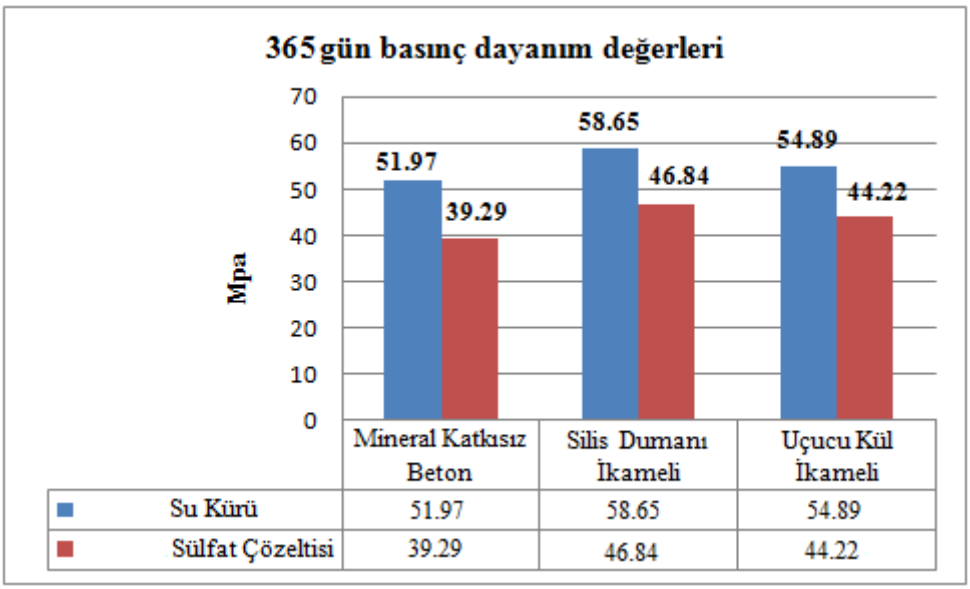
Şekil 4.18. 28 günlük beton basınç değerleri

Sülfatın betona etkisini görebilmek için numuler 365 gün boyunca % 10 sülfat çözeltisinde bekletilmiştir.

365 gün sonunda su küründe ve sülfat çözeltisinde en yüksek dayanımı silis dumanı ikameli beton göstermiş olup en düşük dayanımı ise mineral katksız numuneler göstermiştir. Dayanıklılık performansını silis dumanı ile uçucu kül ikameli numuneler daha iyi sergilemiş olup sonuçlar Çizelge 4.7. ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

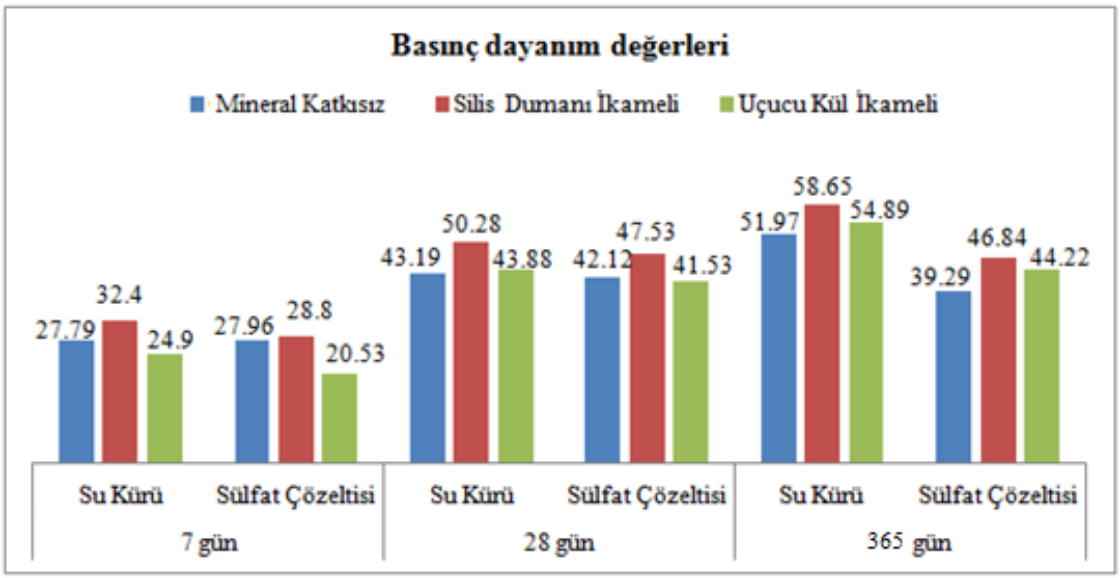
Çizelge 4.7. 365 günlük beton basınç değerlerinin karşılaştırılması

Beton Türü	Su Kürü	Sülfat Kürü	Yüzdelik fark (-)
Mineral katkısız beton	51.97	39.29	24.40
Silis dumanı ikameli	58.65	46.84	20.14
Uçucu kül ikameli	54.89	44.22	19.44



Şekil 4.19. 365 günlük beton basınç değerleri

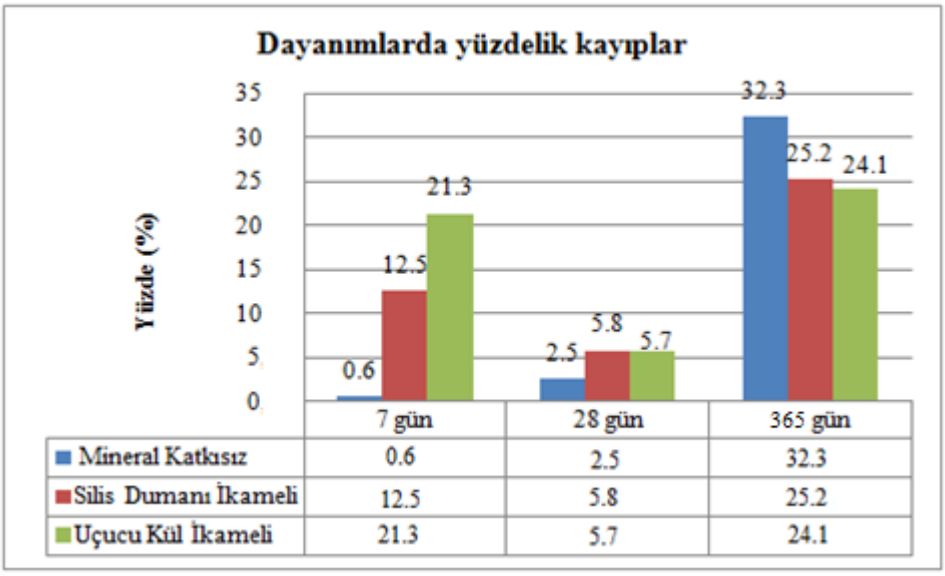
Şekil 4.19.'a göre su kürü ve sülfat çözeltisinde 7, 28 ve 365 gün basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında silis dumanı ikameli beton su küründe ve sülfat çözeltisinde en yüksek performansı göstermiştir. Uçucu kül ikameli beton erken yaşta en düşük dayanımı gösterse de 28 günde mineral katkısız betonun dayanım değerine yaklaşmış olup 365 gün sonra ileri yaş dayanım değeri olarak mineral katkısız beton değerinden yüksek çıkmıştır. Basınç değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.20.'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Su kürü ve sülfat çözeltisinde 7 , 28 ve 365 gün basınç dayanım değerleri

365 gün sonunda su küründe bekletilen numunelerin sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin dayanımları arasında yüzdelik kayıplar Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

Dayanım kayıplarına göre değerlendirilirse erken yaşlarda mineral katkıların sülfat etkisine karşı dayanım kaybının fazla olduğunu ancak 365 gün sonunda ise mineral katkı ikameli numunelerin sülfat çözeltisine karşı dayanıklılığı artırdığını söyleyebiliriz.

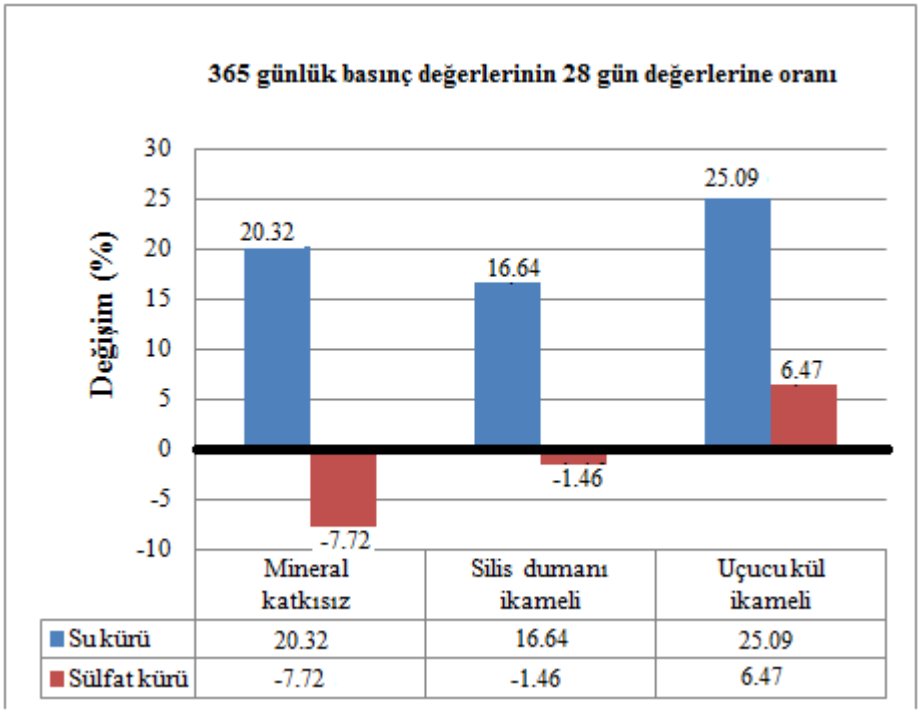


Şekil 4.21. Su küründe bekletilen numunelerin sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin dayanımları arasında yüzdelik kayıplar

Çizelge 4.8. Dayanım değerlerinin karşılaştırılması

365 günlük basınç değerlerinin 28 gün değerlerine oranı (%)		
	Su kürü	Sülfat kürü
Mineral katkısız	+ 20.32	- 7.72
Silis dumanı ikameli	+ 16.64	- 1.46
Uçucu kül ikameli	+ 25.09	+ 6.47

Çizelge 4.8.'de 365 günlük basınç dayanım değerleri 28 günlük dayanım değerleri ile Şekil 4.22.'de karşılaştırılmıştır.

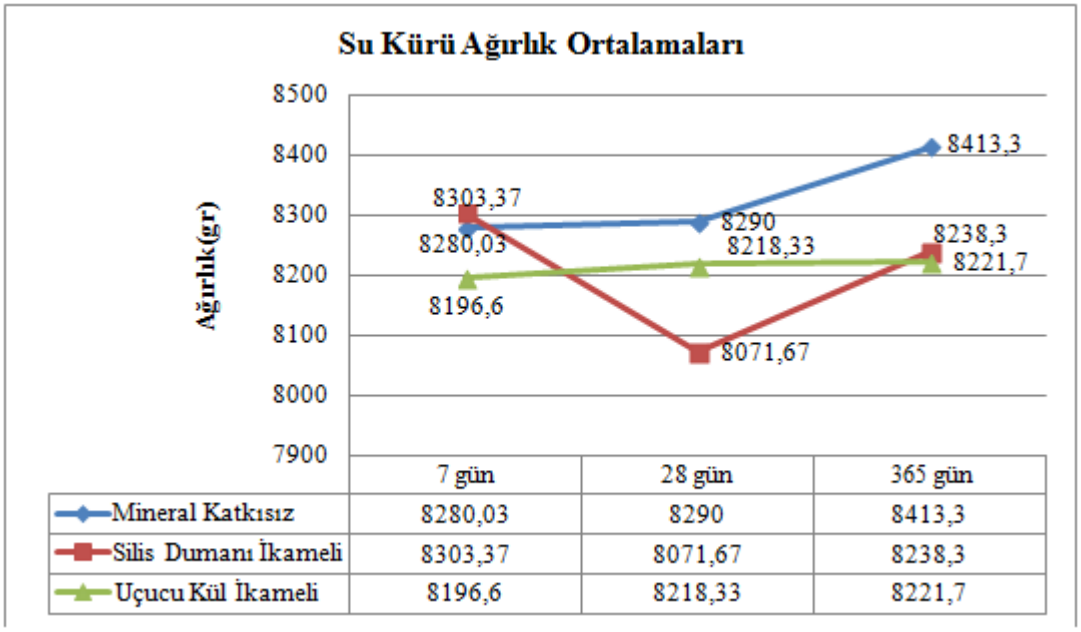


Şekil 4.22. 365 günlük basınç değerlerinin 28 gün değerlerine oranı

Şekil 4.22.'ye göre 365 gün sonunda su küründeki numunelerin basınç artışı devam etmiş ancak sülfat çözeltisinde mineral katkı içermeyen ve silis dumanı ikameli numunelerde sırası ile % 7.72 ve 1.46 oranında düşüş göstermiştir, sadece uçucu kül ikameli numunelerde % 6.47 oranında artış devam etmiştir. Bu durum sülfatın betonu yıpratıcı etkisini göstermektedir. Uçucu külün sülfat etkisi karşısında betonun dayanıklılığını artırdığını söyleyebiliriz.

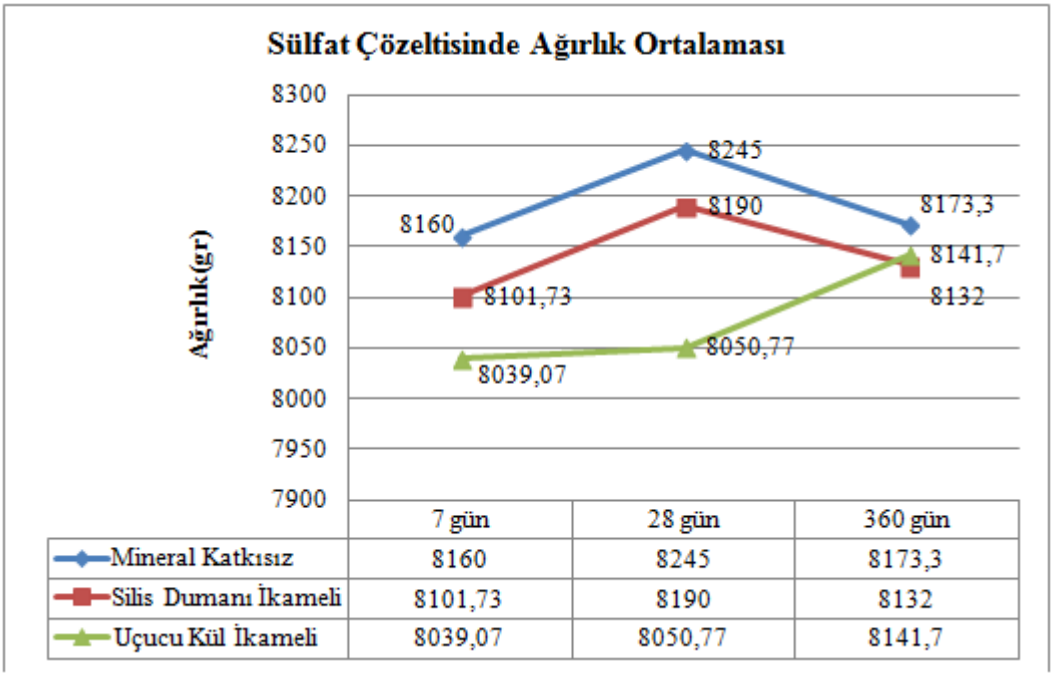
4.2.3. Beton Numunelerin Ağırlık Değerleri

Su kürü ve magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerden her gruptan üçer adet çıkarılıp kurutulduktan sonra hassas elektronik tartıyla tartılarak ortalama ağırlıkları hesaplanmıştır. Numunelerin 7, 28, 365 gün sonundaki ağırlık ortalamaları Şekil 4.23.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Numunelerin su kürü ağırlık ortalamaları

Şekil 4.23.'e göre su küründe 7 gün sonunda en yüksek ağırlık ortalaması silis dumanı ikameli betonda, en düşük ağırlık ortaması ise uçucu kül ikameli betonda hesaplanmıştır. 28 gün sonunda en yüksek ağırlık ortalaması mineral katkısız betonda, en düşük ağırlık ortaması ise silis dumanı ikameli betonda hesaplanmıştır. 365 gün sonunda ise en yüksek ağırlık ortalaması mineral katkısız betonda, en düşük ağırlık ortaması ise uçucu kül ikameli betonda hesaplanmıştır.



Şekil 4.24. Numunelerin sülfat çözeltisinde ağırlık ortalamaları

Şekil 4.24.'e göre sülfat çözeltisinde 7 gün sonunda ağırlık ortalaması en yüksek ağırlık ortalaması mineral katkısız betonda, en düşük ağırlık ortalaması ise uçucu kül ikameli betonda hesaplanmıştır. 28 gün sonunda ağırlık ortalaması en yüksek ağırlık ortalaması mineral katkısız betonda, en düşük ağırlık ortalaması ise uçucu kül ikameli betonda hesaplanmıştır. 365 gün sonunda ağırlık ortalaması en yüksek ağırlık ortalaması mineral katkısız betonda, en düşük ağırlık ortalaması ise silis dumanı ikameli betonda hesaplanmıştır.

4.3. Elektro Manyetik Mikroskop (SEM) Görüntüleri

Çimento bileşiğindeki trikalsiyum silikatlar (C_3S) ve dikalsiyum (C_2S) silikatlar arasındaki reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.

$$2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$$
$$2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH \qquad \textbf{(1)}$$

(1)'deki silikatların reaksiyonu sonucu $C_3S_2H_3$ ve CH ürünleri oluşmaktadır. CH kalsiyum hidroksitdir ($Ca(OH)_2$). $C_3S_2H_3$ tobermorit jelidir.

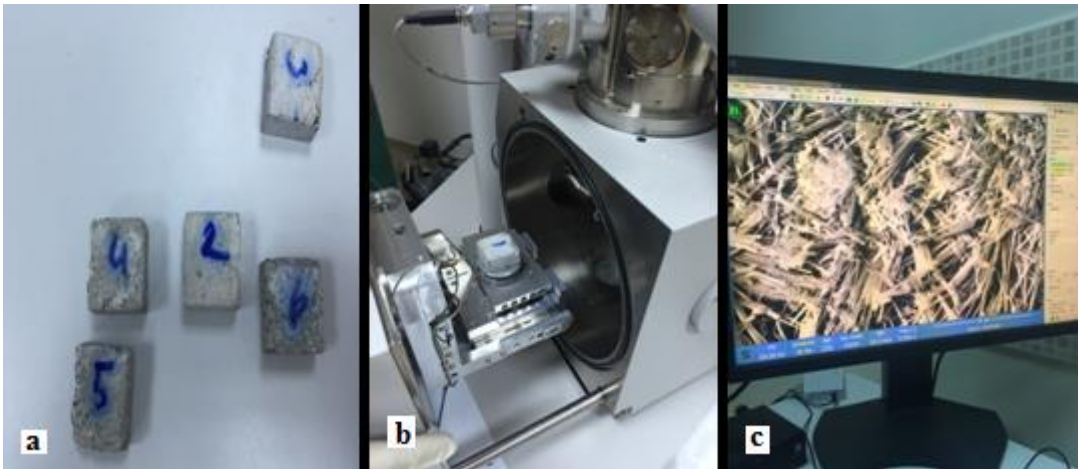
Tobermorit jeli C-S-H jeli olarak adlandırılır. Tobermorit jeli çimento hamuruna ve betona bağlayıcılık özelliğini kazandıran üründür. CH'nin bağlayıcılık özelliği yoktur ancak dolgu malzemesi işlevi görür. Çimento hamurunun kazandığı dayanım C_3S ve C_2S ana bileşenlerinin hidratasyonu ile ortaya çıkan C-S-H jelinin miktarına bağlıdır. Doğal olarak C-S-H jellerinin tümü bir anda oluşmamaktadır. Hidratasyon olayı devam ettikçe C-S-H jellerinin gelişimi de devam etmekte ve çimento hamurunun dayanımı artmaktadır.

Çimento yapısındaki C_3A, alçıtaşı ve su ile birlikte reaksiyona girerek çimentonun prizini yavaşlatır. C_3A, su ve alçıtaşı arasında aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir.

$$C_3A + C\bar{S}H_2 + 10H \rightarrow C_4A\bar{S}H_{12}$$
$$C_3A + 3\,C\bar{S}H_2 + 26H \rightarrow C_6A\bar{S}_3H_{32} \qquad \textbf{(2)}$$

(2)'deki tepkimede görüldüğü gibi C_3A, su ve alçıtaşının reaksiyonu sonucu C_4ASH_{12} ve $C_6AS_3H_{32}$ ürünleri meydana gelmektedir. C_4ASH_{12} (kalsiyum-aluminomonosülfohidrat) oluşması çimento hamurunda bir miktar hacim artışına sebep olmaktadır. Plaka şekline sahip bu kristaller yarı kararlı özelliktedir. Fazla sülfatın bulunduğu ortamlarda Şekil 2.27.'de gösterilen Etrenjit ($C_6AS_3H_{32}$)'ya dönüşürler.

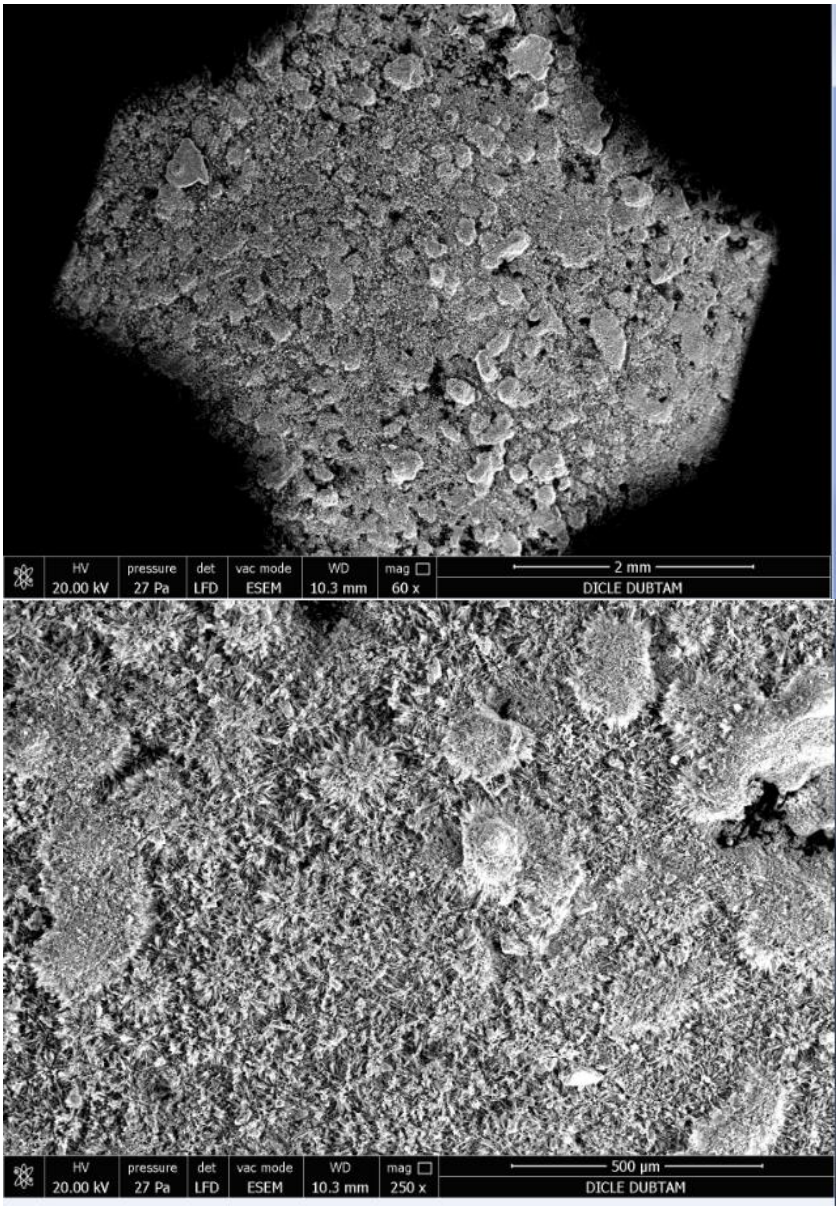
Su kürü ve sülfat çözeltisinde bekletilen numuneler 90 gün sonunda, Bölüm 3'te Şekil 3.6.'da gösterilen numuneler, Şekil 4.26.a.'daki gibi 5x5x2 cm lik boyutlarda kesilerek SEM cihazına Şekil 4.26.b.'deki gibi yerleştirilmiştir ve farklı yakınlaştırılmalarla numunelerin yüzeysel görüntüleri Şekil 4.26.c.'deki gibi fotoğraflanmıştır.



Şekil 4.25. Numunelerin SEM cihazına bırakılması

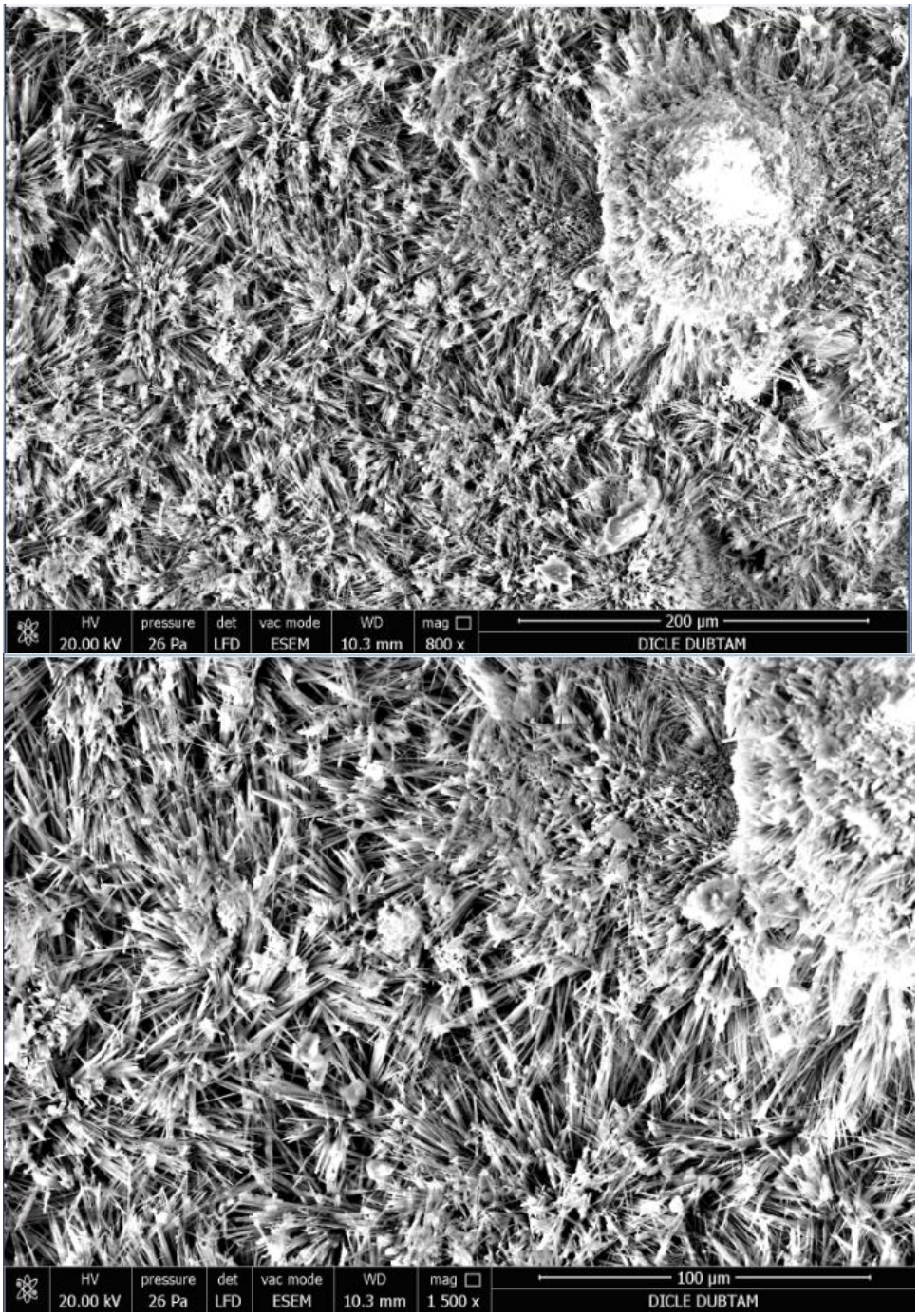
4.3.1. Su Kürü Görüntüleri

Su küründe 90 gün bekletilen küp numuneler çözeltiden çıkarılarak kurutulmuştur. Numuneler SEM cihazında gözlem yapılabilecek boyuta getirebilmesi için Şekil 4.25.a.'da gösterildiği gibi 5x5x2 cm boyutunda ince kesim aletiyle kesilmiştir. Numunelerin 60x, 250x, 800x, 1500x SEM görüntüleri alınmıştır. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 60x, 250x, 800x, 1500x SEM görüntüleri Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'de verilmiştir.



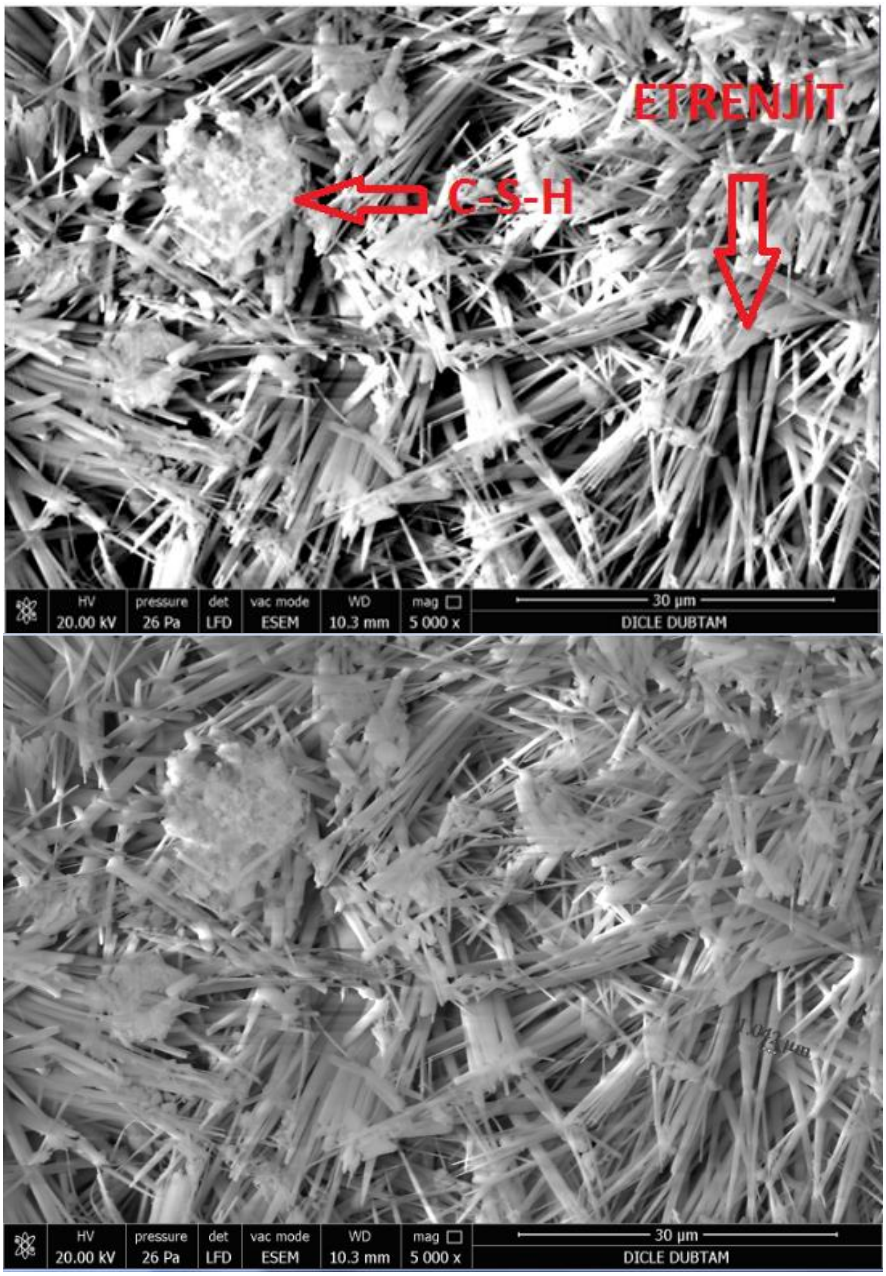
Şekil 4.26. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri

Şekil 4.26.'da 250 kat büyütülen görüntüde C-S-H bağı net şekilde görüntülenmiştir.



Şekil 4.27. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri

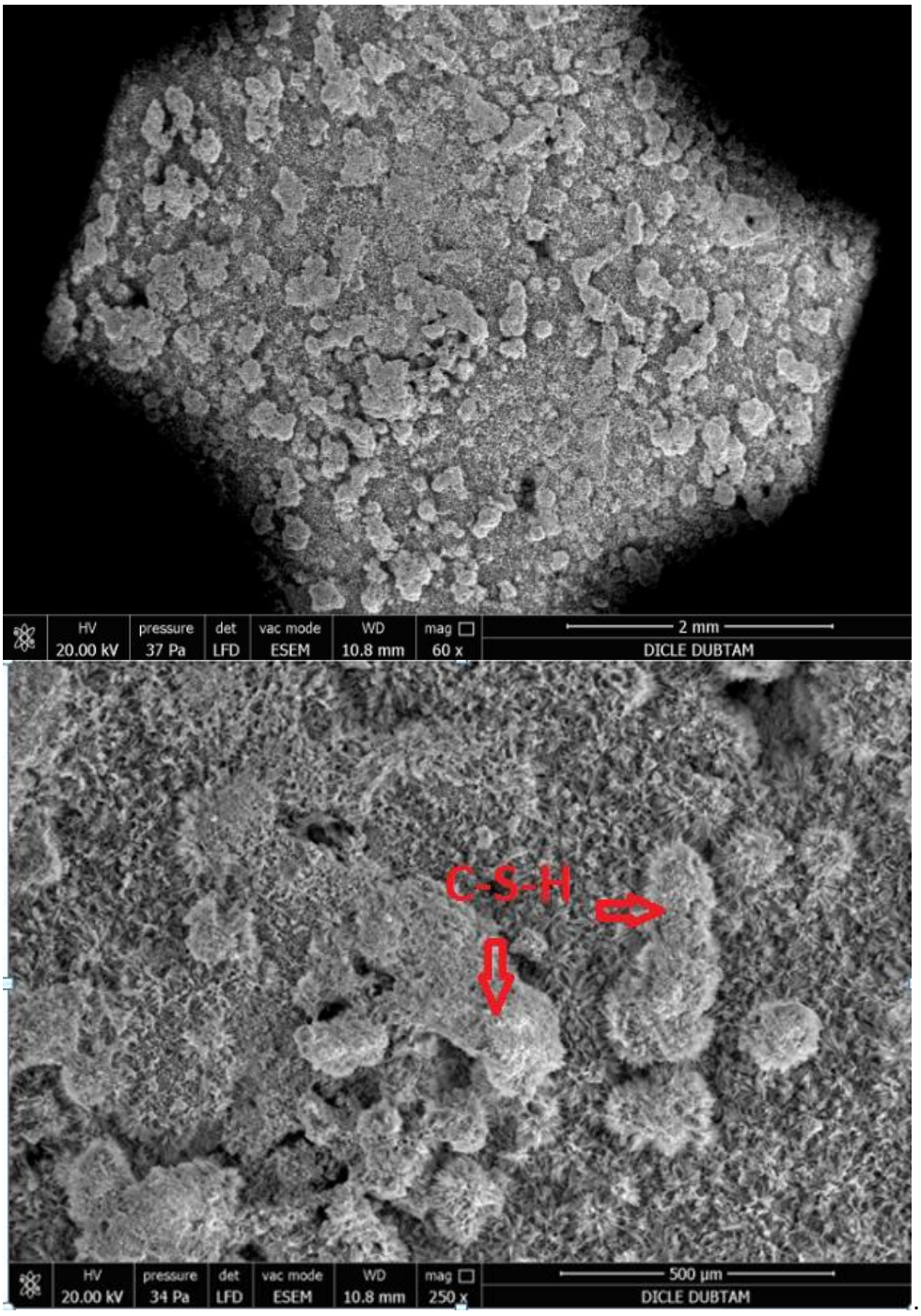
Hidratasyon ürünlerinin daha detaylı görüntülenmesi için SEM cihazında 5000 kat büyütülmüştür. Şekil 4.28.'de su küründe 90 gün bekletilen silis dumanı ikameli numunenin 5000 kat büyütülmüş görüntüsü verilmiştir.



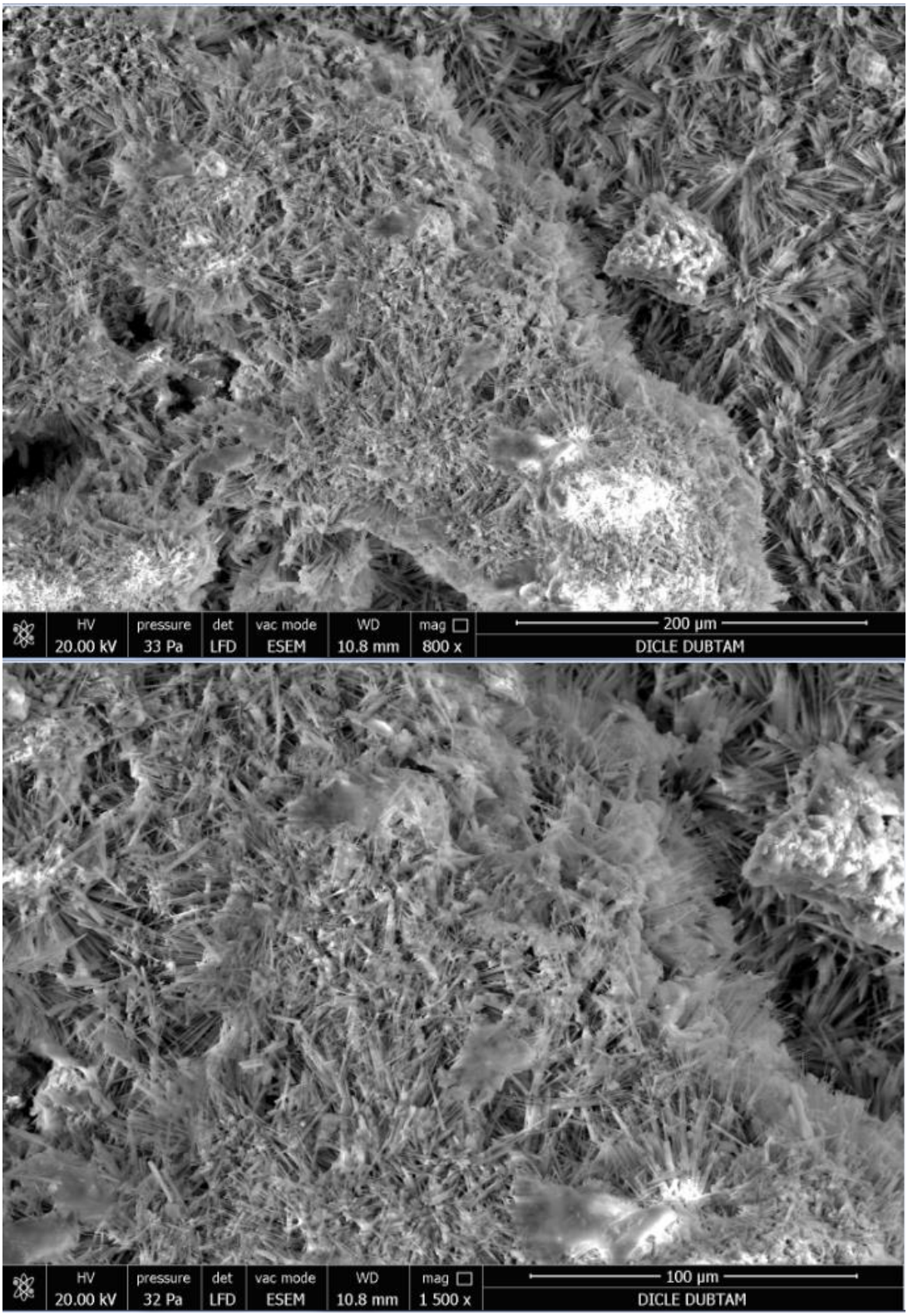
Şekil 4.28. 90 gün su kürü sonunda silis dumanı ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri

Şekil 4.28.'de 5000 kat büyütülmüş görüntüde C-S-H bağı ve etrenjit iğneleri net şekilde görüntülenmiştir.

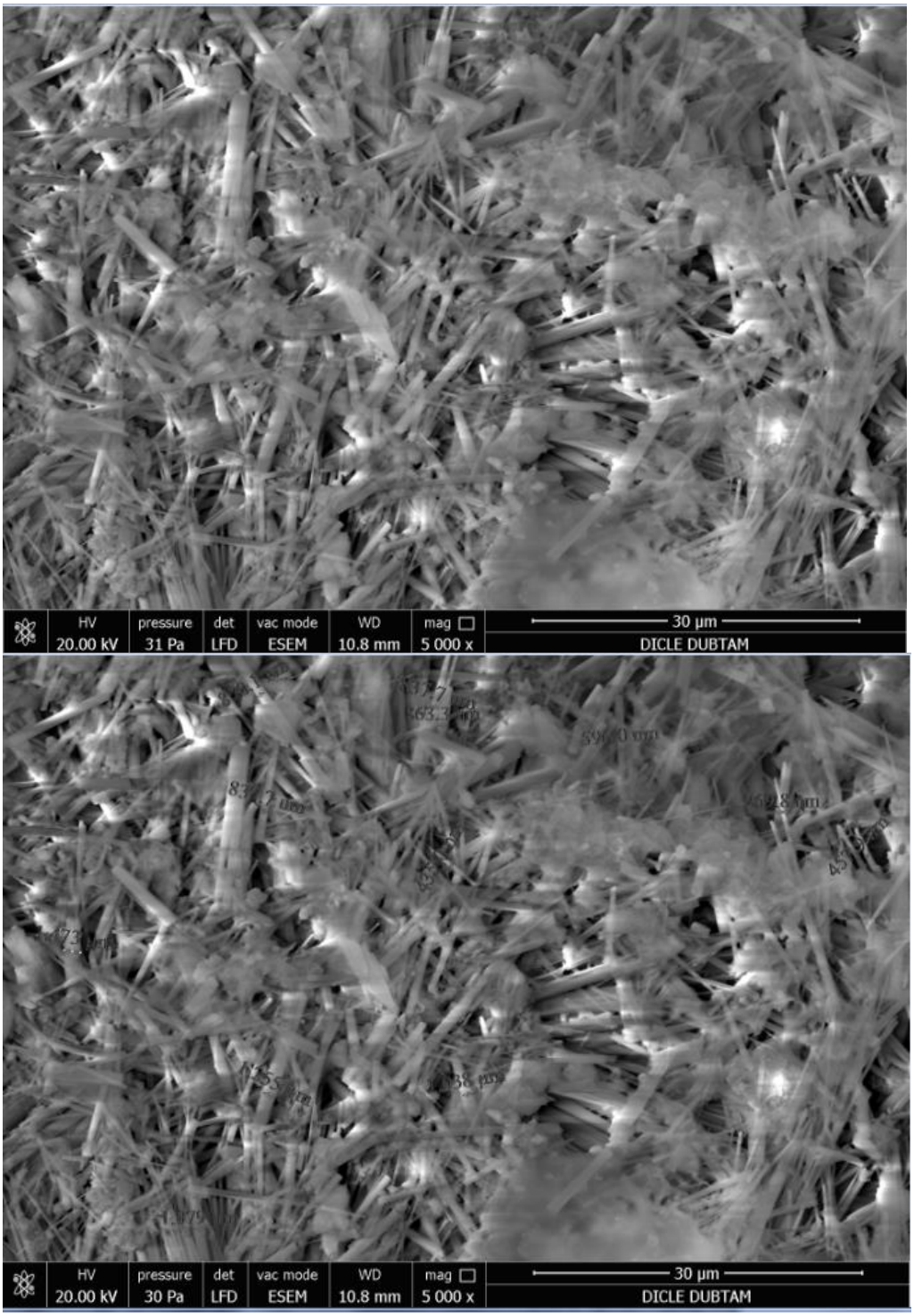
Su küründe bekletilen %20 oranında çimento yerine ikame edilerek hazırlanan uçucu kül katkılı numunelerin 90 gün sonunda 60x, 250x, 800x, 1500x SEM görüntüleri Şekil 4.29. ve Şekil 4.30.'da verilmiştir. Bu görüntülerde betonda bağlayıcılık özelliği kazandıran C-S-H bağını belirgin şekilde görülmektedir.



Şekil 4.29. 90 gün su kürü sonunda uçucu kül ikameli beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri

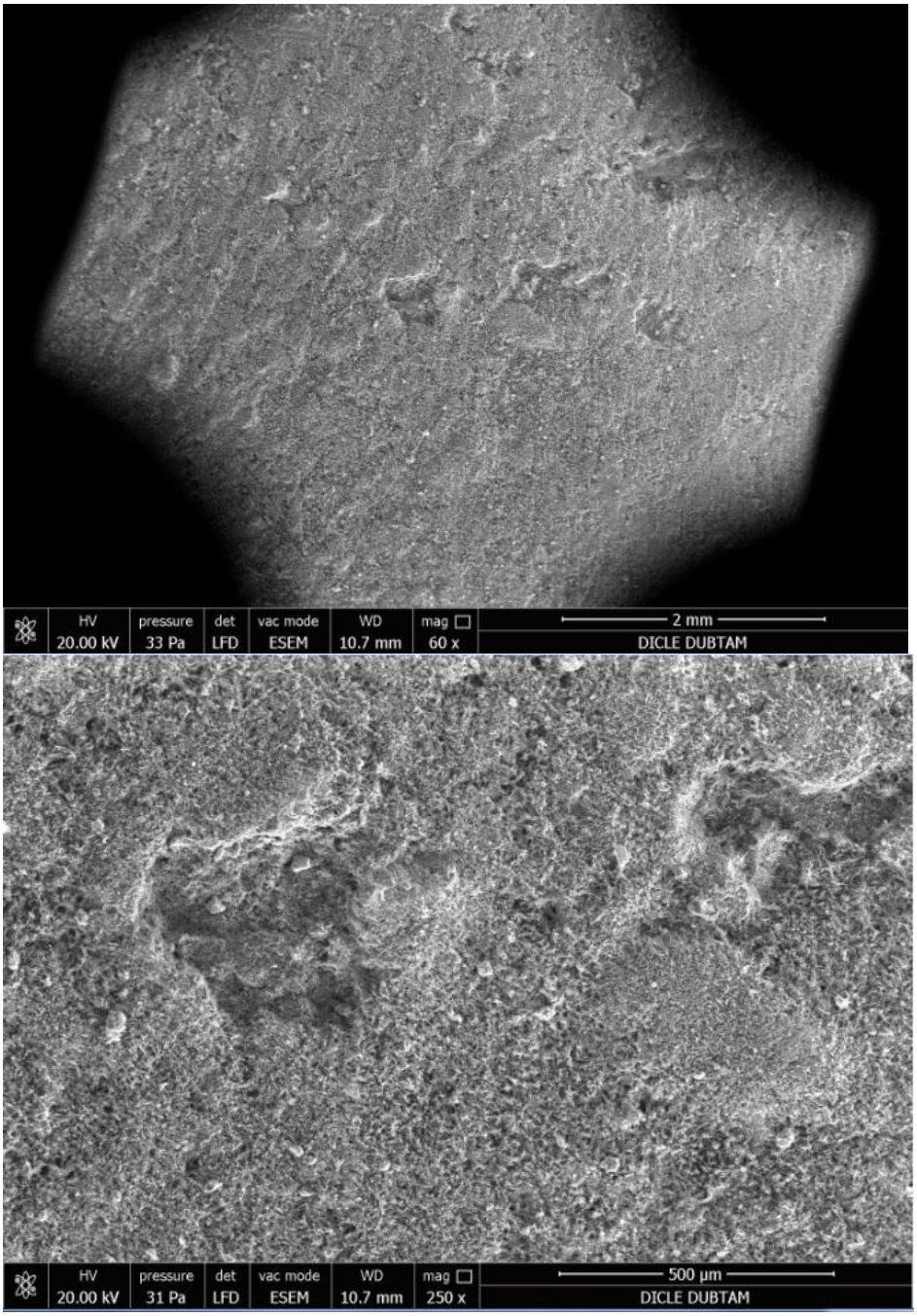


Şekil 4.30. 90 gün su kürü sonunda uçucu kül ikameli beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri



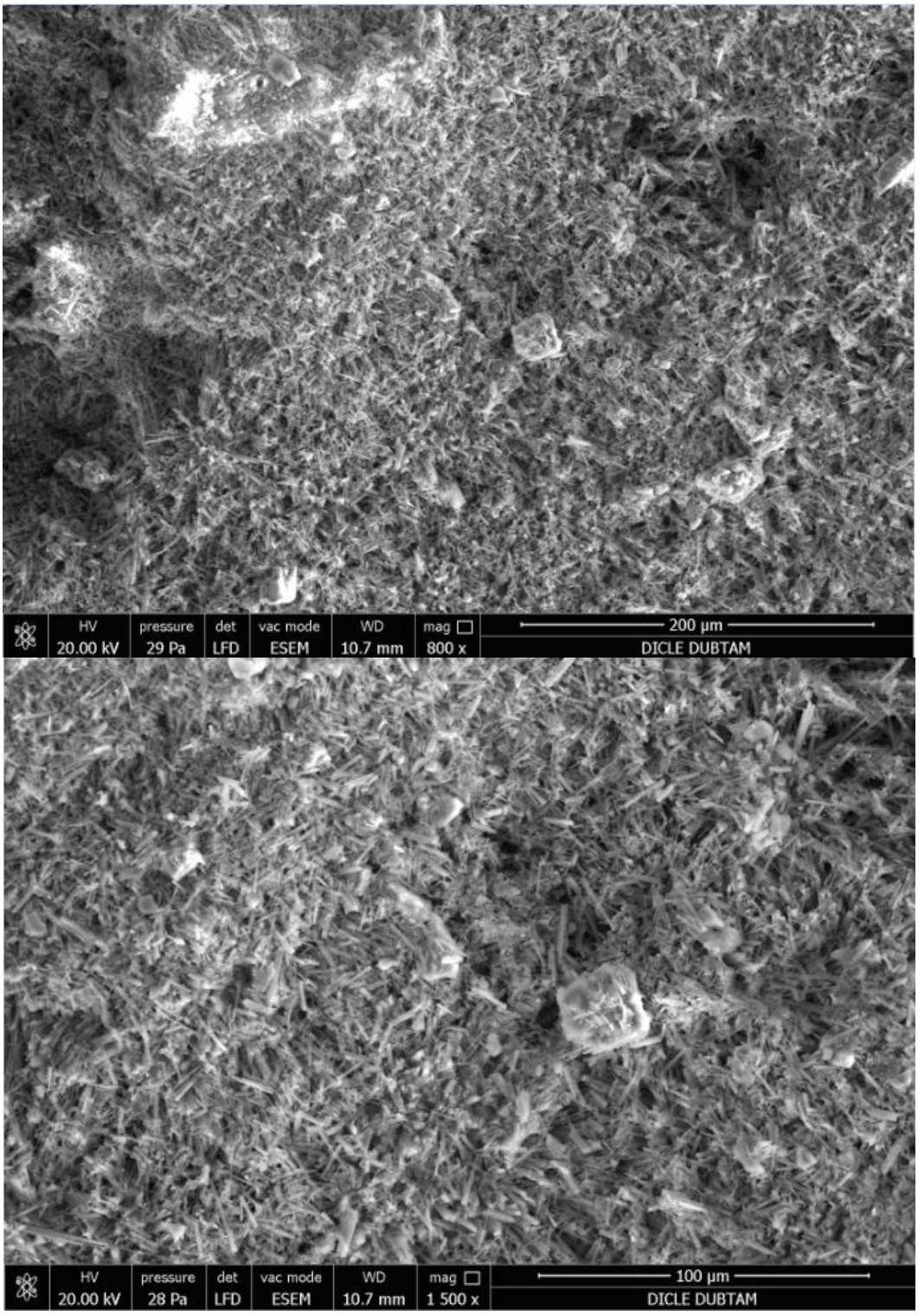
Şekil 4.31. 90 gün su kürü sonunda uçucu kül ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri

Su küründe bekletilen geleneksel karışıma sahip bazalt agregalı numunelerin 90 gün sonunda 60x, 250x, 800x, 1500x SEM görüntüleri Şekil 4.32. ve Şekil 4.33.'te verilmiştir.

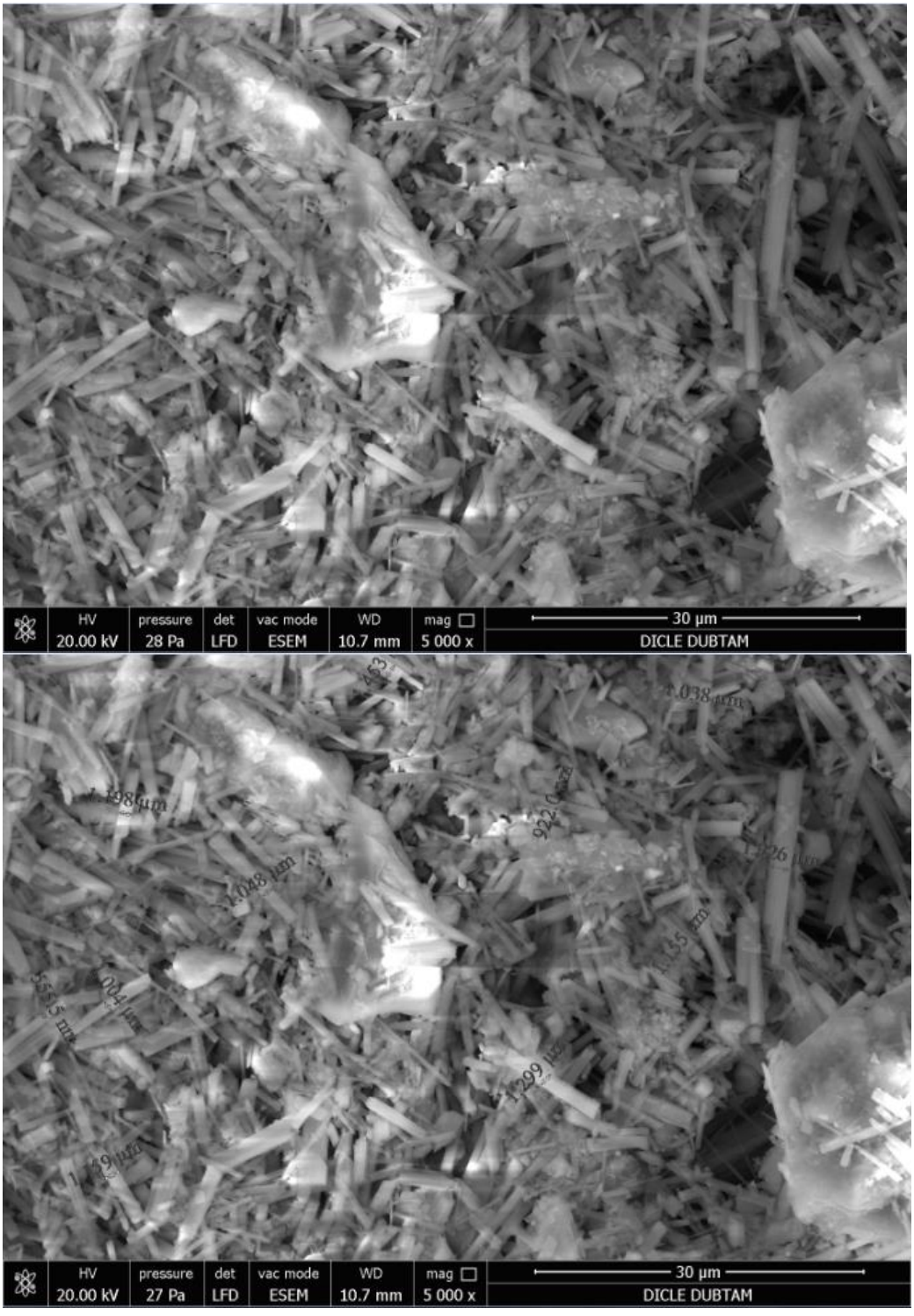


Şekil 4.32. 90 gün su kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri

Şekil 4.32.'de 60 kat büyütülmüş görüntüde mineral katkısız beton yüzeyinde herhangi bir bozulma olmadığı görüntülenmiştir.



Şekil 4.33. 90 gün su kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri

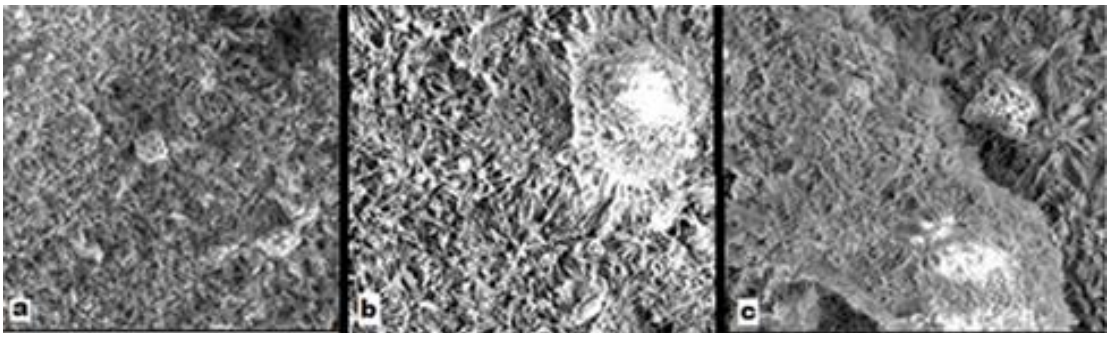


Şekil 4.34. 90 gün su kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri

Su küründe bekletilen numuneler incelendiğinde numunelerde dayanıklılığı olumsuz etkileyecek oranda kılcal çatlaklara rastlanmamıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde betonun mikro yapısında oluşan ürünlerin çeşitliliğinde farklılıklar

gözlenmemiştir. Ayrıca ASR sonucu oluşan siyah yuvarlak boşlukların oluşmadığı gözlemlenmiştir (Dogruyol ve Karaşin 2016).

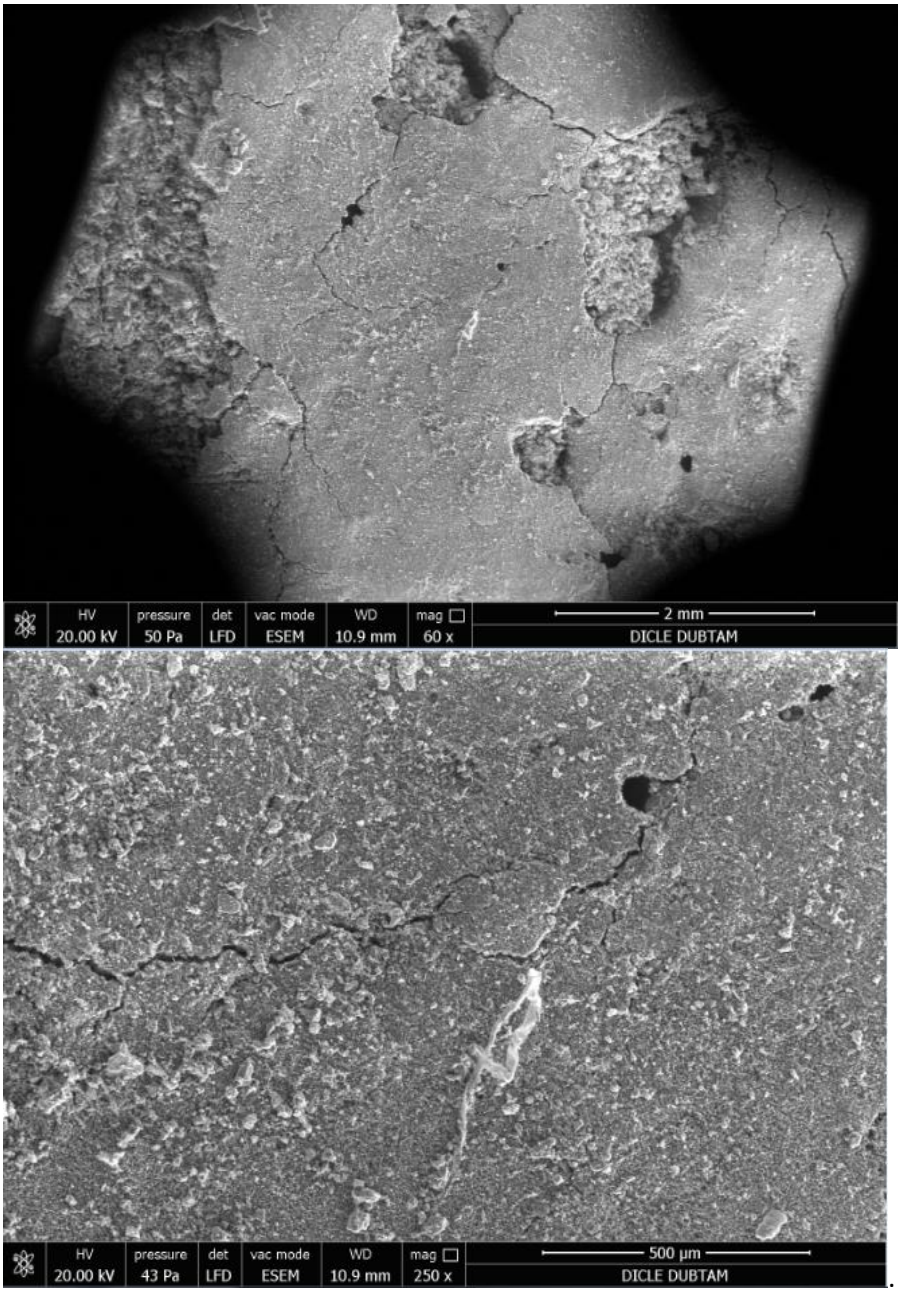
Su kürüne maruz numunelerin SEM görüntüleri, mineral katkısız beton numunesinin Şekil 4.35.a.'da, silis dumanı ikameli beton numunesinin 4.35.b.'de ve uçucu kül ikameli beton numunesinin Şekil 4.35.c.'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Numunelerin su küründeki görüntülerinin karşılaştırılması

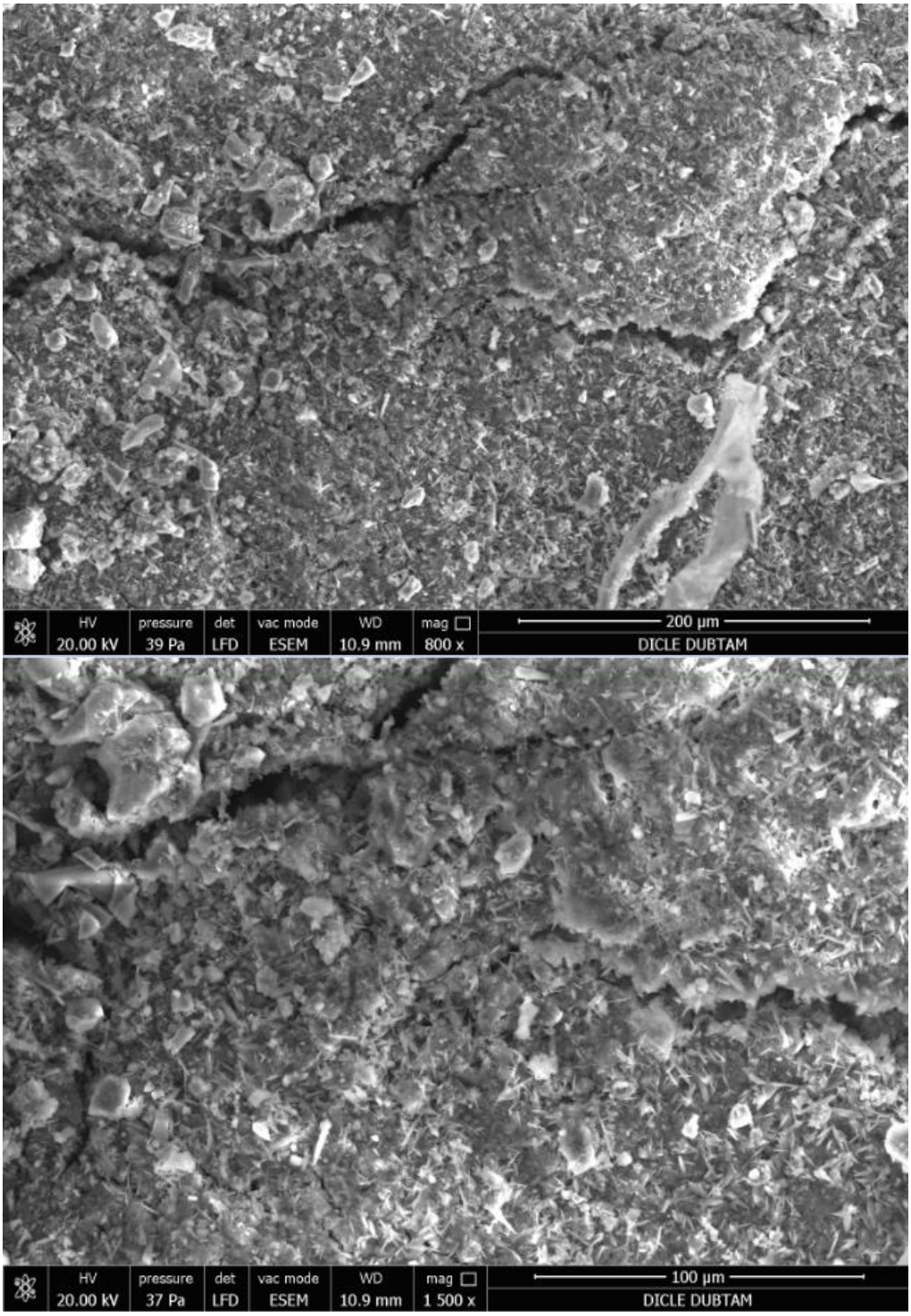
4.3.2. Sülfat Çözeltisi Görüntüleri

%10 derişime sahip magnezyum sülfat çözeltisinde 90 gün bekletilen küp numuneler çözeltiden çıkarılarak kurutulmuştur. Numuneler SEM cihazında gözlem yapılabilecek boyuta getirilebilmesi için 5x5x2 cm boyutunda ince kesim aletiyle kesilmiştir. Numunelerin 60x, 250x, 800x, 1500x SEM görüntüleri alınmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilen numulerde su kürüne nazaran daha fazla yüzeysel çatlakların olduğu belirgin şekilde görüntülenmiştir. 90 gün sülfat kürü sonunda mineral katkısız beton numunesinin 60x, 250x, 800x, 1500x SEM görüntüleri Şekil 4.36. ve Şekil 4.37.'de verilmiştir.

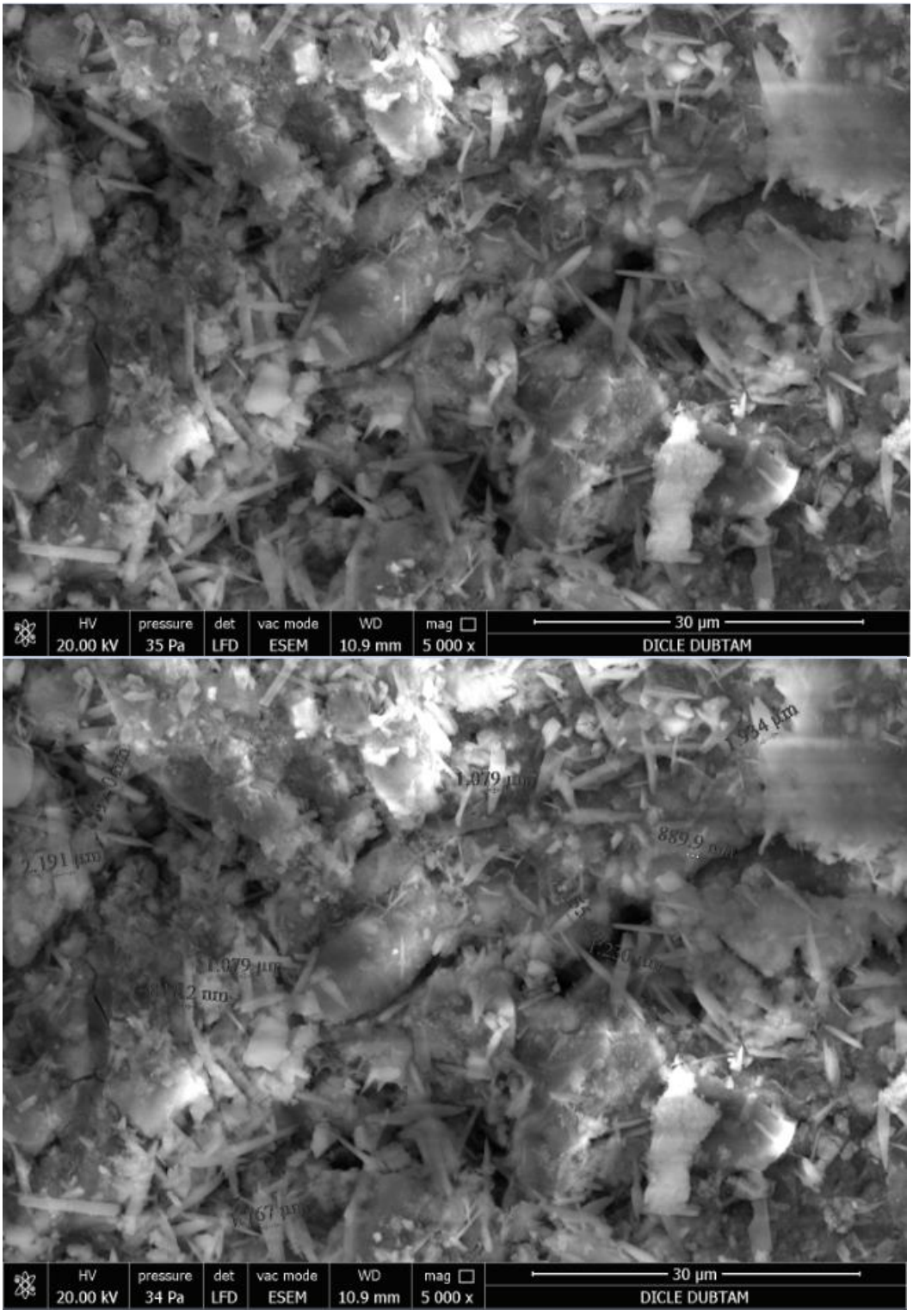


Şekil 4.36. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri

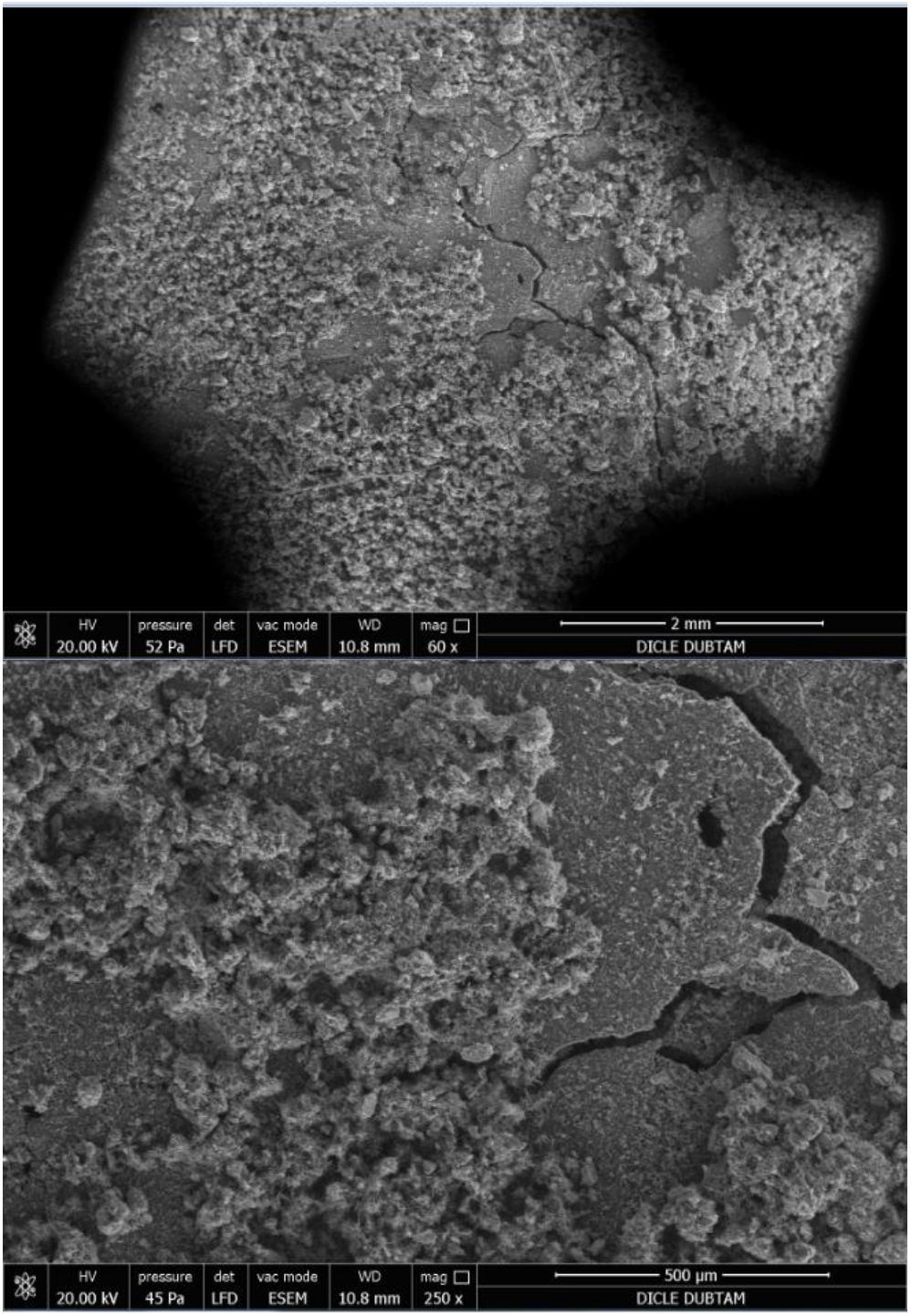
Şekil 4.36.'da 250 kat büyütülmüş görüntüde sülfat etkisinde kılcal çatlakların ve beton yüzeyinde beyaz lekelerin oluştuğu görüntülenmiştir.



Şekil 4.37. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen mimeral katkısız beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri

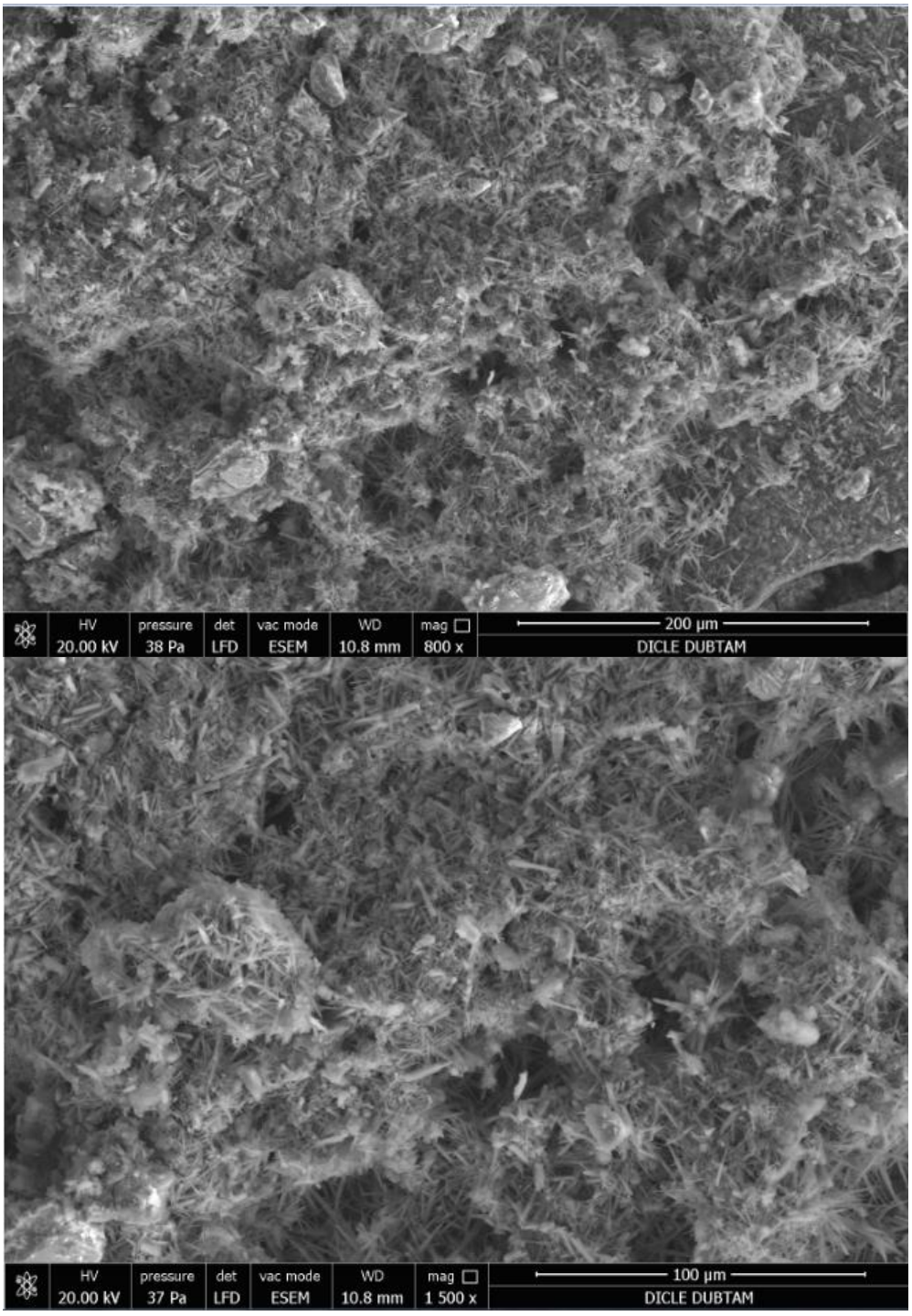


Şekil 4.38. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen mineral katkısız beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri

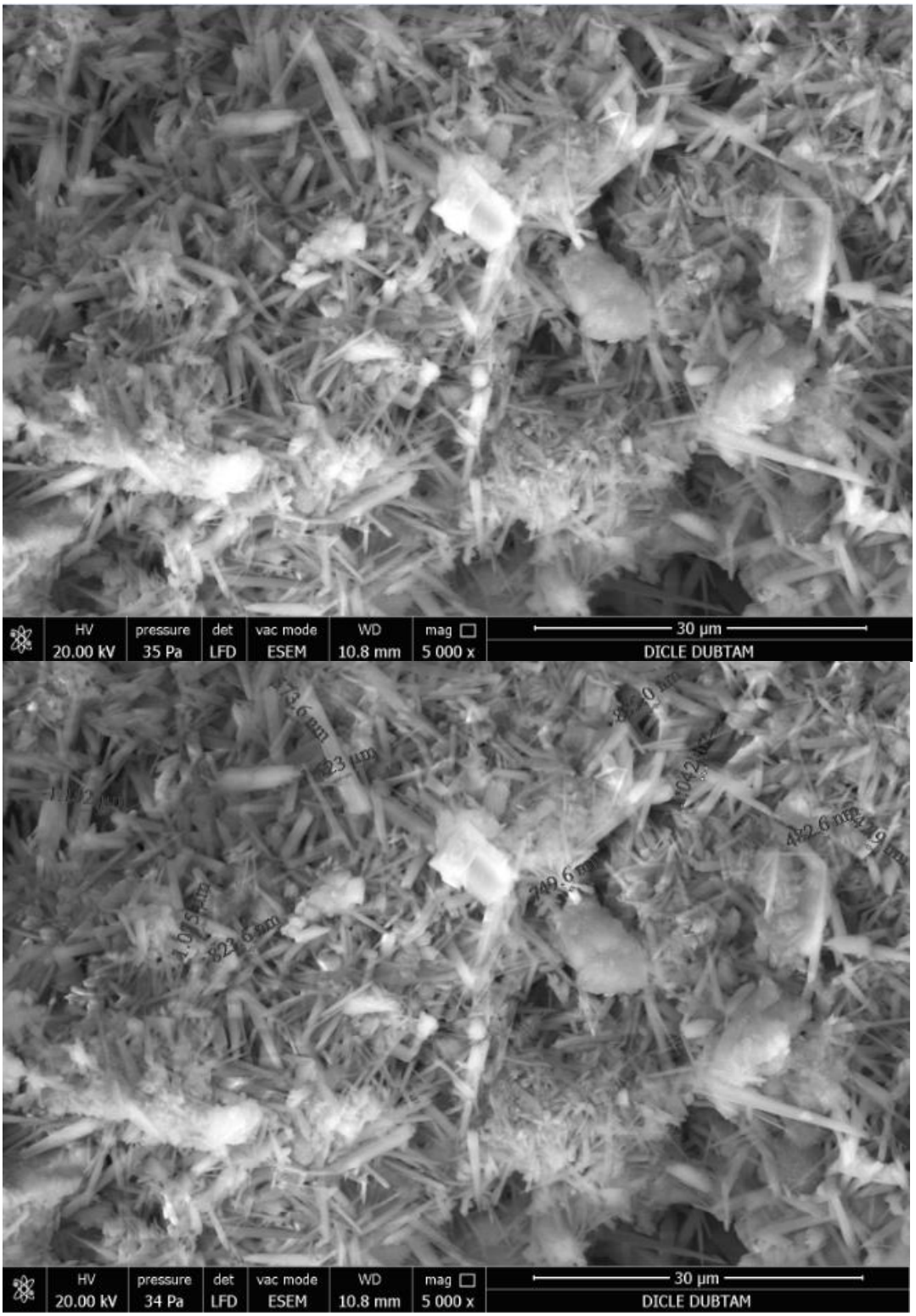


Şekil 4.39. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli beton numunesinin 60x, 250x SEM görüntüleri

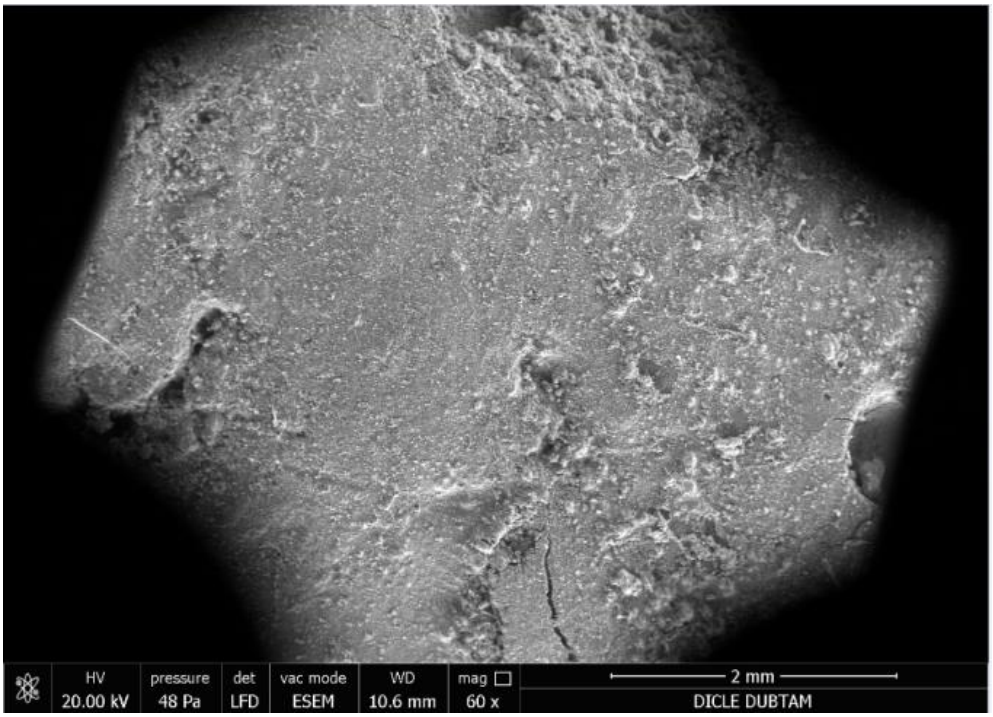
Şekil 4.39.'da sülfat çözeltisinin etkisinde oluşan kılcal çatlaklar net şekilde görülmüştür. Oluşan kılcal çatlakların betonun dayanımı ve dayanıklılığını olumsuz etkileyebileceği kanısı oluşmuştur.

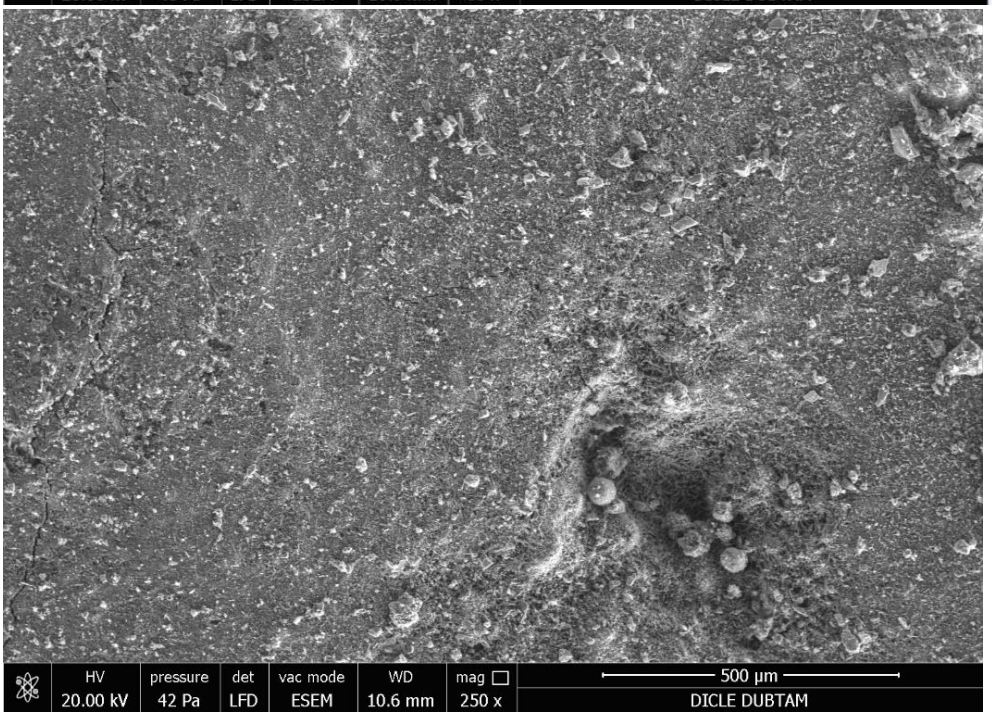


Şekil 4.40. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli beton numunesinin 800x, 1500x SEM görüntüleri



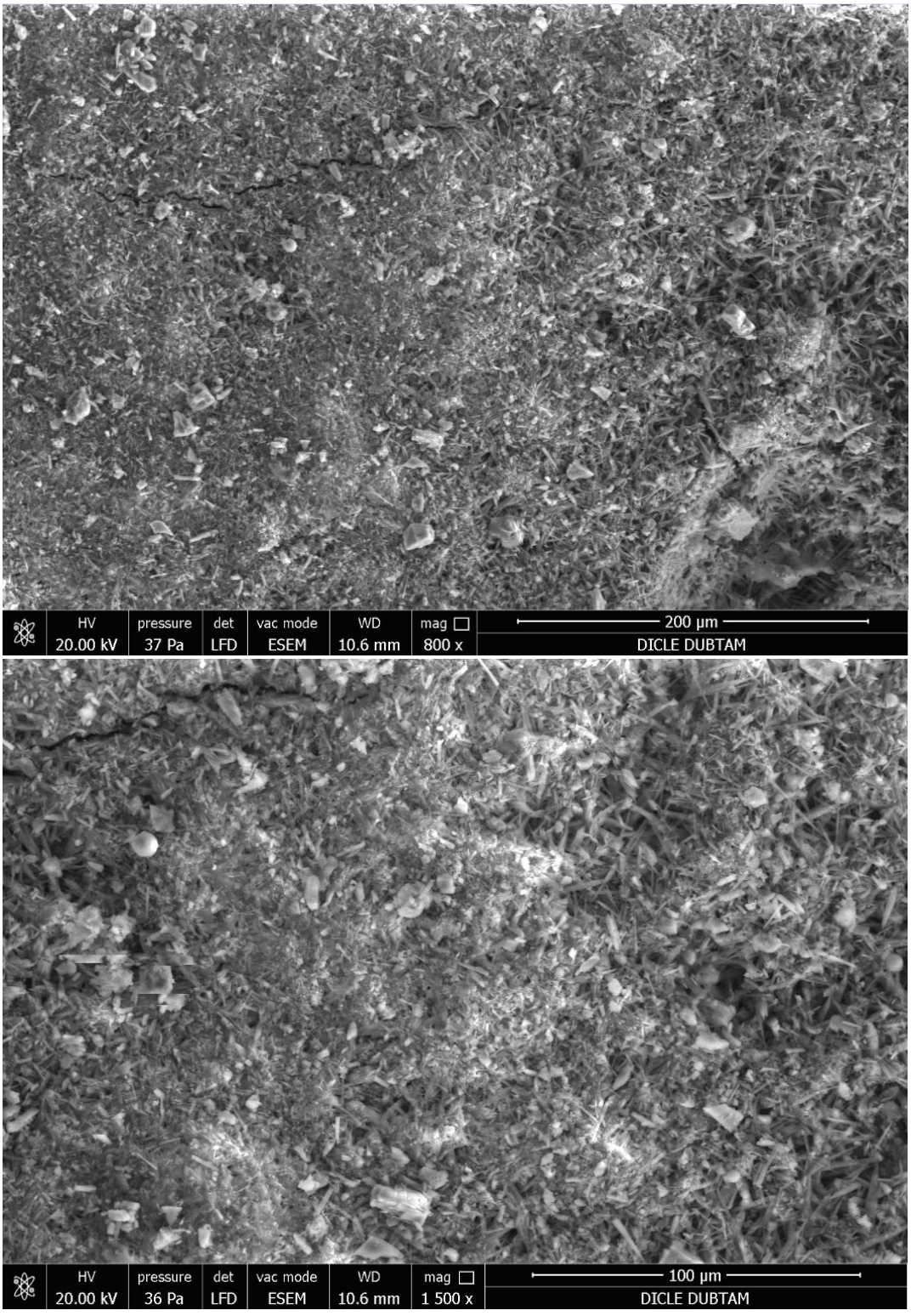
Şekil 4.41. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen silis dumanı ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri



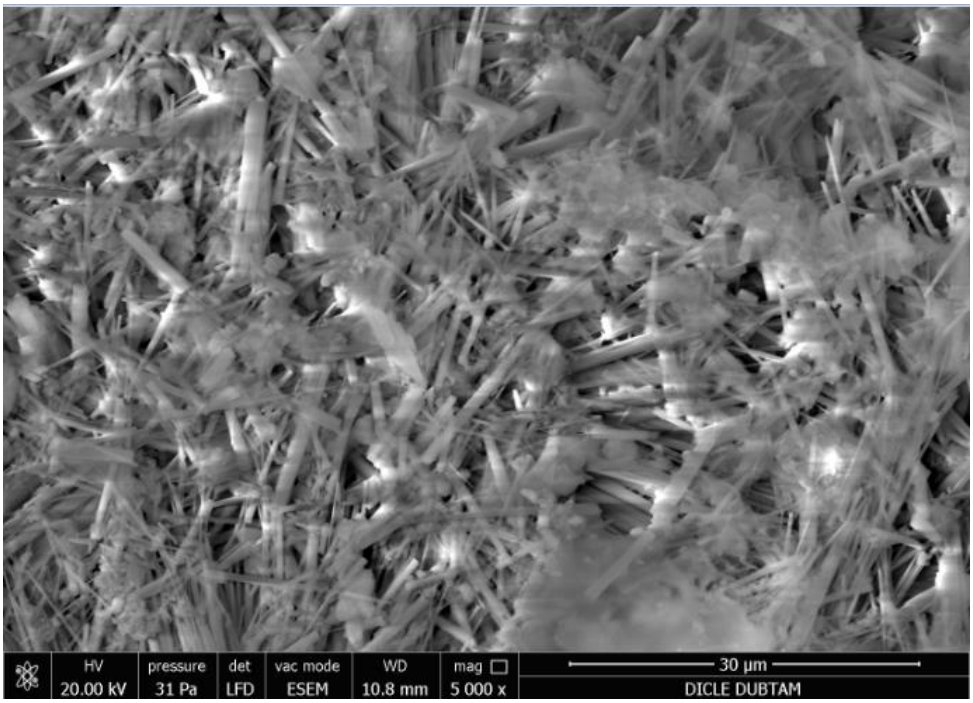


Şekil 4.42. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli beton numunesinin 60x,250x SEM görüntüleri

Şekil 4.42.'de sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli betonun SEM görüntüsü, silis dumanı ikameli betonun Şekil 4.39.'da gösterilen SEM görüntüsüne kıyasla kılcal çatlakların daha az oluştuğu, sülfat çözeltisine karşı uçucu kül ikameli betonun dayanıklılığının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.



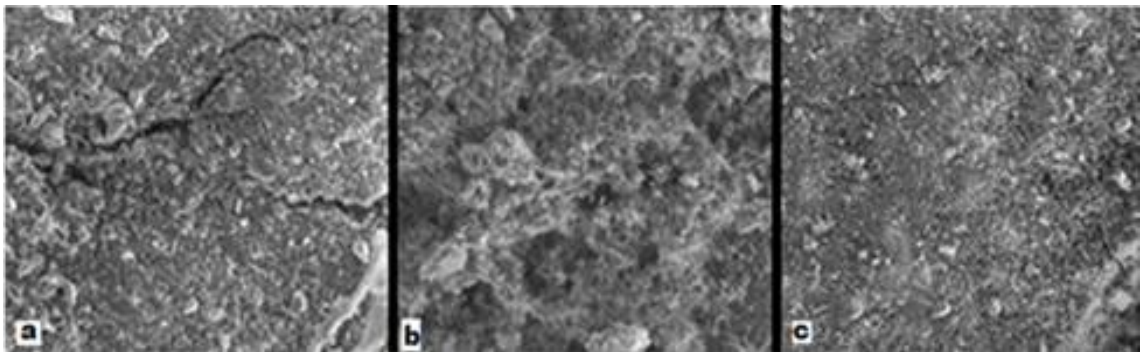
Şekil 4.43. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli beton numunesinin 800x,1500x SEM görüntüleri



Şekil 4.44. 90 gün sülfat çözeltisinde bekletilen uçucu kül ikameli beton numunesinin 5000x SEM görüntüleri

Sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde sülfat ataklarının etkisi ile kılcal daha derin çatlaklar oluşmuş çatlakların etrafında sülfat etkisinden kaynaklı beyaz lekelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde betonun mikro yapısında oluşan ürünlerin çeşitliliğinde farklılıklar gözlenmemiş olup ASR sonucu oluşan siyah yuvarlak boşlukların oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin, mineral katkısız beton numunesinin Şekil 4.45.a.'da, silis dumanı ikameli beton numunesinin 4.45.b.'de ve uçucu kül ikameli beton numunesinin Şekil 4.45.c.'de SEM görüntüleri Şekil 4.45.'te karşılaştırılarak gösterilmiştir.



Şekil 4.45. Numunelerin sülfat çözeltisindeki görüntülerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Diyarbakır bazalt taşı ve mineral katkıların kullanılması betonun dayanımına ve dayanıklılığına etkisini incelemek için yapılan deneysel çalışmalar ile şu sonuçlar tespit edilmiştir.

Diyarbakır taşı ve mineral katkı ikameli betonların, 28 günlük beton basınç dayanımları göz önünde bulundurulduğunda C30 beton sınıfı olarak üretilen numunelerin sınıfının üstünde performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Uçucu kül içeren harçlarda işlenebilirliğin arttığı, silis dumanı içeren harçlarda ise işlenebilirliğin azaldığı tespit edilmiştir.

Silis dumanı ikameli beton hem su küründe hemde sülfat çözeltisinde erken ve ileriki yaşlarda en yüksek basınç dayanım performansı göstermiştir ancak üretim maliyeti diğer tür beton karışımların çok üstündedir.

Uçucu kül ikameli beton en ekonomik beton karışımına sahip olması ile birlikte mineral katkısız beton numunesinin 28 günlük basınç dayanımına yakın performans sergilemiştir.

Mineral katkıların beton karışımına çimento yerine ikame edildiğinde basınç dayanım kaybı olmadığı dayanımı ileri yaşlarda artırdığı tespit edilmiştir. Mineral katkıların atıl malzemeler olduğu düşünüldüğünde çevresel kirlenmenin önüne geçilebileceği kanısı oluşmuştur.

Sülfat çözeltisi beton yüzeyinde kılcal çatlar oluşturarak beton üzerinde dayanım ve dayanıklılık kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Silis dumanı ikameli numunenin sülfat etkisine karşı dayanıklılığı en yüksek olduğu, mineral katkıların sülfata karşı betonda dayanıklılığı artırdığı tespit edilmiştir.

Yapılan gözlemlerde magnezyum sülfat çözeltisine maruz beton numunelerin yüzeyinde beyazımsı bir tabaka oluştuğu ve bu beyazımsı tabakanın zamanla yumuşadığı ve çamurumsu bir yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir ancak su küründe bekletilen numunelerde bu durum gözlenmemiştir.

Elektro manyetik mikroskop (SEM) yöntemi ile magnezyum sülfat çözeltisine maruz tüm numunelerde bozulmalar görülmektedir. Bozulma en az uçucu kül ikameli numunede gözlemlenmiştir. Diyarbakır bazaltının betonda agrega olarak kullanıldığında dayanıklılığı olumsuz etkileyen ve kimyasal bozulmaya sebep olan alkali-silika reaksiyonun SEM gözlemleriyle oluşmadığı tespit edilmiştir.

Diyarbakır bazaltının, uçucu kül, silis dumanı gibi mineral katkılar ile beraber beton endüstrisinde kullanılması beton dayanımını artırdığı, kimyasal bozulmalara karşı dayanıklılığı artırdığı yapılan beton basınç deneyleri ile tespit edilmiştir.

Beton dayanım değerinin tespiti için kullanılan yöntemlerden Schmidt çekici yöntemi kalibrasyonu yapılmış olmasına rağmen dayanım değeri hesabında başarılı bir yöntem olmadığı, en iyi yöntemin beton basınç deneyi uygulamasının olduğu beton dayanım hesabında bu yöntemin kullanılması önerilmektedir.

Sülfat etkisi betonda zamana bağlı ilerleyen kimyasal bozulma mekanizmasıdır. Betonda oluşabilecek bozulmaları daha erken görebilmek için süreli çalışmalarda sülfat yoğunluğunun yüksek tutulması daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Toprak altı ve suya temas eden beton kütlelerinin sülfata maruz kalabileceği ve bu bölgede kullanılacak betonların üretiminde uçucu kül kullanılması sülfat etkisinde betonun dayanıklılığını artıracaktır.

Mağmatik kayaçlar beton endüstrisinde kullanıldığında betonu oluşturan malzemeler ile bir takım tepkimeler oluşturabileceği buna bağlı olarakta betonda kimyasal bozulmaya sebebiyet verebileceği bilinmektedir. Bu yüzden bazaltın beton endüstrisinde kullanılmadan önce reaktif bileşenlerin varlığının tespiti için kimyasal analizinin yapılması ve bunun sonucuna göre kullanılması önerilmektedir.

Yapılan literatür araştırmalarında, Diyarbakır Karacadağ mevkiinin farklı bölgelerinden alınan bazalt agregaların mekanik özellikleri değişkenlik gösterdiği, Diyarbakır Elazığ yolu üzerindeki bazalt numunesinin en yüksek mekanik özelliğe sahip olduğu, Diyarbakır Mardin yolu üzerindeki bazalt numunesinin ise en düşük mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada Diyarbakır- Elazığ yolu üzerinde temin edilen bazalt agregası kullanılmıştır. Benzer çalışmaların, farklı mekanik özellik gösteren Mardin ve Şanlıurfa istikametinde bulunan bazalt agregaları içinde yapılmasında fayda vardır.

6. KAYNAKLAR

Acar, A. 2002. Diyarbakır Karacadağ Bazaltlarının Endüstriyel Amaçlı Kullanım Alanları Yüksek Lisans Tezi Maden Müh. Anabilim Dalı, Diyarbakır

ACI Committee 207, 1994. "Mass Concrete," ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, pp.207. IR-1 to 207. IR-44.

Aköz, F. 2002. Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aköz, F. Fikret, T. Koral, S. Yüzer, N. 1999. Effects of Raised Temperature of Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume. Cement and Concrete Research, Vol.29, pp. 537-544.

Al-Amoudi, O.S.B. 2002. Attack on Plain and Blended Cement Exposed to Aggressive Sulfate Environments, Cement & Concrete Composites, 24, 305-316.

Andiç, Ç. 2007. "Alkali-Agrega Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi", Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 252 sayfa.

Arslan, M. Kırgız, M.S. 2006. "Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimentoda mineralojik katkı olarak kullanılması", TÜBİTAK Projesi, Proje No MAG-HD15 (105M086), Ankara.

Aslan, M . 2001, Beton, Atlas Yayın Evi Ağustos, syf 196-197.

ASTM C 125, 1994. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA.

ASTM C 127, 2015. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C 150, 2017. Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C 204, 2016. Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C 227-10, 2010. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C 289, 2007. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C 618, 1994. "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete," Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C 1260, 2014. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA.

Aşık, İ. Şen, H. Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E. Beton 2004, İstanbul, 2004. "Alkali Agrega Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi".

Atiş, C. D. 2001. Uçucu Kül İçeren Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri. Turk j Engin Environ Sci, 25, s. 503-515, Tübitak.

Baradan, B. Yazıcı, H. ve Ün, H. 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), D.E.Ü. Mühendislik Yayınları, 1. Baskı, İzmir.

Başyiğit, C. Kılınçarslan, Ş. Beycioğlu A. 2007. "Betonlarda Yapay Puzolanik Katkı Olarak Kullanılan Endüstriyel Atıklar" Dünya İnşaat Dergisi, Yıl 24, Sayı 2007/5, S. 110-111.

Batic, O.R. Milanesi,C.A. Maiza, P.J. ve Marfil, S.A. 2000. Secondary Ettringite Formation in Concrete Subjected to Different Curing Contition, Cement and Concrete Research, 30, 1407-1412.

Bektaş, F. Topal, T. Göncüoğlu, M.C. Turanli, L. 2008. "Evaluation of the Alkali Reactivity of Cherts from Turkey", Construction and Building Materials, (22), pp. 1183-1190.

Beycioğlu A. Başyiğit C. Subaşı S. Mayıs 2008."Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması Ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması", Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli s. 1387-1394, 14-17.

Biczok, I. 1967. Concrete Corrosion Concrete Protection, Chemical Publishing

Bleszynskı, R. F. Thomas, M. D. A. 1998. Microstructural Studies of Alkali-Silica Reaction in Fly Ash Concrete Immersed in Alkaline Solutions. Advanced Cement Based Material, Vol. 7, pp.66-78.

Bonen, D. ve Cohen, M.D. 1992. Magnesium Sulfate Attack on Portland Cement Paste: Microstructural Analysis, Cement and Concrete Research, 22, 169-180.

Cao, H. T, Bucea, L. Ray, A. Yozghatlıan, S. 1997. The Effect of Cement Composition and pH of Environment on Sulfate Resistance of Portland Cements and Blended Cements. Cement and Concrete Composites, Vol. 19, pp. 161-171.

Casanova, I. Aguado, A. ve Agullo, L. 1997. Aggregate Expansivity Due to Sulfide Oxidation-II Physico-Chemical modeling of Sulfate Attack, Cement and Concrete Research, 27, 1627-1632.

Chındaprasırt, P. Homwuttıwong, S. Sırıvıvatnanon, V. 2004. Influence of Fly Ash Fineness on Strength, Drying Shrinkage and Sulfate Resistance of Blended Cement Mortar. Cement and Concrete Research, Vol. 34, pp. 1087-1092.

Cilason N. ve Aksoy, N. 2000. Beton Yapı Hasarları Onarım ve Korunması ve Sıcak İklimlerde Beton, Lebib Yalkın Yayınları, İstanbul.

Collepardi, M. 2003. A state-of-the Art on Delayed Ettringite Attack on Concrete,Cem.&Conc. Com. 25, 401-407.

Cole, W.F. Lancucki, C.J. 1983. "Products Formed in an Aged Concrete: the Occurrence of Okenite", Cement and Concrete Research, 13, pp. 611-618,

Çopuroğlu, O. Andiç-Çakır, Ö. Broekmans, M.A.T.M. Kühnel, R. 2007. "Mineralogy, Geochemistry and Expansion Testing of an Alkali- Reactive Basalt from Western Anatolia, Turkey", In: I. Fernandes et al (editors), Proceedings of 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Porto, Portugal.

Davidovitz, J. 1987. "Ancient and Modern Concretes: What is the Real Difference?:" *Concrete International*, 9(12), 23-35.

Demir, İ. 2010. Alkali-Silika Reaksiyonu Etkisine Maruz Aynı Oranda Silis Dumanı Ve Uçucu Kül İçeren Harçların Mekanik Özellikleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 4, 749-758.

Dongxue, L. Xınhua, F. Xuequan, W. Mıngshu, T. 1997. Durability Study of Steel Slag Cement. Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 7, pp. 983-987.

Dogruyol, M. , Karasin, A. 2016 a. Effect of Diyarbakır Bazalt On Strength And Durabılıty Of Concrete International Engineering, Science and Education Conference, 01-03 December 2016, Diyarbakir/Turkey

Dogruyol, M. , Karasin, A. 2016 b. "Diyarbakır Bazaltı Kullanılan Betonun Sem İle Araştırılması" 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) Çukurova University, Congress Center, October 26-28, 2016, Adana / TURKEY Pages: 2521-2530, Paper ID:726

Dogruyol, M. , Karasin, A. 2016 c. Diyarbakır Bazaltının Beton Dayanıma Etkisi" 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) Çukurova University, Congress Center, October 26-28, 2016, Adana / TURKEY Pages: 2513-2520, Paper ID:725

D.S.İ, 1974. "Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri", Y.N.Kİ-551, Ankara.

Duval, R. Kadrı, E. H. 1998. Influence of Silica Fume on the Workability and the Compressive Strength of High-Performance Concretes. Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 4, pp. 533-547.

Diamond, S. ve Lee, R.J. 1999. Microstructural Alterations Associated With Sulfate Attack in Permeable Concretes, American Ceramic Society , 123-174.

Diamond, S. Thaulow, N. 1974. "A Study of Expansion due to Alkali- Silica Reaction as Conditioned by the Grain Size of the Reactive Aggregate", Cement and Concrete Research, 4, pp. 591-607.

Douglas E., "Blast- furnace Slag Cement Mortar and Concrete: Durability Aspects",. Supplementary Cementing Materials for Concrete, edited by VM Malhotra, CANMET, 337- 365, 1987.

Divet, L. ve Randriambololona, R. 1998. Delayed Ettringite Formation: The Effect of Temperature and Basıcıty on The Interaction of Sulfate and C-S-H Phase, Cement and Concrete Research, 28, 357-363.

EİE. 1979. "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları". Ankara.

EIE. 1982. "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri" EIE Yayını. 82. 21-28. Ankara.

Erdoğan S.T. Erdoğan t. Y. 2007. "Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri", Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ,262-275.

Erdoğan, T. Y. 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş. Ankara, 741s.

Erdoğan T. Y. 2007. Beton, *O.D.T.Ü. Yayıncılık,* Ankara.

Erguvanlı, K. 1983. Mühendislere Jeoloji, İTÜ Kütüphanesi Sayı 1126, 109-110.

Erik, D. Mutlutürk, M. 2004. "Alkali-Silica Reactivity Features of Gravel-Sand Aggregates in Koç River (Hafik-Sivas)", ROCKMEC 2004 – VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, Sivas, Turkey.

Fernandes, I. 2009. "Composition of Alkali-Silica Reaction Products at Different Locations within Concrete Structures", Materials Characterization, 60, pp. 655-668.

Güler, G. Güler, E. İpekoğlu,Ü. Mordoğan, H. 2005. "Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları". Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2Q05. 09-12 Haziran 2005, İzmir

Hassan, K. E. Cabrera, J. G. Bajracharya, Y. M. 1997. The Influence Of Fly Ash Content and Curing Temperature on the Properties of High Performance Concrete. Proceedings of the Fifth International Conference, Vol. 1. Bahrain, pp. 345-65.
https://www.google.com/earth. "37°56'03.95"K 40°14'39.87"D, göz hizası 610 km, Diyarbakır, Türkiye", 11 Ağustos 2016.

Hewlett, P.C. 1998. "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", *John Wiley and Sons Inc.*, Fourth Edition, New York.

Irassar, E.F. Gonzalez, M. ve Rahhal, V. 2000. Sulfate Resistance of Type V Cement with Limestone Filler and Natural Puzzolana ,Cem.&Conc. Com., 22, 361-368.

Jıanyoung, L. Peı, T. 1997. Effect of Slag and Silica Fume on Mechanical Properties of High Strength Concrete. Cement and Concret Research, Vol. 27, No6, pp. 833-837.

Katayama, T. 2000. "Alkali Aggregate Reaction in the Vicinity of Izmir, Western Turkey", In: Berube, M.A., Fournier, B., Durand, B., (editors): Alkali Aggregate Reaction in Concrete , Proc. 11th International Conference, Quebec, Canada, pp. 365-374.

Kawamura, M. Arano, N. Terashima, T. 1998. "Composition of ASR Gels and Expansion of Mortars", In: M. Cohen, S. Mindess, J. Skalny (editors), Materials Science of Concrete: Special Volume- The Sidney Diamond Symposium, American Ceramic Society, Westerville, OH, pp. 261-276.

Khayat, K. H. Aıtcın, P. C. 1992. Silica Fume in Concrete- An Overview. Poceedings Fourth International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete. ACI-SP132, İstanbul, Turkey. pp. 835-872.

Kırgız, M. S. 2004. "İkameli ve Katkılı Çimento Pastalarının Hidratasyon Bileşiklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanılarak Belirlenmesine İlişkin Literatür Araştırmaları."*mühendislik mimarlık fakültesi dergisi* 1: 73-90.

Kocaçıtak, S. 1975. "A Note of Information Regarding to Alkali- Aggregate Reaction in Turkey", Symposium on Alkali-Aggregate Reaction, Reyjavik, Iceland, pp. 259-262.

Korkanç, M. Tuğrul, A. 2004. "Evaluation of Selected Basalts from Niğde, Turkey, as Source of Concrete Aggregate", Engineering Geology, (75), pp. 291-307.

Kundsen, T. Thaulow, N. 1975. "Quantitative Microanalyses of Alkali- Silica Gel in Concrete", Cement and Concrete Research, 5, pp. 443- 454.

Kurtis, K.E. Monteiro, P.J.M. Brown, J.T. Meyer-Ilse, W. 1997. In Situ Alkali Silica Reaction Observed by X-Ray Microscopy, The center for x-ray optics, Lawrence Berkeley National Laboratory, Advanced Light Source: Compendium of User Abstracts and Technical Reports, LBNL-39981/UC-411: 1993-1996.

Kurtis, K.E. Monteiro, P.J.M. Brown, J.T. Meyer-Ilse, W. 1998. "Expansive Reactions in Concrete Observed by Soft X-Ray Transmission Microscopy", Materials Research Society Symposium Proceedings, v. 524, pp. 3-9.

Langan, B. W. Weng, K. Ward, M. A. 2002."Effect Of Silica Fume And Fly Ash On Heat Of Hydration Of Portland Cement." Cement And Concrete Research. 1045-1051.

Le Maitre, R. W. 1989. A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms 193 pp. Blackwell, Oxford.

Lea, F.M. 1970. the Cemistry of cement and Concrete, Edward Arnold Ltd.

Lindgard, J. Andiç-Çakır, Ö. Fernandes, I. Ronning, T.F. Thomas, M.D.A. 2012."Alkali-Silica Reactions (ASR): Literature Review on Parameters Influencing Laboratory Performance Testing", Cement and Concrete Research, 42, pp. 223-243.

Lu, D. Fournier, B. Grattan Bellew, P.E. 2006."Evaluation of Accelerated Test Methods for Determining Alkali-Silica Reactivity of Concrete Aggregates", Cement and Concrete Research, 28, pp. 546-554.

Malinowski, R. 1982."Aneient Mortars and Concretes: Aspects of Their Durability," History of Technology, 7, 89-101.

Malvar, L.J., Cline G.D., Burke D.F., Rollings R., Sherman T.W., and Greene J.L., 2002. "Alkali- Silica Reaction Mitigation: State of the art and Recommendations", ACI Marerials Journal, Vol:99, Page:480-489.

Massazza, F. 1974."Chemistry of Pozzolanic Additions and Mixed Cements", *Proceedings of 6th International Congress on the Chemistry of Cements*, Moskova.

Massazza, F. 2009.Yayınlanmamış Veriler, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, 99 (2), 19.

Mehta, P. K. 1986."Condensed Silica Fume," Cement Replacing Materials, Vol.3, Surrey University Press, pp.136, 137.

Mitchell, L. J. Thermal Properties 1956. ASTM Sp. Tech. Publ. No.169, 129-135.

Moranville-Regourd, M. 1989. "Products of Reaction and Petrographic Examination", Proc. 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, K. Okada, S. Nishibayashi, M. Kawamura, (editors) Kyoto, Japan, pp. 445-456.

Nawy, E. G. 2001. Fundamentals of High-Performance Concrete. John Wiley and Sons, Canada, 441p.

Nehdi,M. ve Hayek, M. 2005. Behavior of Blended Cement Motars Exposed to Sulfate Solutions Cycling in Relative Humidity, Cement and Concrete Research, 735- 742.

Newman, J. Choo, B. S. 2003. Advanced Concrete Technology. Butterworth-Heinemann, An Imprint of Elsevier.

Özdemir, E. 2006. PÇ ve Mineral Katkı Maddelerinin İkili, Üçlü ve Dörtlü Kombinasyonlarını İçeren Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Park, Y. S. Suh, J. K. Lee, J. H. Shın, Y. S. 1999. Strength Deterioration of High Strength Concrete in Sulfate Environment. Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 1397-1402.

Pavoine,A. Divet,L. ve Fenouillet, S. 2006. A concrete Performance Test for Delayed Ettringite Formation: Part I Optimisation, Cement and Concrete Research, 36,2138-2143.

Pek, N. A. 2014. Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agrega Kullanımı İMO Teknik Dergi, 6849-6866, Yazı 422.

Peterson, K. Gress, D. Van Dam, T. Sutter, I. 2006. "Crystallized Alkali-Silica Gel in Concrete from the Late 1890s", Cement and Concrete Research, 36, pp. 1523-1532.

Peıweı, G. Mın, D. Naıqıan, F. 2001. The Influence of Superplasticizer and Superfine Mineral Powder on the Flexibility, Strength and Durability. Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp. 703-706.

Poole, A.B. 1992. "Introduction to Alkali-Aggregate Reaction in Concrete", pp. 30-53, The Alkali-Silica Reaction in Concrete, R. N. Swamy (editor), Van Nostrand Reinhold, New York, 333 p.

Ramachandran, V.S. 1995. Concrete Admixtures Handbook, *Noyes Publication*, New Jersey.

Roy, D. M. Arjunan, P. Sılsbee, M. R. 2001. Effect of Silica fume, Metakaolin, and Low-Calcium Fly Ash on Chemical Resistance of Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp. 1809-1813.

Sağlık, A. Kocabeyler, M.F. Orkun, Y. Halıcı, M. Tunç, E. 2003."Deriner Barajı ve HES İnşaatı Kütle Betonunda Kullanılması Planlanan Agregalarda Alkali-Silika Reaksiyonu Riski ve Önlenmesine Yönelik Yürütülen Çalışmalar", 5. Ulusal Beton Kongresi, 205-224.

Santhanam,M. Cohen,M.D. ve Olek,J. 2003. Effect of Gypsum Formation on the Performance of Cement Mortars During External Sulfate Attack, Cement and Concrete Research, 32, 325-332.

Skalny, J. Marchand, J. ve Odler, I. 2002. Sulfate Attack on Concrete, Spon Press, New York.

Swamy, R.N. 1992."Testing for Alkali Silica Reaction", pp. 54-95, The Alkali-Silica Reaction in Concrete, R. N. Swamy (editor), Van Nostrand Reinhold, New York, 333 p.

Sellevold, E. J. Radjy, F. F. 1983. Condensed Silica Fume Concrete: Water Demand and Strength Development. Proceedings First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete. ACI-SP79, pp. 677-694.

Şengül Ö. Taşdemir M. A. ve Sönmez R. 2003. Yüksek oranda uçucu kül içeren normal ve yüksek dayanımlı betonların klor geçirimliliği, *V. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul s.75-76

TAEK, 2009. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu- http://www.taek.gov.tr/malzeme-teknolojisi/595-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html

Taylor, H.F.W. Famy, C. ve Scrivener, K.L. 2001. Delayed Ettringite Formation, Cement and Concrete Research, 31, 683-693.

TÇMB, 2003. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği "Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri", Ankara.

Thaulow, N., Hjorth Jakobsen, U., Clark, B., "Composition of Alkali Silica Gel and Ettringite in Concrete Railroad Ties: SEM-EDX and X-Ray Diffraction Analyses", Cement and Concrete Research, 26, 4, pp. 309-318, 1996.

Thomas, M. D. A. Shehata, M. H. Shashıprakash, S. G. Hopkıns, D. S. Caıl, K. 1999. Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 1207-1214.

Thordal Andersen, K., Thaulow, N. 1990."The Study of Alkali Silica Reactions in Concrete by the Use of Fluorescent Thin-Sections", Petrography Applied to Concrete and Aggregates, B. rlin, D.Stark (editors), ASTM STP 1061, ASTM, Philadelphia, USA, pp. 71-89.

Tokyay, M. ve Erdoğdu, K. 2007. Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.

Tokyay, M. Erdoğdu, K. 2003. Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ankara, 48s.

Tomısawa, T. Chıkada, T. Nagao, Y. 1992. Properties of Super Low Heat Cement Incorporating Large Amount of Ground Granulated Blast Furnace Slag of High Fineness. ACI SP-132, Vol. 2.

Topçu, İ.B. 2006. Yapı Malzemeleri ve Beton , Şahvar Offset,Eskişehir.

T. Savaşkan, 1986. *"Elektron Mikroskoplarının Endüstriyel Problemlere Uygulanması"*, Karadeniz Üniversitesi Basımevi, Genel yayın no. 108, Fakülte yayın no. 35, Trabzon.

TS 25, 2008. "Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri ", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 196 EN 6, 2010. "Çimento deney yöntemleri bölüm 6, incelik tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206-1, 2002. Beton, T.S.E, Ankara.

TS 450 EN, 1988. Uçucu kül betonda kullanılan tarifler, özellikler ve kalite kontrol, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 706 EN 12620, 2003. "Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, T.S.E, Ankara.

TS 2517, 1977. "Alkali Agrega Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türker P. Erdoğan, B. Katnaş, F. ve Yeğinobalı,A. 2007. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.

Ustabaş, İ. 2008. Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton Ve Harçların Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Walker, S. Bloem, D.L. Mullen W.G. 1952.Effects of Temperature Changes on Concrete as Influenced by Aggregates, Journal of ACI 48, 661-679.

Yang, R. ve Lawrence, C.D. 1999. Delayed Ettringite Formation in Heat-Cured Portland Cement Mortars, Cement and Concrete Research, 29, 17-25.

Yazıcı, S. 1996. The Mechanical Properties and Durability of High Strength Concrete with Silica Fume and Fly Ash. Dokuz Eylul Universitesi Fen Bilimleri Enstitusu, Doktora Tezi, İzmir, 115s.

Yeğinobalı,A. 2007, Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, , Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.

Yıldırım, K. Sümer, M. Uysal, M. 2011."Uçucu Külün Alkali-Silis Reaksiyonuna Etkisinin Araştırılması", 8. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir, 99-107,

Yıldız S., Işık, N. Keleştemur O. 2008. Diyarbakır-Karacadağ Bazalt Taşlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 20 (4), 617-626.

Zoldners, N.G. 1960. Effect of High Temperatures on Concrete Incorporating Different Aggregates, Mines Branch Research Report R64, Dept. Mines and Technical Surveys.

ÖZGEÇMİŞ

Murat Doğruyol 3 Aralık 1985 Diyarbakır ili Merkez Yenişehir doğumludur. İlk, orta ve lise eğitimini Diyarbakır Merkez'de tamamladı. 2007 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansını tamamladı. 2012 yılında aynı enstitünün doktora programını kazandı.

2010-2012 yılları arasında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi (2547 sayılı Yükseköğrenim Yasasının 33-a maddesi) olarak çalıştı. 2012 yılından itibaren Siirt Üniversitesi Siirt TBMYO'nda Öğretim Görevlisi (2547 sayılı Yükseköğrenim yasasının 31. Maddesi) olarak çalışmaktadır.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Murat DOĞRUYOL
ÖĞRENCİ NO	12806507
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAM	DOKTORA
TEZ KONUSU	DİYARBAKIR BAZALTININ MİNERAL KATKILAR İLE KULLANILMASININ BETONUN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	106
BENZERLİK ORANI	%15
RAPORLAMA TARİHİ	06/06/ 2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 106 sayfalık kısmına ilişkin, 06/06/2017 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %15 'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

☒ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☒ Kaynakça hariç
☒ Alıntılar dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve bu Uygulama Esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)
Murat DOĞRUYOL

(İmza) 06/06/ 2017 Doç.Dr.A.Halim KARAŞİN **Tez Danışmanı**	(İmza) 06/06/ 2017 Doç.Dr.Halil GÖRGÜN **Anabilim Dalı Başkanı**