

**HAM PERLİT AGREGASI İLE ÜRETİLEN HAFİF  
BETONUN ASİTLERE KARŞI DAYANIKLILIĞI  
(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , HNO<sub>3</sub>)**

**Ali KHANJARKHANI**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalı  
Prof. Dr. Rüstem GÜL  
2014  
Her Hakkı Saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAM PERLİT AGREGASI İLE ÜRETİLEN HAFİF BETONUN  
ASİTLERE KARŞI DAYANIKLILIĞI  
( $H_2SO_4$  ,  $HNO_3$ )

Ali KHANJARKHANI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Yapı Bilim Dalı

ERZURUM  
2014

Her hakkı saklıdır



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

HAM PERLİT AGREGASI İLE ÜRETİLEN HAFİF BETONUN ASİTLERE  
KARŞI DAYANIKLILIĞI (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , HNO<sub>3</sub>)

Prof. Dr. Rüstem GÜL danışmanlığında, Ali KHANJARKHANI tarafından hazırlanan bu çalışma 26.../12.../2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Yapı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.3/.3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rüstem GÜL

İmza

Üye : Prof. Dr. Ensar OĞUZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu ..05../01../2015 tarih ve ..01../...23..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

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

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **HAM PERLİT AGREGA İLE ÜRETİLEN HAFİF BETONUN ASİTLERE KARŞI DAYANIKLIĞI (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>)**

Ali KHANJARKHANI

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rüstem GÜL

Bu çalışmada sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve nitrik asitin (HNO<sub>3</sub>) hafif betonun bazı özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Normal agregaya yerine %100 perlit agregası kullanılarak 10x20 cm boyutlarında silindirik beton numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda, çimento ağırlığına göre %5 ile %10 silis dumanı (SD), %10 ile %20 uçucu kül (UK) ilaveli ve mineral katkısız olmak üzere 5 tipte numuneler üretilmiştir. Gerekli kür süresini tamamlayan beton numuneler, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub>'lü ortamlarda 3 ay bekletilmiştir. Bu asitlerin hafif beton üzerinde etkilerini incelemek için, basınç dayanımı (BD), ultra ses (US), birim hacim ağırlığı (BHA) ve su emme (SE) deneyleri üçer adet beton numuneler üzerinde yapılmıştır ve sonuçların ortalaması kayıt altına alınmıştır. Su emme, basınç dayanımı, birim hacim ağırlığı ve ultra ses deneyleri sırasıyla 28, 56, 90 ve 120 gün içinde yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, asit çözeltilerinin mineral katkılı numuneleri üzerinde etkisi, normal numunelere göre daha az olduğu belirlenmiştir. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisindeki mineral katkısız numuneleri daha çok su emebildiğinden dolayı zamanla daha çok çözeltinin beton içine nüfuz etmesine neden olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre 90 gün içinde %5 sülfürik asit çözeltisinde, sırayla en fazla etkilenen mineral katkısız numuneler ve en az etkilenen %10 silis dumanlı numuneler olmuştur.

**2014, 92 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Sülfürik asit, Nitrik asit, Silis dumanı, Uçucu kül, Basınç dayanımı, Su emme ve Ultra ses.

## ABSTRACT

Master Thesis

### THE EFFECT OF ACID IN LIGHTWEIGHT CONCRETE ( $H_2SO_4$ , $HNO_3$ )

Ali KHANJARKHANI

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Building Department

Supervisor: Prof. Dr. Rüstem GÜL

The purpose of this thesis is to study the effect of sulfuric acid and nitric acid in lightweight concrete. In this thesis, the samples with perlit made in cylindrical molds of 10 by 20 cm produced. The concrete specimens were produced PKÇ/B 42.5R cement. The cement dosages was  $400 \text{ kg/m}^3$ . Five different types of concrete have been produced. The cement replacement of fly ash are 10 and 20% weight of cement and the cement replacement of micro silica fume are 5 and 10% weight of cement and in order to compare some specimens were produced without any mineral admixtures. To regulate workability of the concrete superplasticizer was added all mixtures by 1,5% weight of cement. The obtained species in 5% sulfuric acid and 5% nitric acid solutions were placed in 28, 56, 90 days.

To study the effects of the acids on light weight concrete on the base of civil engineering standards, testing the unit weight, pressure resistance, ultra sound and water absorption accomplished on three species of the concrete and the results have been recorded. Of the results gained in 90 days, in sulfuric acid and nitric acid solutions, the species without any mineral admixtures have got more effects, comparing to micro silica fume and fly ash species. The high durability was found by adding 10% silica fume. This was followed by adding 20% fly ash, adding 5% silica fume, adding 10% fly ash and without any mineral admixtures.

**2014, 92 pages**

**Keywords:** Concrete, Sulfuric acid, Nitric acid, Fly ash, Micro silica fume, Pressure resistance, Water absorption, Ultra sound.

## TEŞEKKÜR

Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırladığım bu çalışmada tez konumun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren ve diğer tüm yardım ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım **Sayın Prof. Dr. Rüstem GÜL**'e sonsuz minnetlerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam esnasında her türlü desteğini esirgemeyen **Sayın Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL**'e ve yapmış olduğum çalışmadaki kimyasal olay ve işlemlerin yorumlanması ve tezimin değerlendirilmesi için yapmış olduğu katkı ve yardımlardan dolayı arkadaşım **Sayın İnş. Müh. Amir ESMAEILZADEH** ve laboratuvar teknisyenimiz **Sayın İlhami AYHAN**'a da teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım süresince, göstermiş oldukları büyük sabır ve özveriyle bana destek olan değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

**Ali KHANJARKHANI**

**Aralık, 2014**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>3</b>
2.1. Betonun Tanımı.....	3
2.2. Betonun Tarihçesi.....	3
2.3. Taze Beton ve Sertleşmiş Betonun Tanımları .....	3
2.4. Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörler .....	4
2.5. Betonun Bileşenleri .....	4
2.5.1. Çimento .....	4
2.5.1.a. Çimentonun bileşenleri.....	5
2.5.2. Agrega .....	7
2.5.3. Betonda karışım suyu .....	10
2.5.4. Beton katkı maddeleri .....	11
2.5.4.a. Uçucu kül.....	12
2.5.4.b. Silis dumanı.....	14
2.5.4.c. Silis dumanının fiziksel özellikleri .....	15
2.6. Betonun Kimyasal Nedenlerle Bozulması .....	16
2.6.1. Sertleşmiş çimento bileşenlerinin hidrolizi ve yıkanması.....	16
2.6.2. Sülfat saldırısı.....	18
2.6.2.a. Sülfatların betonda oluşturdukları zararlı reaksiyonlar .....	19
2.6.3. Asit saldırısı.....	20
2.6.3.a. Asitlerin betonda oluşturdukları zararlı reaksiyonlar .....	22
2.6.3.b. Kanalizasyon sistemine hidrojen sülfürün olumsuz etkileri.....	23

2.6.3.c. Asit etkisine karşı alınacak önlemler .....	23
2.7. Hafif Betonlar .....	25
2.7.1. Hafif betonun tarihçesi .....	26
2.7.2. Hafif betonların özellikleri .....	26
2.7.3. Hafif betonların sınıflandırılması .....	27
2.7.4. Hafif betonların üstünlükleri .....	29
2.7.5. Hafif betonların sakıncaları .....	30
2.8. Hafif Agregalar ve Hafif Agregalı Betonlar .....	30
2.8.1. Perlit .....	30
2.8.1.a. Perlitin fiziksel özellikleri .....	32
2.8.1.b. Perlitin kimyasal özellikleri .....	32
2.8.1.c. Perlitin kullandığı alanlar .....	33
2.8.1.d. Perlit agregalı betonların birim hacim ağırlıkları .....	34
2.8.1.e. Perlit agregalı betonların basınç ve çekme dayanımı .....	35
2.8.1.f. Perlit agregalı betonların elastisite modülü .....	35
2.8.1.g. Perlit ile üretilen hafif betonların ısı iletkenlik ve yalıtımları .....	35
2.8.1.h. Perlit agregası ile üretilen hafif betonların rötre ve sünme değerleri .....	36
2.8.1.i. Perlit agregalı betonların su emmesi .....	36
2.9. Sülfürik Asit (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	36
2.9.1. Fiziksel özellikleri .....	36
2.9.2. Kimyasal özellikleri .....	37
2.9.3. Kullanıldığı yerler .....	37
2.10. Nitirik Asit .....	38
2.11. Daha Önceki Çalışmalar .....	39
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>41</b>
3.1. Materyal .....	41
3.1.1. Çimento .....	41
3.1.2. Perlit agregası .....	43
3.1.3. Uçucu kül .....	45
3.1.4. Silis dumanı .....	45
3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı .....	46
3.1.6. Karışım suyu .....	47



3.1.7. Nitrik asit çözeltisi.....	47
3.1.8. Sülfürik asit çözeltisi .....	47
3.1.9. Diğer malzemeler .....	47
3.1.10. Aletler.....	48
3.1.10.a. Elekler.....	48
3.1.10.b. Betoniyer .....	48
3.1.10.c. Kalıplar .....	49
3.1.10.d. Pres cihazı.....	49
3.1.10.e. Ultrases hızı ölçüm cihazı.....	50
3.1.10.f. Su kürü uygulamasında kullanılan aletler.....	50
3.2. Yöntem .....	51
3.2.1. Agrega deneyleriyle ilgili uygulanan yöntemler .....	51
3.2.2. Beton karışım seçeneklerinin belirlenmesi.....	51
3.2.3. Karışım hesapları.....	52
3.2.4. Betonun karıştırılması ve kalıplanması .....	54
3.2.5. Ultrason hızı yöntemi .....	55
3.2.6. Birim ağırlık tayini yöntemi .....	56
3.2.7. Basınç dayanımı .....	56
3.2.8. Kılcal ve hacimsel geçirimsizlik.....	56
3.2.9. Piknometre.....	57
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>59</b>
4.1. Agrega Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma.....	59
4.1.2. Gevşek birim ağırlığı.....	60
4.1.3. Özgül ağırlık.....	61
4.2. Taze Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma.....	62
4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri İle İlgili Bulgular ve Tartışma .....	63
4.3.1. Birim ağırlık ile ilgili bulgular ve tartışma.....	63
4.3.2. Basınç dayanımı ile ilgili bulgular ve tartışma.....	67
4.3.3. Ultrases geçiş hızı ile ilgili bulgular ve tartışma .....	74
4.3.4. Su emme ile ilgili bulgular ve tartışma .....	79
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>89</b>

ÖZGEÇMİŞ .....	93
----------------	----

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>D<sub>max</sub></b>	: Karışımında kullanılan maksimum agrega tane çapı
<b>NHB</b>	: Normal hafif beton
<b>S/Ç</b>	: Su/Çimento oranı
<b>SD</b>	: Silis dumanı
<b>UK</b>	: Uçucu kül

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton elemanı .....	18
Şekil 2.2. Asit saldırısının betonda yaptığı etkiler .....	21
Şekil 2.3. Kanalizasyon sisteminde oluşan hidrojen sülfürün korozyonu .....	24
Şekil 2.4. Hafif betonların sınıflandırması .....	28
Şekil 2.5. Doğal perlit taneleri. ....	31
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan betoniye .....	48
Şekil 3.2. Basınç dayanımı deneylerinde kullanılan pres cihazı.....	49
Şekil 3.3. Standart kür havu .....	50
Şekil 4.1. TS 802 (1985)'de belirlenen maksimum tane boyutu ile ilişkin eğri .....	59
Şekil 4.2. Taze betonda karışım tiplerine göre birim ağırlığı değerleri ( $\text{kg/m}^3$ ).....	62
Şekil 4.3. Standart kür koşulundaki numunelerin birim ağırlıkları ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	63
Şekil 4.4. %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen numunelerin birim ağırlıkları ( $\text{kg/m}^3$ ).....	65
Şekil 4.5. %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen numunelerin birim ağırlıkları ( $\text{kg/m}^3$ ).....	66
Şekil 4.6. Standart kür havuzundaki beton numunelerin basınç dayanımı (MPa).....	68
Şekil 4.7. %5 Nitrik asit çözeltisindeki beton numunelerin basınç dayanımı (MPa) .....	70
Şekil 4.8. %5 Sülfürik asit çözeltisindeki beton numunelerin basınç dayanımı (MPa)..	72
Şekil 4.9. Standart kür havuzunda bekletilen beton numunelerin ultrases geçiş hızları (m/s) .....	74
Şekil 4.10. %5 Nitrik asit çözeltisindeki beton numunelerin ultrases geçiş hızarı (m/s) .....	76
Şekil 4.11. %5 Sülfürik asit çözeltisindeki beton numunelerin ultrases geçiş hızları (m/s) .....	77
Şekil 4.12. Kılcal su emme deneyi .....	79
Şekil 4.13. Standart kür koşulunda tutulan beton numunelerin kılcal su emme değerleri (kg) .....	80
Şekil 4.14. Standart kür koşulunda tutulan beton numunelerin hacimsel su emme değerleri (kg) .....	80

<b>Şekil 4.15.</b> %5 Nitrik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin kılcal su emme değerleri (kg) .....	82
<b>Şekil 4.16.</b> %5 Nitrik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin hacimsel su emme değerleri (kg) .....	82
<b>Şekil 4.17.</b> %5 Sülfürik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin kılcal su emme değerleri (kg) .....	84
<b>Şekil 4.18.</b> %5 Sülfürik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin hacimsel su emme değerleri (kg) .....	84

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Uçucu külün bileşenleri .....	13
Çizelge 2.2. Türkiye’deki bazı uçucu küllerinin fiziksel özellikleri.....	13
Çizelge 2.3. Silis dumanının kimyasal özellikleri. ....	15
Çizelge 2.4. Farklı asitlerin betonda yaptığı etkiler .....	21
Çizelge 2.5. Hafif betonların sınıflandırması.....	29
Çizelge 2.6. Tipik bir perlitin kimyasal analizi.....	33
Çizelge 2.7. Değişik derişimlerdeki oleumların ergime noktaları. ....	37
Çizelge 2.8. Nitrik asitin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	38
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel özellikleri.....	42
Çizelge 3.2. Çimentonun mekanik özellikleri.....	42
Çizelge 3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri. ....	43
Çizelge 3.4. Erzincan Mollaköy ham perlitin birleşenleri .....	44
Çizelge 3.5. Erzincan Mollaköy perlit agregasının fiziksel özellikleri.....	44
Çizelge 3.6. Uçucu külünün kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	45
Çizelge 3.7. Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	46
Çizelge 3.8. Glenium C 303’ün teknik özellikleri .....	46
Çizelge 3.9. 1 m <sup>3</sup> hacimli teorik karışımda bileşen miktarları.....	53
Çizelge 3.10. 1 m <sup>3</sup> hacimli karışımda düzeltilmiş bileşen miktarları .....	54
Çizelge 4.1. Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının elek analizi .....	60
Çizelge 4.2. Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının gevşek birim ağırlığı .....	61
Çizelge 4.3. Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının özgül ağırlık faktörü değerleri .....	61
Çizelge 4.4. Taze beton birim ağırlık sonuçları .....	62
Çizelge 4.5. Standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri .....	64
Çizelge 4.6. %5 Nitrik asit çözeltilisinde bekletilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri .....	65
Çizelge 4.7. %5 Sülfürik asit çözeltilisinde bekletilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri .....	66

<b>Çizelge 4.8.</b> Standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri .....	68
<b>Çizelge 4.9.</b> %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri .....	70
<b>Çizelge 4.10.</b> %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri .....	73
<b>Çizelge 4.11.</b> Standart kür koşulunda tutulan beton numunelerin ultrases geçiş hız değerleri.....	75
<b>Çizelge 4.12.</b> %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin ultrases geçiş hız değerleri.....	76
<b>Çizelge 4.13.</b> %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin ultrases geçiş hız değerleri.....	78
<b>Çizelge 4.14.</b> Standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri .....	81
<b>Çizelge 4.15.</b> %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri .....	83
<b>Çizelge 4.16.</b> %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri.....	85

## 1. GİRİŞ

Beton, çağımızın en çok kullanılan yapı malzemesidir. Çağdaş ve günlük yaşamda, betonla iç içe olunmayan tek bir zaman dilimi dahi yoktur. Bu nedenlerle betonla ilgili inşaat mühendislerinin, bilim adamlarının, işadamlarının betonun özelliklerini yeterince tanımaları, karşılaşılan sorunların neler olduklarını, bu sorunların nereden nasıl kaynaklandığını ve çözümlerini çok iyi bilmeleri gerekmektedir (Erdoğan 1995).

Betonun istenilen boyutta yekpare parçaların üretilebilmesi, harca istenilen şeklin verilebilmesi, iskeletini teşkil eden mukavemetinin yeterliliği nedeniyle yapı elemanı boyutlarının küçültülebilmesi, kalifiye bir işçiliğe gereği olmayışı gibi yararlı tarafları bulunmaktadır. Buna rağmen, betonun dezavantajları ise, betonun yüksek ısıya dayanamaması, gerekli tedbirlerin alınmamasıyla ısıyı ve rutubeti geçirmesi, sökülüp tekrar kullanılma imkanından yoksun oluşu ve tamirinin zor veya olanaksız oluşudur (Uluata 1981).

Gelişen dünyada, betonun çok değişik ortamlarda kullanılması sonucu betondan beklenen özellikler de artmıştır. Bu nedenle betonun hizmet ömrü daha büyük öneme sahip olmaktadır. Betonun çevrenin etkisinde performansını kaybetmeden devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanan hizmet ömrü, betonun teknik ve ekonomik tasarımı sonucu ortaya çıkmış bir kavramdır. Bu amacın gerçekleşmesi betonun üretim öncesi, üretim süreci ve üretim sonrasındaki kalite kontrol ve denetimleri ile sağlanabilir. Betona etki ederek tahribata yol açan fiziksel ve kimyasal etkenlerin betona etkisi, betonun üretim safhalarında ortaya çıkan aksaklıklar başlangıçta yada özellikle dış fiziksel etkenler ile sonradan meydana gelmektedir (Özgan ve Yıldız 2003).

Betonarme yapılara etki eden önemli kuvvetlerden biri de deprem kuvvetleridir. Depreme karşı dayanıklı yapı için alınan önlemlerin başında binaların zati yüklerinin azaltılması gelir. Bunun sağlamlasının da en uygun yollarından biri yapı üretiminde hafif beton kullanılmasıdır. Ayrıca hafif betonun kullanılmasıyla binalarda hem ekonomik



hem de enerji açısından önemli tasarruf sağlar. Hafif betonların tercih edilmesinin en önemli sebebi binanın zati yükünün azalması ve bu betonların izolasyon özelliklerinin yüksek olmasıdır. Yapılarda hafif agregalı betonun kullanılmasıyla, yapının birim hacim ağırlığında %20–25 oranında azalma görülür. Yapıda taşıyıcı elemanların taşıdığı yükler azalır, taşıyıcı elemanların boyutları küçülür ve deprem davranışları da daha iyi bir hal alır (Kotan 2009).

Beton zararlı kimyasal maddeler içeren su, toprağa ve daha birçok kimyasal hasar tiplerine karşı yeterli dayanım sağlayabilir. Fakat, bazen kaliteli bir betonun bile ömrünü azaltabilecek kimyasal ortamlar olabilir. Bu tip durumlarda bazı önlemler alınmalı ve hasara sebep olan etkiler azaltılmalıdır. Beton kuru ve katı kimyasal maddelerden daha çok, çözelti halindeki zararlı kimyasal maddelere karşı dayanıksızdır. Ayrıca basınç altındaki betonda hasar daha belirgin gözlemlenir. Çünkü zararlı çözelti beton içerisinde daha kolay ilerler (Yıldız 2012).

Islak hacimle temasta olan yapılarda betonlar kimyasal saldırılardan olumsuz etkilenebilirler. Buna karşı önlem almak için mineral katkı maddelerinden yararlanır. Bu maddelere örnek olarak yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül ve diğer doğal puzolanlar verilebilir. Beton teknolojisi uzmanları, kimyasal ve endüstriyel atık olan puzolanik katkıların özel ihtiyaçlara göre beton yapımında kullanımı konusunda birçok araştırma yapmışlardır (Beycioğlu vd 2010).

Yapılan bu çalışmada, konu ile ilgili literatür ışığında mineral katkı maddeleri ilave edilerek üretilen perlitli hafif betonlara %5 ve %10 silis dumanı, %10 ve %20 uçucu kül katılmış ve mineral katkı maddesi içermeyen kontrol numuneleri üzerinde basınç dayanımı, birim ağırlık, hacimce su emme, kılcal su emme ve ultrases geçiş süresi üzerinde asit etkisi (%5 nitrik asit ve %5 sülfürik asit çözeltilerinde) araştırılmıştır. Bu asitler diğer inorganik asitlere göre daha kuvvetli olmaları sebebi ile tercih edilmiştir. Bu tez kapsamında sadece bu iki asidin ham perlit agregalı beton üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar kıyaslamalı olarak verilmiştir.

## **2. KAYNAK ÖZETLERİ**

### **2.1. Betonun Tanımı**

Agrega (ince ve kaba agrega), çimento ve suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasından oluşan, yapı malzemesi beton olarak adlandırılır. Beton içerisinde kullanılan agregalar mineral maddelerden oluşmuş granüler malzemelerdir. Türk Standartları'nın tanımlanmasına göre, elendiğinde 4,0 mm gözaçıklıklı kare delikli elekten geçebilecek boyutlardaki agregaya ince agrega ve bu elek üzerinde kalan agregaya iri agrega denir (Erdoğan 1995).

### **2.2. Betonun Tarihçesi**

Keşfedilme tarihi kesin olarak bilinmeyen betonun teknolojik olarak keşif tarihinin yaklaşık 1850 yıllara dayandığı 1852 yılında ise ilk betonarme yapının yapıldığı bilinmektedir. Çimentonun patentinin ise yaklaşık 1825 yıllarında alındığı düşünülmektedir. Beton üzerine ilk standart, ABD ve Almanya'da 1904 1906 yıllarında hazırlanmıştır. Ülkemizde ilk betonarme yapı 1920 yılında yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Avrupa'da 1920–1940 yılları arasında beton şartnamelerinde olumlu yönde gelişme görülmüştür. Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların belirlenmesi 1950–1960 yılları arasına rastlamaktadır (Şimşek 2007).

### **2.3. Taze Beton ve Sertleşmiş Betonun Tanımları**

Betonun plastik davranış göstermesi sürecindeki haline (yani, malzemelerin karıştırılmasıyla elde edilen plastik durumun, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle giderek azalıp, katılaşmanın başladığı ana haline) taze beton

denilmektedir. Betonun katılaşma olayından sonraki safha durumu sertleşmiş betonu olarak adlandırılmaktadır (Özgen 2006).

## **2.4. Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörler**

Betonun tüm özellikleri, beton karışımında temel teşkil eden ve oluşturulmasında kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katı maddelerinin özellikleri ve karışım içerisinde yer almış oldukları miktarlar tarafından belirlenmektedir. Sertleşmiş beton, taze betonun katılaşmasından sonraki durum olarak tanımlandığı için, sertleşmiş betondan beklenen performans, önemli ölçüde taze betonun özelliklerine bağlı olmaktadır (Yalçın ve Gürü 2006).

Prizini tamamlamış betonun özelliklerini çok büyük ölçüde etkileyen başka faktörler de mevcut bulunmaktadır. Bunlar taze betonun uygun şekilde taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzgünleştirilmesi ve hidrasyonun sağlıklı şekilde tamamlanması için bakım yapılmasıdır. Prizini tamamlamış betondan beklenen özelliklerin elde edilebilmesi için bu işlemlerin uygun tarzda yerine getirilmiş olmaları gerekmektedir (Yalçın ve Gürü 2006).

Betonların kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişiklikler, diğer bütün özelliklerini özellikle mekanik ve teknik özelliklerini etkiler. Kuru birim hacim ağırlığının yükselmesi halinde betonun mekanik dayanımları artarken, ısıl iletkenlik azalır (Gül ve Demirboğa 1996).

## **2.5. Betonun Bileşenleri**

### **2.5.1. Çimento**

Beton karışımında bağlayıcı özelliğe sahip olan malzeme çimentodur. Çimentonun bağlayıcılık özelliği kazanması için su ile karıştırılması gerekmektedir. Sadece çimento

ve suyun oluşturduğu malzemeye çimento hamuru denmektedir. Çimento hamurunun görevi agregalar arasındaki boşluğu doldurmak ve bağlayıcılık sağlamaktır. Su, çimento ve ince agreganın karışımından oluşan karışıma harç denilmektedir. Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta plastik (yumuşak, şekil verilebilir) bir malzeme halindedir. Fakat çimento ve su esasında hemen başlayan ve devam etmekte olan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özelliği zamanla azalmaktadır. Böylece bir veya birkaç saat içerisinde çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonraları da tamamen sertleşmiş bir duruma gelmektedir (Erdoğan 1995).

Çimento hamuru karışımın ilk anlarından itibaren bir veya birkaç saatlik süre içerisinde plastik yapısını korumaktadır. Betonun istenilen şekildeki bir kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi mümkün olmasının sebebi plastik şekil değiştirme özelliğidir. Çimento hamuru zaman ilerdikçe daha katı ve sert bir özellik kazanmakta, bu sebeple betonda da sertleşme ve dayanım artışı meydana gelmekte, istenilen boyutlarda sert bir malzeme elde edilmektedir (Erdoğan 1995).

### **2.5.1.a. Çimentonun bileşenleri**

Çimentolar,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve az miktardaki  $\text{MgO}$  içeren uygun hammaddelerin, sinterleşme sıcaklığına ( $\sim 1400^\circ\text{C}$ ) kadar ısıtıldıktan ve uygun bir soğutma işleminden sonra elde edilen klinkerlerin alçı ve gereğinde yapay (uçucu kül, cüruf) yada doğal (trans) puzolan maddelerle beraber belirli inceliğe kadar öğütülmesiyle meydana gelen hidrolik bağlayıcıdır. Klinker ve çeşitli minerallerin oluşturduğu alçı katılmamış bir bileşiktir. Yüksek sıcaklıklarda (sinterleşme sıcaklığı) ( $\sim 1400^\circ\text{C}$ ) bu oksitler arasında kimyasal birleşmeler görülür ve çimentonun esasını teşkil eden bileşik maddeler oluşur. Bu bileşik maddeler soğutma esnasında, soğutma işleminin şekil ve süresine bağlı olarak değişik biçimde kristalleşirler. Çimento için hammadde seçimi yapılırken, karışım oranlarının belirlenmesi, pişme olayı ve soğutma süreci de önemlidir. Farin denen madde, farklı sıcaklıkta ve fırın alevinde pişirilir, farklı soğutmaya tabi tutulması sonucu birbirinden değişik iki klinker ortaya çıkar. Beton için

bağlayıcılık sağlayan en önemli madde çimentodur. İstenilen özelliklere sahip olmayan bir betonda ilk akla gelen çimentonun sorunlu olduğudur. Fakat, çimentoda pek kusur görülmez. Kusur bir kontrolden geçse dahi, diğerinde ortaya çıkar. Bu sebeple, istenilen özellikte olmayan betonda, kusurun çimentoda olması hususunda ısrar edilmemelidir. Fakat istenilmeyen özellikteki betonlarda ise kesinlikle çimento kusursuzdur demektedir doğru olmayacaktır. Agregası, kum, su oranları ve katkı maddesi miktarları üzerinde de aynı özen gösterilmelidir (Erdoğan 1995).

**TS EN 197-1** standardına göre CEM çimentoları, 27 alt çeşidi kapsayan 5 ana tiptir.

**CEM I:** Bu grupta klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla %0-5 arası mineral katkı ile öğütülmesi sonucunda Portland çimentosu elde edilir.

**CEM II:** Bu grupta mineral katkı miktarı %6-35 arasındadır. Katkı türüne bağlı olarak bu gruptaki çimentolar Portland çürüflü, Portland puzolanlı gibi isimler de alabilirler.

**CEM III:** Bu grupta yüksek fırın çürüflü çimentolar bulunur. Katkı miktarı %36-95 arasındadır.

**CEM IV:** Bu grupta Puzolanik çimentolar yer alır. Bunlarda çürüf veya kalker katkı maddesi olarak kullanılmaz. Katkı madde oranı puzolan ve uçucu kül katkıları ile birlikte %11-55 arasında değişmektedir.

**CEM V:** Bu grupta kompoze çimentolar bulunur. Bunlara hem çürüf (%18-50) hem de puzolan ve uçucu kül (%18-50) miktarı belirlenen sınırlar içerisinde değiştirilerek birlikte katılır, klinker oranı %20-64 arasında kalacak şekilde ayarlanır.

Ayrıca çimentolar için 3 standart dayanım sınıfı belirlenmiştir. 32,5, 42,5 ve 52,5. Bu değerler TS EN 196-1'e göre tayin edilen ve MPa olarak ifade edilen 28 günlük basınç dayanımları ile ilişkilidir. TS EN 197-1'de karakteristik değerler olarak belirtilmişlerdir.

Ayrıca, her standart dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu amaçla kullanılan sembollerden, N: Normal erken dayanım sınıfını, R: Yüksek erken dayanım sınıfını belirtmektedir (Yeğınobalı 2003).

### 2.5.2. Agregalar

Agregalar, taneli malzemeler olup beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %70-80'i agregalar tarafından teşkil edilmektedir. Beton yapımında maliyeti artıran temel malzeme çimentodur. Agregaların maliyeti çimentonun maliyetine nazaran çok düşüktür. Bu nedenle, karışımda agregalar miktarını artırmak daha ucuz bir beton üretmek anlamına gelmektedir. Agregalar, betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır (Yalçın ve Gürü 2006).

Agregaların sağladığı teknik yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

1) Çimento hamuru, zamanla, kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Betonun içerisinde bulunan agregalar taneleri, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterilebileceği hacim değişikliğinin serbestçe değişebilmesini belirli bir ölçüde engellemektedir. Bu nedenle, sadece çimento hamurundan üretilmiş olan bir malzemeye oranla, betonun göstereceği hacim değişikliği ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlaklar daha azdır.

2) Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle, sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemedir. Agregalar dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkı sağlamaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olmasına yardımcı olmaktadır.

3) Beton yapımında kullanılacak agregaların değişik özellikleri araştırılmaktadır. Araştırılan özellikler şu şekilde sıralanabilir, Gradasyon maksimum tane büyüklüğü, tane

şekli, yüzey dokusu, su emme kapasitesi, birim ağırlık, özgül ağırlık, agregadaki zararlı yabancı maddelerin türü ve miktarı, aşınmaya dayanıklılık, donmaya dayanıklılık, dayanım, elastiklik modülü, ve ısısal özellikleri.

4) Yukarıdaki özelliklerin tümü, üretilecek betonun özelliklerine etki etmektedir. Bunlardan bazıları, beton karışımının içerisinde yer alacak malzeme oranlarının hesaplanabilmesi (beton karışım hesapları) için kullanılmaktadır.

5) Beton malzemelerin karışım oranlarının bulunabilmesi için yapılan hesaplarda bilinmesi gereken agrega özellikleri şunlardır:

- Gradasyon maksimum agrega tane boyutu
- Agreganın mevcut su durumu ve agreganın su emme kapasitesi
- Birim ağırlık
- Özgül ağırlık

Agrega özellikleri, betonun özelliğini etkilediği gibi, beton karışımında yer alacak malzemenin miktarlarında betonun ekonomikliğini etkilemektedir.

Beton ekonomikliğini etkileyen bir başka faktör ise, agreganın ne kadar uzak mesafeden temin edilebileceği, maliyeti, bulunabilirliğindeki kolaylıktır. Beton üretiminde, agreganın kolaylıkla elde edilebilmesi hususu da büyük önem arz etmektedir.

Çok çeşitli maddelerden oluşabilen agregalar, su geçirgenlikleri, biçimleri, yüzey dokuları, malzemelerinin saflığı, homojenlikleri, yüksek ısıya karşı fiziksel ve kimyasal dayanıklılıkları, genişleme durumları, petrografik özellikleri, çimento ve birleşeceği diğer malzemelerle oluşturacağı kimyasal tepkileri, hava koşullarına ve donmaya dayanıklılıkları, oksidasyona dayanıklılıkları, dayanımları (mukavemetleri) gibi açılardan belirli özellikler göstermektedir.

Yukarıda belirtilen çeşitli özellikler açısından da, agregalar değişik kıstaslara göre sınıflanabilmektedirler:

• Agregaların şekillerine göre sınıflandırılması:

- a. Yuvarlak
- b. Köşeli
- c. Uzun
- d. Yassı

• Agregaların yüzey dokularına göre sınıflandırılması:

- a. Camsı (cam görünümünde)
- b. Düz
- c. Kaba dokulu
- d. Kristalize
- e. Gözenekli (petek şeklinde)

• Agregaların oluşumlarına göre sınıflandırılması:

- a. Doğal agregalar
- b. Yapay agregalar

• Agregaların ağırlıklarına göre sınıflanması:

- a. Ağır agregalar (özellikle radyasyon kalkanı yapımında kullanılan betonlar için, çelik bilya, demir talaşı, borit, vb.)
- b. Orta ağırlıktaki agregalar (Kum, çakıl, mıcır, tuğla kırığı, mozaik kırığı, vb.)
- c. Hafif agregalar (Volkanik orijinli, pomza, perlit vb., endüstri artığı cüruflar, organik orijinli talaş, kapak, vb.) (Yalçın ve Gürü 2006).



### 2.5.3. Betonda karışım suyu

Beton üretiminde temiz içilebilir her türlü su kullanılmaktadır. Beton karışım suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değişik tuz vb. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermesi karışım açısından sakıncalıdır (Yaşarer 2008).

Beton karışımının içerisindeki çimentonun hidrasyonunu sağlayabilecek ve taze betonun işlenebilmesini kolaylaştıracak miktarda su kullanılmalıdır. Hidrasyon için yaklaşık çimento ağırlığının %25'i kadar su yeterlidir. Fakat betonda kullanılan karışım suyu miktarı daha fazladır, sebebi ise işlenebilirlik sağlanmamasıdır. Gerekenden az su kullanılması durumunda, yeterli hidrasyon ve işlenebilme elde edilememektedir. Yeterli hidrasyon ve işlenebilirlik için gerekli olan suyun üzerine çıkması durumunda, sertleşmiş betonun dayanıklılığı ve dayanımı azalmaktadır (Özkul vd 2004).

Karışım suyunun betonda temel olarak iki görevi vardır. Bunlardan biri reaksiyonu başlatıp bağlayıcılık kazandırmak diğeri ise işlenebilirliği sağlamaktır. Birçok kaynakta, içilebilir kalitedeki tüm suların beton karışım suyu olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Fakat bazı yerlerde karışım suyu olarak deniz suyu kullanıldığı tespit edilmiştir. Özellikle 1999 Marmara Depreminde bu konu oldukça sık bir şekilde gündeme getirilmiştir. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları ile ilgili yönetmelik olan TS 500'de bazı durumlarda deniz suyunun kullanılabileceği dolaylı da olsa belirtilmiştir (Aykaç ve Bakırcı 2009).

TS EN 1008'de ise deniz suyu ve acı göl sularının içerisinde donatı veya gömülü metal bulunmayan betonlarda kullanılabileceği, içerisinde donatı veya metal bulunan betonlarda ise deniz suyu kullanımının toplam klorür muhtevasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Aynı yönetmelikte içerisinde donatı veya metal bulunan betonlarda 1000 mg/l, bulunmayan betonlarda ise 4500 mg/l'ye kadar klorür muhtevasına izin verilebileceği bildirilmiştir. Ayrıca kıydan uzak çeşitli deniz yapılarında da, zaman zaman deniz suyunun karışım suyu olarak kullanıldığı bilinmektedir (Aykaç ve Bakırcı 2009).

#### 2.5.4. Beton katkı maddeleri

ASTM C 125, katkı maddesini betonun geleneksel bileşenleri olan su, çimento ve agrega dışında hemen karıştırma öncesi veya karıştırma sırasında beton harmanına ilave edilen maddeler olarak tanımlamaktadır. Bu maddeler organik ya da inorganik esaslı olup beton bileşimine ağırlıkça toplam bağlayıcının %5'ini aşmayacak oranlarda katılan maddelerdir. Genellikle sıvı halde olan bu maddeler literatürde “kimyasal katkı maddeleri” olarak bilinirler. ASTM C 219’da ise “mineral katkı maddeleri” tanımlanmaktadır. Bu maddeler çok ince öğütülmek suretiyle bazen çimento ile sınırlı oranda karıştırılarak, bazen de üretim sırasında betona belli oranlarda ilave edilerek kullanılan çimentoya benzer. Yani bağlayıcı özelliği olan maddelerdir. Katkı maddelerinin betonda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş haldeki betonun bir ya da birden fazla özelliğini iyileştirme amacına yöneliktir (Erdoğan ve Kurbetçi 2003).

Katkı maddeleri, betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim esnasında veya dökümden önce transmiksere ilave edilen ve beton içinde hacimce en az yeri tutan malzemedir. Ayrıca, betonun niteliğini etkileyen, iklim koşullarına uygun beton üretimine olanak sağlayan, betonun ömrünü ve taşıma mesafesini uzatan malzemelerdir.

**Katkı maddeleri:** kimyasal katkı maddeleri ve mineral katkıları olmak üzere iki grupta toplanmaktadır.

**Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar):** Taze betonda kullanılan su miktarını azaltıcı etki yapar.

**Priz Geciktiriciler:** Taze betonun uzun mesafeye taşınması ve sıcak havada dökümünü kolaylaştırır.

**Priz Hızlandırıcılar:** Beton katılma süresini kısaltan erken kalıp alma ve soğuk hava dökümlerinde kullanılır.

**Antifirizler:** Suyun donmasını zorlaştıran ve don nedeniyle beton mukavemetinin olumsuz etkilenmesini önlemek üzere kullanılan kimyasal katkı maddeleridir.

Ayrıca hava sürükleyici katkıları, su geçirimsizlik katkıları da hazır beton üretiminde kullanılabilir.

**Mineral Katkılar:** Çimento tasarrufu sağlayan ve yüksek dayanımlı beton üretiminde yararlanılan katkılarıdır. Çimento gibi öğütülmüş ve toz halde bulunan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu vb. mineraller bu grupta yer alan başlıca katkı maddeleridir (Kafalı 2004).

#### **2.5.4.a. Uçucu kül**

Uçucu küller (UK) betonda mineral katkı olarak kullanılan çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde sönmüş kireçle santrallerden elde edilen, yapay bir puzolandır. Genellikle endüstride kullanılmayan düşük kalorili kömürlerin çok ince öğütülerek termik santral fırınında yakılması sırasında yukarıya yükselen UK'ler, bacanın üst kısmında elektrofiltreler veya siklon adı verilen toz tutucularda, elektrostatik veya mekanik yöntemlerle tutularak depolanırlar. Küllerin parçacıkları küresel olup çapları 1-300 µm mertebesindedir (Topçu ve Canbaz 2001). Betonda kısmen çimento yerine kullanıldığı zaman uçucu külün, çimentonun ancak yarısı kadar hidrasyon ısıyı yaydığı tespit edilmiştir. Fransa'da yapılan araştırmalara göre, klinker ile beraber öğütülmüş külün hidrasyon ısısında değişiklik yapmadığı tespit edilmiştir (Gül ve Yıldız 1997).

TS EN 197-1'e göre yapılan sınıflandırmada uçucu küller silisi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup, esas kısmını reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oluşturmakta ve geri kalanı ise demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir. W

sınıfı küller ise, hidrolik veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas kısmını reaktif kireç (CaO), reaktif SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşturmakta ve geri kalanı ise demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazlalığı gerekmektedir (Görhan vd 2009).

**Çizelge 2.1.** Uçucu külün bileşenleri (Göktepe 2008).

Oksit	Silikoaluminöz UK	Sülfokalsik UK	Silikokalsik UK
SiO <sub>2</sub>	50,0	18,2	38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,0	12,0	22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,0	7,0	4
CaO	2,6	67	24
MgO	1,8	1,8	5
SO <sub>3</sub>	0,5	6,0	1
K <sub>2</sub> O	5,0	6,0	2
Na <sub>2</sub> O	0,8	8,2	1
Diğer	3	1,2	3

**Çizelge 2.2.** Türkiye'deki bazı uçucu küllerinin fiziksel özellikleri (Göktepe 2008).

Uçucu Kül	Özgül Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	90μ Elek Bakiyesi %	45μ Elek Bakiyesi %
Orhaneli	2180	2,6	7
Yatağan	2120	24,7	50,1
Kemerköy	2830	26,4	47,8
Seyitömer	2130	3,2	47
Çatalağzı	2000	21,4	38,7
Çayırhan	2360	6,7	24,5

#### 2.5.4.b. Silis dumanı

Gri renkli bir toz olan silis dumanı (SD) yüksek saflıkta kuvarsitin silisyum veya ferrosilisyum alaşımının elektrik ark fırınlarında kok kömürü ile indirgenmesi sonucu elde edilir. SiO gazı fırının düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde hava ile temas ederek hızlı oksitlenir ve amorf silis olarak yoğunlaşarak SD bileşiminin hemen tamamını oluşturur. Silisyum fırınlarından çıkan SD en az %89 SiO içerir. Alaşım fırınlarından elde edilen tozlar da SD olarak nitelenmekle beraber kimyasal bileşimleri biraz farklı olup silis oranları düşüktür. Çoğunlukla küresel olan SD taneleri 0.1 µ civarında ölçülen ortalama çapları ile çimento tanelerinden yaklaşık 100 kez daha küçüktürler. Bileşimindeki yüksek silis oranı SD'ni aktif bir puzolan yapmakta, fakat çok fazla olan incelik belirli bir kıvam için gerekli su miktarını arttırmaktadır (Topçu ve Kaval 2001).

Silis dumanı, agrega ve çimento hamuru ara yüzeyini geliştirip ve erken puzolanik reaksiyonlar nedeni ile betonun dayanımına ve geçirimsizliğine yarar sağlar. Silis dumanı genelde betonun su gereksinimi ihtiyacını artırır. Süper akışkanlaştırıcı katkılarla silis dumanının birlikte kullanılması betonun S/Ç oranını azaltıp, iyi bir iç yapı oluşturmasına olanak sağlar (Demirboğa 1999).

Su ihtiyacı silis dumanlı betonların üretiminde daha fazla olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gereklidir. Silis dumanı katkılı beton numunelerinin basınç dayanımı gelişimi, Portland çimentosu ile üretilen betonlardan genelde farklılık göstermektedir. Silisli betonların bu karakteristik özelliği, ilk günlerde bariz bir şekilde puzolanik reaksiyonları dışında uçucu küllere biraz benzemektedir. Silis dumanı, beton dayanımını çoğaltıp, sülfata karşı dayanıklılığı artırır hem de betonun terlemesini, hidrasyon ıslısını ve geçirimliliğini aşırı miktarda düşürür (Demirboğa 1999).

### 2.5.4.c. Silis dumanının fiziksel özellikleri

Renk : Silis dumanının rengi açık griden koyu griye değişen renkte olabilir, bünyesinde muhteva ettiği karbon miktarı arttıkça rengi koyulaşmaktadır. Su ile karıştırıldığında ise rengi koyulaşmakta hatta siyaha dönüşmektedir (Beyocioğlu vd 2010).

İncelik: Silis dumanı parçalarının büyük çoğunluğunun boyu 0,1-0,2  $\mu\text{m}$  arasındadır. Başka bir ifade ile bir Portland çimentosunun taneciklerinin ortalama boyutundan 100 kat daha küçüktür. Genelde 45  $\mu\text{m}$  eleğinin üzerinde kalan malzeme boyut üstü (kalın) olarak kabul edilmektedir (Beyocioğlu vd 2010).

Özgül Ağırlık : Beton için uygun olan silis dumanlarının özgül ağırlıkları 2200-2300  $\text{kg/m}^3$  arasındadır. Portland çimentosunun özgül ağırlığı ise yaklaşık 3  $\text{kg/m}^3$  civarındadır (Beyocioğlu vd 2010).

Gevşek Halde Birim Ağırlık : Silis dumanının üretildiği gevşek haldeki birim ağırlığı genelde 200-300  $\text{kg/m}^3$  arasındadır. Gevşek haldeki Portland çimentosunun birim ağırlığı ise 1500  $\text{kg/m}^3$ 'tür (Beyocioğlu vd 2010).

**Çizelge 2.3.** Silis dumanının kimyasal özellikleri (Beyocioğlu vd 2010).

Bileşen	USA	Norveç	Kanada	Türkiye
SiO <sub>2</sub>	90-93	90-96	89,0-95,0	93-95
C	1,3-2,6	0,5-1,4	2,1-4,2	0,8-1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4-0,7	0,2-0,8	0,1-3,1	0,4-1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-1,6	0,5-3	0,1-0,7	0,4-1,4
CaO	0,5-0,8	0,1-0,5	0,1-1,0	0,6-1
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-0,3	0,2-0,7	0,1-0,2	0,1-0,4
K <sub>2</sub> O	1-1,2	0,4-1	0,5-1,4	0,5-1
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

## 2.6. Betonun Kimyasal Nedenlerle Bozulması

Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal reaksiyonlar kendini, betonun gözenekliliğinin ve geçirimsizliğinin artması, çatlamların ulaşması , dökülmeler, kapak atmalar ve betonun yumuşaması ve rijitliğini kaybetmesi şeklinde gösterir.

Kimyasal reaksiyonların gelişimi, büyük ölçüde zararlı maddelerin beton bünyesine taşınım hızına, dolayısıyla betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Sıcaklık reaksiyon hızını arttıran bir etkidir tüm kimyasal reaksiyonlarda bu durum söz konusudur. Bunun nedeni sıcaklığın iyon veya moleküllerin hareketliliğini arttırmasıdır. Kimyasal reaksiyonlar değişik tiplerde oluşabilir ve çoğunlukla fiziksel ve biyolojik etkenlerle bir arada ve peş peşe gelişip betonun bozulmasına neden olurlar. En çok karşılaşılan kimyasal saldırılar, sülfat, asit ve alkali saldırılarıdır (Mehta and Monteiro1997).

### 2.6.1. Sertleşmiş çimento bileşenlerinin hidrolizi ve yıkanması

Hidrate çimentonun katı fazını göreceli olarak çözünmeyen kalsiyum hidratlar CSH,  $\text{Ca(OH)}_2$  ve CAH oluşturmaktadır. Bu bileşenler pH'ı oldukça yüksek olan gözenek suyu içinde kararlı durumdadır. Gözenek suyu içindeki  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ve  $(\text{OH})^-$  iyonları betonun pH değerini 12,5-13,5 aralığında tutmaktadır. Beton, asidik ortamlarla karşılaştığında kimyasal kararlılığını kaybeder. Teorik olarak, pH'ı düşük sular çimento hidrate bileşenlerinin çözülmesine neden olur. Bu nedenle, birçok endüstriyel atık ve doğal su beton açısından zararlıdır. Ancak, kimyasal saldırının şiddeti sıvının pH değeri ve betonun geçirimsizliğinin fonksiyonudur. Sıvının pH değerinin 6,5'in üzerinde olması ve betonun geçirimsizliğinin çok az olması halinde kimyasal saldırı çok yavaş gelişir ve sonucu ihmal edilebilir mertebelerde kalabilir. Özellikle sülfat ve klor iyonları içeren yeraltı suları, deniz suyu, serbest  $\text{CO}_2$  veya  $\text{H}^+$  iyonu içeren sular, endüstriyel atıkların, kanalizasyonların karıştığı sular zararlı reaksiyonlara neden olabilir. pH 5,5 ve altındaysa saldırı şiddetli, 4,5 ve altındaysa çok şiddetli gerçekleşir. Ancak belirtildiği gibi sıvının beton içinde taşınım hızı da önemli bir faktördür (Yeğinobalı 1999).

Doğada rastlanan yeraltı, nehir ve göl suları sertliklerine bağlı olarak bir miktar kalsiyum ve magnezyum iyonları içerirler ve genellikle çimento hamuru bileşenlerinde hidrolize yol açmazlar. Diğer taraftan, sertlik derecesi çok düşük olan erimiş kar suyu, yağmur suyu gibi saf sular çimento hamuru içindeki kalsiyumlu bileşenlerin çözünmesine yol açarlar. Kalsiyum hidroksit, saf su ile en fazla hidrolize uğrayan bileşendir. Çimento hamuru ile temas halinde olan su kirece doyduğunda hidroliz son bulur. Suyun sürekli akması veya yenilenmesi durumunda ise kalsiyum hidroksit tamamen çözünüp, yıkanarak hamur dışına atılabilir ve bu kez çözünme bağlayıcı özellikteki CSH jellerinde başlar. Kireç içeriğinin azalması sonucu betonda dayanım kaybı ve geçirimsilikte artış ortaya çıkar. Ayrıca, betondan çıkan kalsiyum hidroksit havadaki CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girip CaCO<sub>3</sub> oluşturarak beton yüzeyinde beyaz kabuk veya toz şeklinde çiçeklenme adı verilen, olumsuz bir görünüş meydana getirir (Yeğınobalı 1999).

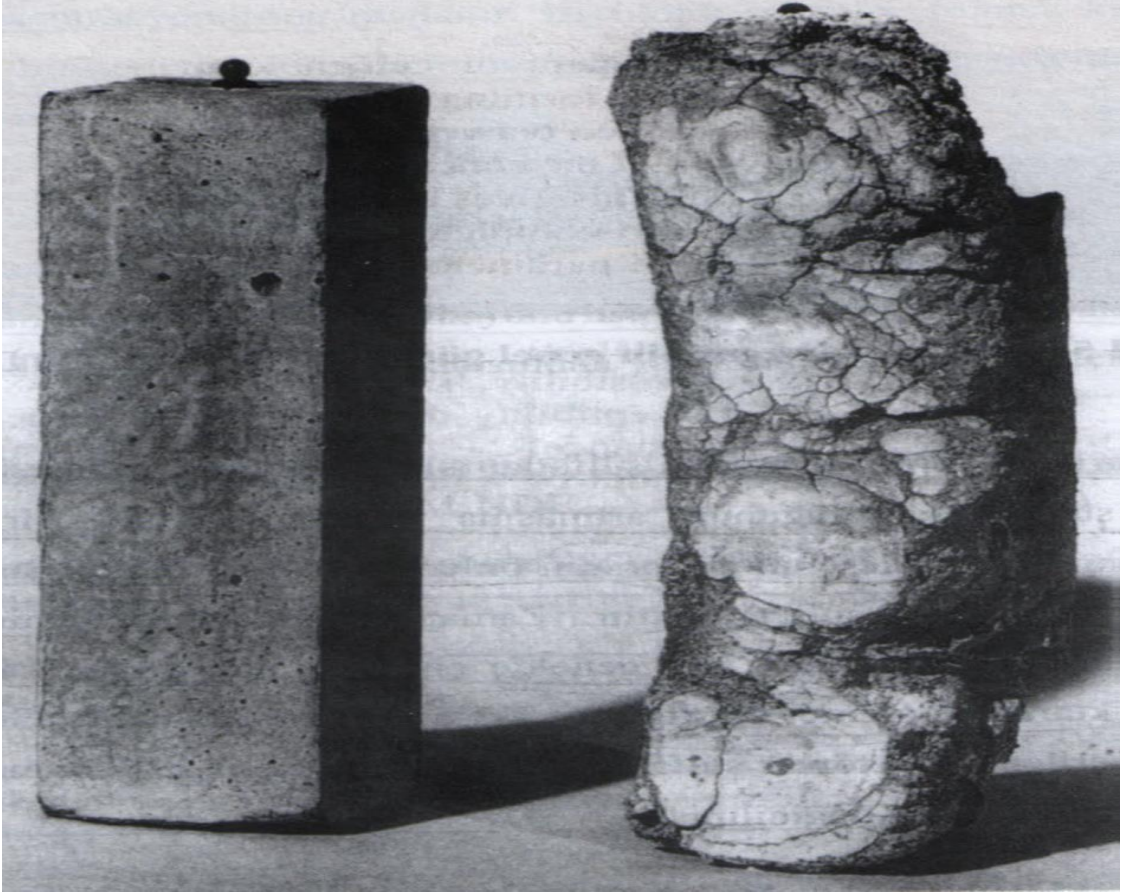
Betonun bozulmasına yol açan kimyasal reaksiyonları üç ana grupta toplamak mümkündür:

- **Birinci grup reaksiyonlar:** Düşük sertlikteki suların çimento hidrate bileşenlerini çözmesi ve yıkayarak beton bünyesinden uzaklaştırması şeklinde gelişir.
- **İkinci grup reaksiyonlar:** Agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesidir. Reaksiyon ürünleri ya yıkanarak uzaklaşır ya da suda çözünmeyen yeni bir yapı oluşturur. Asitlerin ve Mg<sup>2+</sup> iyonu içeren suların oluşturdukları hasarlar, bu tür reaksiyonlara örnektir.
- **Üçüncü grup reaksiyonlar:** Genleşen ürünler oluşturarak betonda hasara yol açarlar. Sülfat etkisi, MgO ve CaO gibi çimento bileşenlerinin gecikmiş hidratasyonları, alkali silika reaksiyonu (ASR), beton içine gömülü çelik donatının korozyonu bu tür bozulmaların en tipik emsalleridir (Baradan vd 2010).



### 2.6.2. Sülfat saldırısı

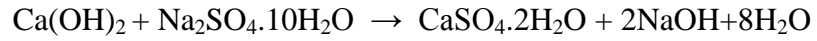
Betonun zamanla bozulmasına neden olan sebeplerden biri de, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona giren sülfat etkisidir. Sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda hacimsel olarak genişleme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya yol açar, agrega çimento aderansının etkilenmesiyle betonun dayanımı düşer. Sülfat etkisi altında kalmış bir betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Şekil 2.1’de sülfat saldırısına maruz kalmış bir beton görülmektedir (Baradan vd 2010).



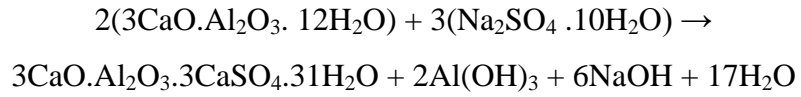
**Şekil 2.1.** Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton elemanı (Baradan vd 2010).

### 2.6.2.a. Sülfatların betonda oluşturdukları zararlı reaksiyonlar

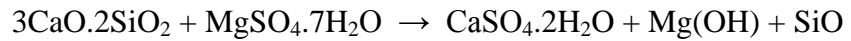
$\text{Ca(OH)}_2$  ve  $\text{C}_3\text{A}$  başta olmak üzere diğer hidrate bileşenlerinin sülfat iyon ile tepkimesi sonucu oluşan ürünler alçıtaşı ve kalsiyum sülfat alüminat olarak bilinir. Oluşturdukları reaksiyon sonucu, bu tuzlar yerlerini aldıkları bileşenlerden çok daha fazla hacim kaplamaktadırlar. Meydana gelen bu genişleme, betonda tahribata sebep olmaktadır. Sodyum sülfatın  $\text{Ca(OH)}_2$  ile yaptığı reaksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir:



Bu reaksiyon sonucu katı fazın hacmi %124 artmaktadır. Suyun sürekli yıkaması sonucu  $\text{Ca(OH)}_2$  tamamen bünyeden uzaklaştırılabilir.  $\text{NaOH}$ 'in birikimi sonucu reaksiyon dengeye varınca, yalnızca  $\text{SO}_3$ 'ün bir kısmı alçı taşına dönüşür. Hidrate  $\text{C}_3\text{A}$ 'nın sodyum sülfatla yaptığı reaksiyon ise aşağıdaki gibidir:



Kalsiyum sülfat ise yalnızca  $\text{C}_3\text{A}$  ile reaksiyona girer ve kalsiyum sülfat alüminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ) oluşturur. Bu reaksiyonlar sonucu katı fazın hacmi %227 artmaktadır. Deniz suyunda da bulunabilen magnezyum sülfat,  $\text{Ca(OH)}_2$  ve  $\text{C}_3\text{A}$ 'nın yanı sıra kalsiyum silikat hidratelere de saldırır. Reaksiyon aşağıdaki gibidir:



Magnezyum hidroksitin çözünürlüğü çok düşük olduğundan bu reaksiyon tamamlanmaya kadar sürer. Böylece çimento hamurunun taşıyıcı iskeleti olan CSH yapısı bozulur. Sülfat etkisi çözeltinin sülfat yoğunluğuna bağlı olarak artar. Ancak %0,5  $\text{MgSO}_4$  ve %1  $\text{MgSO}_4$  yoğunluklarının üzerindeki değerlerde sülfat etkisi artım hızının yavaşladığı gözlenmiştir. Doygun  $\text{MgSO}_4$  çözeltisinde düşük su/çimento

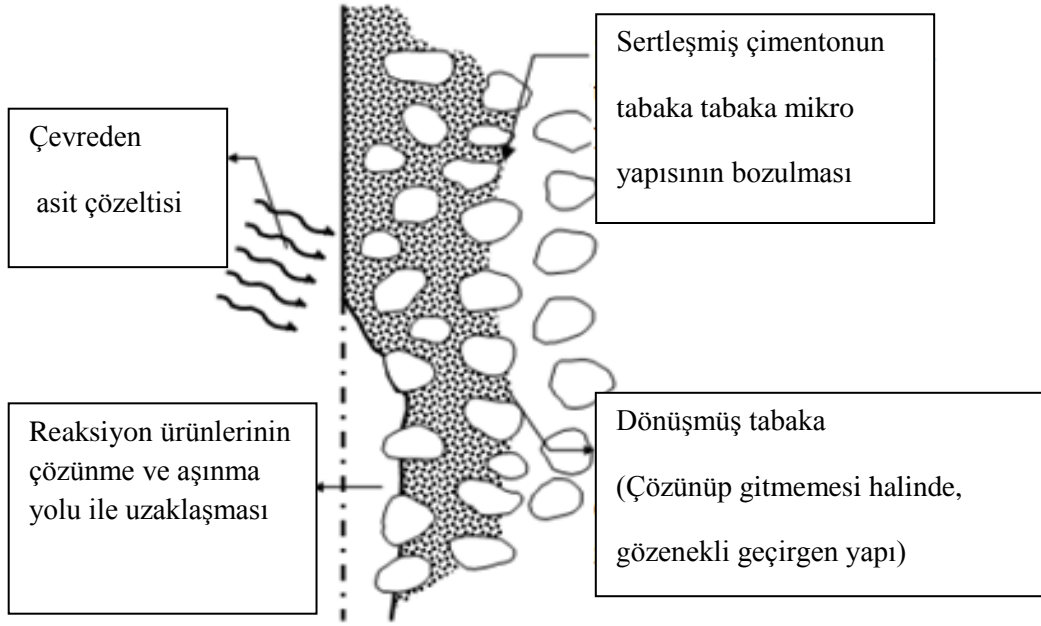
oranlarında dahi betonda 2-3 yıl içinde ciddi yıpranma görülür.  $C_4AF$  ve sülfatlar arasındaki reaksiyondan da etrenjit oluşur. Ancak oluşan etrenjitin amorf yapıda olması nedeniyle betonda genleşme hasarı oluşturması beklenmez (Baradan vd 2010).

### 2.6.3. Asit saldırısı

Kalsiyum tuzları, iyon değişimi ile çimento hamuru bileşenlerinde çözünebilen veya çözünemeyen maddelerdir. Çimento hamuru ile magnezyum tuzlarının bir araya gelmesi halinde jel yapı bağlayıcılık özelliğini yitirir ve CSH jelindeki kalsiyumun yerini magnezyum alır. Kalsiyum bileşenleri ( $Ca(OH)_2$ , CSH ve CAH), saldırıda bulunan asidin kalsiyum tuzlarına dönüştürmesi hususu, söz konusu asitlerin sertleşmiş beton üzerindeki etkisi ile olur. Belirli zaman sürecinde çimento harcının çözünmesinin sebebi kalsiyum tuzlarının suda yavaş veya hızlı çözünmesidir. Elde edilen araştırmalar sonucunda ortaya çıkan tuzun, çözünürlüğüne bağlı olarak reaksiyon hızı değişir (Baradan vd 2010).

Bazı karakterde olan Portland çimentosunun hiçbirinin asite dayanıklı olmadığı göz önüne alındığında, asit saldırısının önemi bir kez daha ortaya çıkacaktır. Asit etkisiyle farklı yerlerde karşılaşılabılır. Örnek olarak, nemli ortamlarda, özellikle endüstriyel bölgelerde, atmosferde bulunan  $SO_2$  ve  $CO_2$  gazları aside dönüşerek beton elemanları etkileyebilir (Baradan vd 2010).

Asit etkisine; bacalarda, buhar trenlerinin geçtiği tünellerde, asit buharlarının olduğu döküm yapılan tesislerde, bataklık sularında, buz etkisindeki dağlık bölgelerde, kanalizasyon sularında, açık madenlerden sızan sularda ve arıtma tesisleri gibi yerlerde rastlanır. Asit reaksiyonlarının hızı ve şiddeti; asit tipine, etkilenme süresine ve asit yoğunluğuna göre değişir. Ancak en önemli etken, oluşan kalsiyum tuzunun çözünürlüğüdür. Çözünürlük arttıkça, su ile taşınan maddenin zararı artmaktadır. Reaksiyonların gelişimine bağlı olarak sertleşmiş betonun yüzeyinde başlamak suretiyle bünyesinde yumuşama ve gözenekler oluşur (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2.** Asit saldırısının betonda yaptığı etkiler (Baradan vd 2010).

Asitlerin, değişik sertleşmiş beton üzerinde yaptığı etkilerden bazıları ACI 201’de belirtilmiştir. Ancak, değişik asitlerin betona etkisinin farklı kaynaklarda farklı şekillerde değerlendirilebildiği görülmektedir. Aşağıdaki tabloda asitler ve etkisine dair veriler gösterilmiştir.

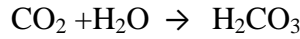
**Çizelge 2.4.** Farklı asitlerin betonda yaptığı etkiler (Baradan vd 2010).

Saldırı Hızı	Asit Tipi	
	İnorganik	Organik
Hızlı	Hidrotlorik, Hidroklorik, Nitrik, Sülfürik	Asetik, Formik, Laktik
Orta	Fosforik	Tannik
Yavaş	Karbonik	-----
İhmal edilebilir	-----	Oksalik, Tartarik

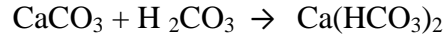
### 2.6.3.a. Asitlerin betonda oluşturdukları zararlı reaksiyonlar

Değişik asit saldırılarının tipik örnekleri aşağıda özetlenmiştir:

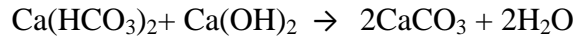
Doğada çokça bulunan CO<sub>2</sub> gazı, suda kolaylıkla çözünen karbonik asit oluşturur.



Suyun içinde CaO, yine su içinde bulunan CO<sub>2</sub> ile birleşerek CaCO<sub>3</sub>'ü oluşturur. CaCO<sub>3</sub> ise karbonik asitle reaksiyona girip, kalsiyumbikarbonatı oluşturur.

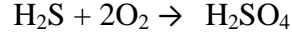


Kalsiyum bikarbonat çimentodaki Ca(OH) ile birleşerek yeniden CaCO<sub>3</sub> 'ü oluşturur.



Suda CO<sub>2</sub> miktarı az ise, bu reaksiyonlar sonucu CO<sub>2</sub> kalmaz ve reaksiyon son bulur. Hatta CaCO<sub>3</sub> tabakası betonun boşluklarını doldurarak dış etkilere karşı dayanıklılığını arttırır. Ancak, sudaki serbest CO<sub>2</sub> içeriğinin, reaksiyonun dengesini sağlayan karbondioksit miktarını aşması halinde, çözünebilir kalsiyum bikarbonat oluşumu süreklilik kazanır. Beton, bu nedenle, fazla miktarda CO<sub>2</sub> içeren bataklık veya maden sularından zarar görür. Dengeyi sağlayan CO<sub>2</sub> içeriği ise suyun sertliğine bağlıdır. Normal bir yeraltı suyu 15-40 mg/l CO<sub>2</sub> içerir. Ancak 150 mg/l ulaşan CO<sub>2</sub> içeriklerine de rastlanmaktadır. Deniz suyu genellikle 35-60 mg/l CO<sub>2</sub> içerir. Suyun pH değerinin 8 ve üzerinde olması halinde CO<sub>2</sub> içeriği genellikle ihmal edilebilir mertebelere değerir. pH değerinin 7'nin altına düşmesi halinde CO<sub>2</sub> içeriğinin zararlı boyutlara ulaşması muhtemeldir (Baradan vd 2010).

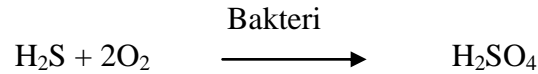
H<sub>2</sub>S'nin gaz halinde nemli beton yüzeyinde su filmi içinde çözünüp, havanın oksijeni ile birleşerek sülfürik aside dönüşmesi ile hasar oluşabilir.



SO<sub>2</sub>, çoğunlukla yanma sonucu oluşan gazlarda bulunur. Betonun gözeneklerine sızarak veya nemli beton yüzeyinde su filmi içinde çözünerek sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve sülfütlere oluşturur. Oksijenin yeterli olduğu ortamlarda ise oksijenle birleşerek sülfatları ve sülfürik asitleri oluşturarak zararlı etki yapar (Baradan vd 2010).

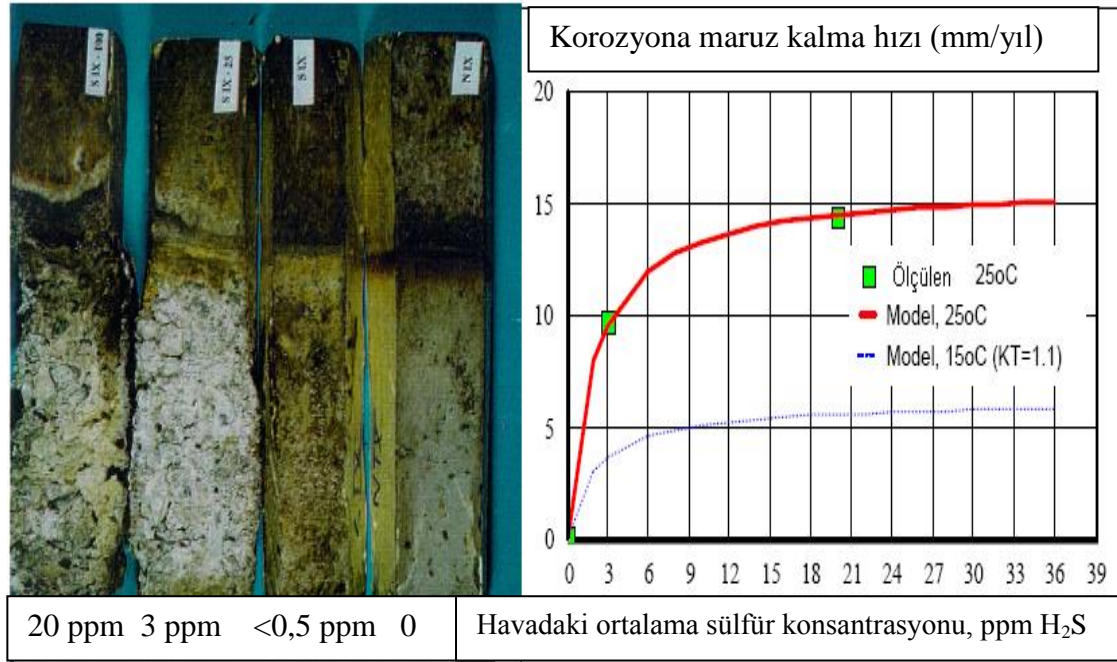
### 2.6.3.b. Kanalizasyon sistemine hidrojen sülfürün olumsuz etkileri

Taze betonun içeriği, malzeme cinsine bağlı olarak pH-11 ile pH-12 arasında değişir. pH'nın yüksek olması betonda kullanılan kireçten kaynaklanır. pH'ın bu kadar yüksek olması kanalizasyon yüzeyinde bakterilerin üremesini engeller. Atık sudan salınan hidrojen sülfür ve karbon dioksitten dolayı beton yüzeyindeki pH değeri zamanla düşer. Nemli yüzeyde çözünün bu gazların asidik olduğu bilinir. Açık havadan kanala sızan havadaki oksijen ve hidrojen sülfür kanal üzerindeki nemli yüzeyde çözünür. Nemli ortamda bakteriler vasıtası ile oksijen ve hidrojen sülfür reaksiyona girerek çok derişik asit olan sülfürik asiti oluşturur.



Başta kalsiyum hidroksit olmak üzere çeşitli maddelerle, Sülfürik asit boru yüzeyindeki malzemeler ile reaksiyona girerek pH'ın (9-9,5) seviyelerine inmesine ve yüzeyde bakteri oluşmasına sebep olur. pH'ın düşmesi bakteri oluşmasına neden olur. Karbon dioksit ve hidrojen sülfür oluşumu arttıkça atık suyun pH'sı düşer. Sülfürik asid beton içinde bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girererek, sülfürik asidin nötrale olmasına sebep olur ve beton malzemelerini tahrip eder. Kanalizasyon yüzeyinde kalsiyum sülfat alüminyum hidrat (3CaO Al<sub>2</sub>O 3CaSO<sub>4</sub> 32H<sub>2</sub>O) ve kalsiyum sülfat

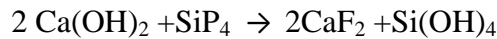
(CaSO<sub>4</sub>-2H<sub>2</sub>O) oluşur ve oluşan kalsiyum sülfat yüzeyden ayrılır. Kanalizasyon beton yüzeyindeki aşınma, yüksek hidrojen sülfür etkisinden dolayı yıllık olarak 6-20 mm arasındadır ve bu bu aşınmalardan dolayı zamanla kanalizasyon sistemi üzerinde delikler oluşur. Aşınan kısımlarda yeraltına atık su sızıntısı gerçekleşir. Yeraltı ve yüzeysel sular, kanalizasyon sisteminin tahrip olduğu kısımlarda tehdit oluşturur. Şekil 2.3'de kanalizasyon sistemi üzerine hidrojen sülfür konsantrasyonunun etkisi gösterilmiştir. Yüksek hidrojen sülfür konsantrasyonlarında hidrojen sülfür, kanalizasyon sisteminin üst bölgesinde ciddi aşınmalara sebep olur. Kanalizasyon sisteminin üst kısmındaki aşınma hidrojen sülfür konsantrasyonunun azalması ile minimum değerlere inmektedir (Öztürk 2006).



Şekil 2.3. Kanalizasyon sisteminde oluşan hidrojen sülfürün korozyonu (Öztürk 2006).

### 2.6.3.c. Asit etkisine karşı alınacak önlemler

Asitlere karşı etkin bir koruma yöntemi de yapı elemanına, vakum ortamında silisyum tetraflorid gazı emdirmektir. Bu gaz kireçte aşağıdaki şekilde reaksiyona girer.



Ancak bu işlem özel prefabrike beton elemanlara uygulanabilir ve ürüne "Ocrat betonu" adı verilir. Alüminli çimentonun bağlayıcı, özel vitrifiye parçacıklarının agrega olarak kullanıldığı özel harç ve sıvalarla asitlere karşı dayanıklı ve geçirimsiz bir örtü tabakası oluşturabilir (Baradan vd 2010).

## 2.7. Hafif Betonlar

Yapı alanında tartışılmaz etkisi olan betonun, iyi bir taşıyıcı olmasına nazaran, birim ağırlığı büyük, dolayısıyla ısı iletkenlik katsayısı yüksektir. Normal betonun birim ağırlığı üzerinde oynamalar yapılarak (düşürülmesiyle) betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılarak yapı hafifletilebilir. Böylece, taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülerek ekonomik bir yapı elde edilmiş olur. Bir başka açıdan, betonda birim ağırlığın azaltılmasıyla ısı iletkenlik ve ısıl genleşme katsayıları küçülür, yangına dayanıklılık artar. Bunun yanı sıra, betonun bünyesinde ki boşluk miktarının artmasıyla dayanım düşer, aşınma direnci azalır, neme karşı daha hassas hale gelir. Birim ağırlıkları  $1840 \text{ kg/m}^3$ 'ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç dayanımı  $17 \text{ MPa}$ 'ı aşan betonlar hafif beton olarak adlandırılırlar. Türkiye de dâhil olmak üzere bazı ülkelerin standartlarında, hafif beton birim ağırlığının  $1900 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar çıkmasına izin verilir (Taşdemir 2003).

Genelde hafif betonlar birim ağırlıklarındaki pratik değişim aralığı  $300\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ 'dür. Mekanik performanslar ve birim ağırlık arasındaki olağanüstü ilişkilerin olması malzemenin önemli bir üstünlüğüdür. Hafif betonlar normal betona göre ısı yalıtım katsayısı düşük olduğundan hem iyi bir yalıtım sağlar hem de orta dayanımlı taşıyıcı malzemelerdir (Taşdemir 2003).

Hafif betonların bünyesinde fazla miktarda boşluk olması nedeniyle, elastisite modülleri ve mekanik özellikleri düşüktür. Bu nedenle yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanımı uygun değildir. Bu özellikleri sebebiyle daha çok detay malzemesi olarak kullanılır. Hafif betonlarla üretilen binalar ısı yalıtımı bakımından üstün olup, daha ekonomiktirler (Chandra and Berntsson 2003).



### 2.7.1. Hafif betonun tarihçesi

Hafif agregalı beton bina zati yükünü azaltmak için, ilk olarak döşemelerde kullanılmıştır. Tarihi ise M.Ö. 3000 yıl öncesine dayanmaktadır. Normal agregaların yerine, bünyesinde barındırdığı boşluk miktarı fazla olan, doğal ve yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen betonlardır. Hafif agrega olarak; pomza taşı, genişmiş perlit, genişmiş kil, plastik köpüğü veya odun talaşı gibi çok hafif ve çok boşluklu agregalar kullanılır (Chandra and Berntsson 2003).

1970’li yıllarda, hafif betonun köprülerdeki kullanımında gelişmeler görülür. Bu uygulamalara güzel bir örnek olarak, Hollanda Nijmegen yakınlarında, “Mass–Well Kanalı” üzerindeki “Dukenburgse Köprüsü” verilebilir. Köprünün uzunluğu 188,8 m, genişliği 28,7 m ve boyuna üç açıklığı sırasıyla 37,4 m, 112,2 m ve 37,4 m’dir. Bu köprünün inşasında da genişleştirilmiş kil ve kumdan üretilen beton kullanılmıştır. Beton, yoğunluğu  $1750 \text{ kg/m}^3$  ve 28 günlük silindir basınç dayanımı 38,5 MPa değerini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Gül ve Geçten 1994).

### 2.7.2. Hafif betonların özellikleri

Hafif betonda S/Ç oranı normal betona nazaran daha düşük tutulur, sebebi ise su miktarının artması dayanımı olumsuz etkilemesidir. Yapılan incelemeler de ise aynı birim ağırlığına sahip yuvarlak şekilli ve düzgün yüzeyli agregaların, kırılmış veya köşeli, pürüzlü yüzeyli agregalardan daha fazla dayanıma sahip oldukları gözlenmiştir (Clarke 2010).

Hafif betonların elastisite modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme fazladır. Agreganın rijitliğinin az olması ve çimentonun fazla kullanılması nedeniyle rötire artar. Rötrenin önüne geçmek için S/Ç oranı düşük tutulabilir. Hafif betonlarda rötire normal betona nazaran %20 daha fazla olur. Agreganın rijitliği ne kadar yüksek olursa, rötire de o denli azalır. Normal betonun su emmesi hafif betona nazaran %12-22 daha azdır. Donma açısından ele alındıklarında hafif betonlar normal betona nazaran daha

dayanıklıdır. Farklı yollarla elde edilen hafif betonlar da bu aynı özelliklere sahiptirler (Clarke 2010).

S/Ç oranının düşürülmesi daha kompakt bir malzeme oluşturacağından betonun donmaya dayanıklılığını arttırabilir. ısı genleşme katsayıları ise normal agregalara nazaran daha düşüktür. Beton açısından bu özellik agreganın çeşidine ve katılma miktarına bağlıdır. Genelde hafif agregalı betonun ısı genleşme katsayısı, normal betona göre %20 daha azdır. Agreganın hafifliği ne kadar yükselirse hafif betonun bu özelliği de o kadar artar. Isı iletim katsayısı normal betonda  $\lambda = 1.75$  kcal/mhoc, hafif betonda  $\lambda \geq 0.12$  kcal/mhoc'dır (Clarke 2010).

### 2.7.3. Hafif betonların sınıflandırılması

Sınıflandırmalar genellikle hem birim ağırlık hem de dayanım koşuluna göre yapılmaktadır. Hafif betonlarda taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların, özellikle birim ağırlık bakımından, sınıflandırılmasında değişik kabuller vardır (Neville 1975).

Taşıyıcı olan hafif betonların birim ağırlığı  $1450-2000 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir, çoğunlukla birim ağırlık  $1600-1800 \text{ kg/m}^3$  arasında kalmaktadır. Dayanımları 7-17 MPa arasında olan betonlar orta mukavemetli beton sınıfına girerler Birim ağırlıklarına göre hafif betonları üç ayrı gruba ayırmak olasıdır (Neville 1975).

- Yalıtım Betonları:  $300 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim Ağırlık} < 800 \text{ kg/m}^3$
- Orta Mukavemetli Hafif Betonlar:  $800 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim Ağırlık} < 1400 \text{ kg/m}^3$
- Taşıyıcı Hafif Betonlar:  $1400 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim Ağırlık} < 2000 \text{ kg/m}^3$

	Yalıtım betonlar			Orta dayanımlı betonlar		Taşıyıcı hafif betonlar		
Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Dayanım aralığı	(0,7-2,0 Mpa)			(7-14 Mpa)		(17-41 Mpa)		
Agrega tipi	Vermikülit			Pomza		Sinterlenmiş uçucu kül		
	Perlit			Volkanik curuf		Genişletilmiş kil veya şist		
	Gaz ve köpük beton			Genişletilmiş curuf				
Diğer hafif betonlar	Kumsuz beton (hafif beton)						Kumsuz beton	
							(Normal beton)	

**Şekil 2.4.** Hafif betonların sınıflandırması (Neville 1975).

Şekil 2.4'e göre, pomza taşı hafif betonu orta dayanımlı bir betondur. Yalıtım betonları ise perlit ve vermikülit hafif agregasıyla üretilen betonlardır. Gaz ve köpük betonları hem yalıtım hem de orta dayanımlı beton olarak adlandırılır. Kumsuz taşıyıcı hafif agregalı betonlar orta dayanımlı, normal agregalı hafif betonlar ise taşıyıcı beton sınıfına girerler. Volkanik cüruf agregalı hafif betonlar ise genel olarak orta dayanımlı beton olarak düşünülebilir. Öte yandan, endüstriyel biçimde üretilen sinterlenmiş uçucu kül, genişletilmiş kil veya şist ile genişletilmiş cüruf hafif agregalı betonlar ise uygulamada taşıyıcı beton olarak göz önüne alınırlar. Birim ağırlığı geniş bir aralıkta değişen hafif betonları sahip oldukları basınç dayanımlarını da göz önüne alarak Çizelge 2.5'deki gibi sınıflandırmak olasıdır. Bu betonların S1 sınıfındakilerden, esas olarak ısı yalıtımının sağlanmasında, kısmen de taşıyıcı olarak yararlanılır. S2 ve S3 betonları orta dayanımlı betonlardır, yalıtım özellikleri de vardır. S4, S5 ve S6 betonları ise birçok ülkede taşıyıcı beton olarak kabul edilirler. ASTM C330 standardında 28 günlük silindir basınç dayanımının 17 MPa'dan küçük olmaması, birim ağırlığının ise 1840 kg/m<sup>3</sup> değerini aşmaması öngörülür. Avrupa standartlarında da benzer tanımlar vardır. Özellikle S5'in üst, S6'nın alt sınırındaki taşıyıcı hafif agregalı betonlar uzun açıklıklı betonarme köprülerde öz ağırlıkların azaltılması bakımından faydalıdır (Neville 1975).

**Çizelge 2.5.** Hafif betonların sınıflandırması (Postacıoğlu ve Taşdemir 1986).

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (Kg/m <sup>3</sup> )	Basınç Dayanımı Aralığı (MPa)
S1	< 800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	100-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-2000	40-70

Taşıyıcı hafif beton olarak tasarlanmayan S1 ve S2 sınıflarına ait olanlar, duvar işlerinde kullanılır. Böylece yapının toplam ağırlığında önemli bir azalmanın olmasıyla depreme karşı dayanıklılıkta da belirgin katkı sağlanır. Sınıf 4 ve üstü için endüstriyel yolla üretilen yapay hafif agregaların kullanılması gerekir (Postacıoğlu ve Taşdemir 1986).

#### 2.7.4. Hafif betonların üstünlükleri

Betonarme yapılarda, normal beton yerine hafif betonun kullanılmasının bir kaç yararı vardır:

- Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır.
- Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır, bu azalma ile temeller ve diğer yapı elemanları daha küçük boyutlarda yapılabilir.
- Isı yalıtımları yüksektir.
- Yangın bakımından da normal betona göre daha elverişlidirler (Taşdemir 1982).

### 2.7.5. Hafif betonların sakıncaları

Betonarme yapılarda, normal beton yerine hafif betonun kullanılmasının bazı dezavantajları da olabilir :

- Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür.
- Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.
- Rutubete karşı yalıtım gereklidir (Taşdemir 1982).

### 2.8. Hafif Agregalar ve Hafif Agregalı Betonlar

Taşıyıcı hafif beton üretiminde en yaygın yöntem hafif agrega kullanmaktır. Hafif agregalar yüksek boşluk oranlarına sahip olduklarından birim hacim ağırlıkları düşük olup normal agregalara göre daha yüksek su emme, daha az ısı iletimi ve daha az dayanım gibi özelliklere sahiptirler. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar beş ana grupta toplanabilir:

- Doğal malzemelerden üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist ve arduvaz.
- Doğal hafif agregalar: Pomza taşı, volkanik tüf, volkanik cüruf.
- Endüstriyel atıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş cüruf,
- Kızdırılmış uçucu kül.
- Endüstriyel atıklardan oluşan hafif agregalar: Cüruf, uçucu kül.
- Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri ve ağaç parçacıkları gibi malzemeler.
- Polimer kökenli malzemeler, stiropor (Rilem 1978).

#### 2.8.1. Perlit

Hafif agrega olarak kullanılan perlit, yalıtım ve yangına dayanım özellikleri ile yapılarda çeşitli biçimlerde kullanılan yapı malzemesidir. Kullanım alanı geniş olan perlit, gevşek dolgu olarak döşemelerde ve çift katmanlı dış duvarlarda, yalıtım betonu

olarak zemin kat ve çatı döşemelerinde, sıva agregası olarak iç, dış duvarlarda ve tavan sıvasında, blok ve levha biçiminde duvar gövdesi olarak kullanılır. Yapı malzemesi olarak perlit yapıya az yük vermesi, alan kazandırması (duvar elemanı olarak kullanıldığında), yakıt tasarrufu sağlaması ile yapı maliyetini olumlu yönde etkiler (Ayberk 1995). Başka bir deyişle perlit, volkanik kaynaklı toz şeklinde doğal bir camdır. Maden olarak çıkarılır. Çıkarılma işleminden sonra ani olarak (800-1150)<sup>o</sup>C ısıya maruz bırakıldığında bileşimindeki su aniden buharlaşır ve hacimsel olarak 4-20 katı büyüklüğe ulaşır. Perlitin içeriğinde %71-75 SiO<sub>2</sub>, %12-16 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %3-4 Na<sub>2</sub>O, %4-5 K<sub>2</sub>O ve %2-5 oranında su bulunmaktadır. Dünyada en fazla Yunanistan, Japonya ve Türkiye’de çıkarılıp kullanılmaktadır. Türkiye’de 1961 yılından sonra üretimine başlanmış ve 1970 yılından sonra artmıştır (Çok vd 2003).



**Şekil 2.5.** Doğal perlit taneleri (Çok vd 2003).

Perlit kayaları çeşitli renk ve yapı itibariyle birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlit gri renktedir. Genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik, hidrasyona uğramış camı silika yapısındaki %2,5 arasında bileşik halinde içerdiği sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır. Perlit (750-1200)<sup>o</sup>C arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genişerek camı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşür. İlk hacminin 20 katına kadar genişebilir. Bu ürüne genişmiş perlit denir (Çok vd 2003).

### 2.8.1.a. Perlitin fiziksel özellikleri

- Tanım: Konkoidal, sferidal kırıklı camsı volkanik kayaç
- Renk: Beyaz, gri ve tonları, genişince tümüyle beyaz
- Sertlik (Mohs): 5-6
- Özgül ağırlık: 2200-2400 kg/m<sup>3</sup>
- Gevşek yoğunluk: 32-400 kg/m<sup>3</sup>
- Yumuşama noktası: 871-1093°C
- Erime noktası: 1260-1343°C
- Özgül ısı: 0,2 cal/g°C
- Isı iletkenliği: 0,04 w/mk
- Refraktif indeks: 1,5
- pH: 6,5-8
- Serbest nem (%): Maksimum 0,5
- Asitte erime özelliği: Konsantre sıcak alkali ve hidroklorik asitte erir.

: Konsantre mineral asitlerinde az erir (%2).

: Seyreltik mineral veya konsantre asitlerde çok az erir (%0,1) (Gökhan ve Baytın 1978).

### 2.8.1.b. Perlitin kimyasal özellikleri

Perlit, özel dokulu, asit bileşimli esas itibariyle volkanik camdır. Bünyesinde su ihtiva eder, fibrik yapılı değildir. Nitrat, sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermediğinden kimyasal olarak saf bir malzemedir (Gökhan ve Baytın 1978).

**Çizelge 2.6.** Tipik bir perlitin kimyasal analizi (Gökhan ve Baytın 1978).

<b>Bileşen</b>	<b>Oran (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	71,0-75,0
AlO <sub>3</sub>	12,5-18,0
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9-4,0
K <sub>2</sub> O	0,5-5,0
CaO	0,5-0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-1,5
MgO	0,02-0,5
TiO <sub>2</sub>	0,03-0,2
MnO <sub>2</sub>	0,0-0,1
SO <sub>3</sub>	0,0-0,2
FeO	0,0-0,1
Cr	0,0-0,1

### 2.8.1.c. Perlitin kullandığı alanlar

Perlit sadece yapı alanında değil ziraatta, kimya ve boya sanayiinde ve diğer birçok alanda 100'ün üstünde farklı amaçla kullanılabilir. Perlitli beton prefabrik elemanları, bölme amacı ile, hafif oluşu ve yalıtıcı özelliğinden dolayı özel bir amaca cevap vermek için

Yapı endüstrisinde çimento ile: Perlitli beton prefabrik elemanları, bölme amacı ile, hafif oluşu ve yalıtıcı özelliğinden dolayı özel bir amaca cevap vermek için

- Perlit ve normal agregalarla beton bloklar ve yan taşıyıcı olarak
- Yalıtım betonu amacı ile dolgu betonu olarak

Alçı ile :

- Bölme duvar elemanı olarak
- Akustik pano yapımında
- Ses ve ısı yalıtımı için blok tuğla yapımında



Sıva amacı ile :

- Akustik sıva yapımında
- Hazır sıva yapımında (2,5 cm'lik perlit sıvası 15 cm'lik tuğla duvarın ısı geçirgenliğini sağlamaktadır).
- İç ve dış sıvada ısı yalıtımı sağlamak amacı ile tek başına ya da diğer agregalarla karıştırılarak

Hazır izolasyon plakları olarak :

- Bazı bitüm esaslı katkı maddeleri ile ısı ve neme karşı izolasyon plağı olarak
- Hasır çelikle birlikte kuvarz kumu ve perlit agregası olarak beton hazır plak yapıldığında çatı ve döşeme plağı olarak kullanılmaktadır, özellikle üzerinde fazla ağırlık olmayan eğimli çatılarda çatı örtüsü olarak emniyetle kullanılabilir (Gökhan ve Baytın 1978).

#### **2.8.1.d. Perlit agregalı betonların birim hacim ağırlıkları**

Hafif agregaların içinde boşlukların fazla olması nedeni ile yoğunlukları da düşer. Düşük yoğunluklu hafif agregaların basınç dayanımları da düşük olur. Genelde normal betonların yoğunlukları  $2400 \text{ kg/m}^3$  olur ve bu yoğunluk hafif betonlar için  $1000-2000 \text{ kg/m}^3$  aralığındadır (Pekdemir 2010).

Hafif beton üretimin de, hafif iri agregası kullanımı ile ince agregası kullanılmadan birim hacim ağırlık  $640 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar indirilebilir (yazıcı 2001). Perlit agregası ile üretilen hafif betonların birim ağırlıkları en az  $1000-1200 \text{ kg/m}^3$  aralığında olabilir. Bunun sebebi, perlit agregalarının kuru birim hacim ağırlıkları  $1000-1200 \text{ kg/m}^3$  aralığında olmasıdır. Betonun birim ağırlığı artması ile birlikte basınç dayanımı ve elastisite modülü de artar (Ulus 2007).

### **2.8.1.e. Perlit agregalı betonların basınç ve çekme dayanımı**

Normal betonlar gibi hafif betonlarda da zamanın geçmesi ile betonun dayanımı artar. Hafif betonun ısı yalıtımı yüksek olması sebebiyle betonun içinde oluşan hidrasyon ısısı dışarı rahat çıkamaz ve beton kütesinin iç kısmının, dış kısmından daha erken sertleşmesine sebep olur. Betonun iç kısmının erken sertleşmesi betonda çatlaklara neden olabilir. Hafif agregaların çekme dayanımları normal agregaya kıyasla düşük olur bu düşüklük normal betona nazaran %25 civarında daha düşük dayanımlı beton üretimine sebeptir (Ulus 2007).

### **2.8.1.f. Perlit agregalı betonların elastisite modülü**

Rijit malzeme kabul edilen agreganın artması ile birlikte betonun rijitliği de artış gösterir, ama hafif betonda agrega miktarının artması betonun rijitliğini azaltır, bu azalmanın sebebi hafif agreganın rijitliğinin normal agregaya nazaran daha düşük olmasıdır. Hafif betonun basınç dayanımı normal betonla aynı olması durumunda, hafif betonun elastisite modülü normal betonun %50-75 oranındadır. Hafif betondan yapılan kirişler normal betondan yapılan kirişlere göre daha fazla sehim yapar. Çünkü hafif betonların ani elastisite modülü normal betonun %50'si kadardır (Pekdemir 2010).

### **2.8.1.g. Perlit ile üretilen hafif betonların ısı iletkenlik ve yalıtımları**

Isı iletkenlik ya da termal iletkenlik, fizik'te malzemenin ısı iletim kabiliyetini anlatan bir özelliktir. Isı iletkenliğinin birimi (KCal/m.h.°C) olarak tanımlanır. Hafif betonların ısı yalıtımı normal betona kıyasla daha iyidir. Hafif agregaların birim ağırlıklarının daha düşük olmasından dolayı bu özellik artar. Kullanılan agreganın cinsi de sonucu etkiler (Pekdemir 2010).

### **2.8.1.h. Perlit agregası ile üretilen hafif betonların rötre ve sünme değerleri**

Hafif agregaların zayıf olması nedeni ile hafif betonda aynı dayanım için normal betona kıyasla daha fazla çimento kullanılır. Fakat hafif beton, normal betonlarla eşit miktarda sünme yapar. Çimentonun fazla kullanması beton için zararlıdır, fakat hafif agreganın çimento hamurundaki suyu emmesi ve gerçek S/Ç oranının düşmesi bu zararı yok eder. Perlit katılması çimentonun rötresini etkiler. Perlitin artması ile birlikte rötre değerlerinde azalma görünür (Ulus 2007).

### **2.8.1.i. Perlit agregalı betonların su emmesi**

Normal betona kıyasla perlit agregalı betonların su emmeleri daha düşüktür. Boşluklu yapısından dolayı donma çözünmeye karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Bu sebeple perlit agregası kullanımı betonun su emme oranını artırmaktadır (Polat 2007).

## **2.9. Sülfürik Asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

Kuvvetli bir mineral asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) olan sülfürik asitin, sanayide önemi büyüktür. Renksiz bir sıvı olan bu asit yağ kıvamındadır. Zac yağı veya zac asidi olarak da bilinir. Yoğunluğu 25°C'de 1,834'tür. 10,5°C'de donar, (315-318)°C aralığında kaynar. Suyla her oranda karışır. Suyla karışma esnasında büyük bir ısı açığa çıkar (Anonim 2008).

### **2.9.1. Fiziksel özellikleri**

Renksiz, kokusuz, akıcı olmayan (kıvamlı), yoğunluğu 1850 kg/m<sup>3</sup> olan bir sıvıdır. Yüksek nem çekme özelliği vardır. Bu çözeltileri ısıtılarak %93'e kadar derişim sağlanır. Daha derişik (bir çözeltilde çözünen maddenin oranının yüksek olması) asitler SO<sub>3</sub>'ün sülfürik asit ile absorpsiyonu ile hazırlanır. Su ile tepkimeye girdiklerinde ısı açığa çıkarır. Sülfürik asidin çeşitli derişimlerdeki çözeltilerine veya SO<sub>3</sub>'ün sülfürik asitdeki çözeltilisine oleum adı verilir. Oleumlar içerdikleri SO<sub>3</sub> miktarları değişik

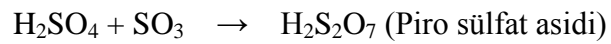
olduğundan kesin bir kimyasal formülleri yoktur. %20'lik oleum demek 100 kg'da 80 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 20 kg SO<sub>3</sub> var demektir. %20, %35, %40, %60-65'lik oleumlar vardır. Bu oleumlardan erime noktası düşük olduğu için en yaygın kullanılanı %60-65'lik oleumdur. Bazı oleumların erime noktaları; asit derişimleri; ağırlıkça yüzde, özgül yoğunluk veya bome olarak ifade edilir (Anonim 2008).

**Çezilge 2.7.** Değişik derişimlerdeki oleumların erime noktaları (Anonim 2008).

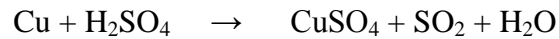
<b>% Oleum</b>	<b>Erime noktası (°C)</b>
40	35
35	27
20	10
65	0

### 2.9.2. Kimyasal özellikleri

Eriyik olarak bulunan en derişik sülfürik asit %98,5 saflıktadır. Kükürt trioksit sülfürik asit içersinde eriyerek dumanlı sülfürik asidi oluşturur (Anonim 2008).



Sülfürik asit iki değerlikli kuvvetli bir asittir. Metaller üzerine iki türlü etki ederek tuzlarını meydana getirir. Sülfürik asit soy metaller üzerine asit olarak etki etmeyip yükseltgen olarak etki eder.



### 2.9.3. Kullanıldığı yerler

Ham petrolün temizlenmesinde, diğer bazı asitlerin elde edilmesinde, pil ve akümülatörlerde elektrolit olarak, patlayıcı madde üretiminde nem çekici olarak, gübre

sanayisinde, boya, tekstil, kağıt, detarjan, alkol üretiminde ve deri endüstrisinde sülfürik asit aktif olarak kullanılmaktadır (Anonim 2008).

## 2.10. Nitirik Asit

Halk arasında kezzap olarak bilinir. Nitrik asit, bileşiminde üç oksijen, bir hidrojen ve bir azot bulunan kuvvetli bir asittir.  $\text{HNO}_3$  formülüyle gösterilir. Konsantrasyonu arttıkça daha tehlikeli olur, gliserin ile reaksiyona sokulduğunda nitro gliserin elde edilir. Dinamit, çeşitli patlayıcılar, plastik ve gübre yapımında kullanılır.

**Çizelge 2.8.** Nitrik asitin kimyasal ve fiziksel özellikleri (Liman 2006).

Özellikler	Sınıf 1	Sınıf 2	
		Tip 1	Tip 2
Nitrik asit, kütlece % en az	98	50	50
Yoğunluk (20 C), gr/ml, en az	1,5	1,31	1,31
Kızdırma kalıntısı, kütlece % en çok	0,05	0,01	0,01
Klorürler (HCl olarak) kütlece % en çok	0,01	0,001	0,3
Sülfatlar ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ olarak) kütlece % en çok	0,08	0,005	0,05
Ağır metaller (Pb olarak) kütlece % en çok	0,1	-	-
Azot Oksitleri ( $\text{HNO}_2$ olarak) kütlece % en çok	0,15	0,05	-
veya ( $\text{N}_2\text{O}_4$ olarak) kütlece % en çok	0,3	0,1	-
Arsenik, kütlece % en çok	-	0,005	-

## 2.11. Daha Önceki Çalışmalar

Topçu ve Canbaz (2008), yapmış oldukları çalışmada , çimento yerine ağırlıkça %0,25, 50, 75, 100 oranlarında yüksek fırın curufu kullanmışlardır. Yüksek fırın cürufunu aktif hale getirmek için sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum silikat kullanılmıştır. Hazırlanan 7x7x7 cm'lik numuneler 28 günlük kürden sonra sülfürik asit etkisinde bırakılmıştır. Kontrol numunelerine göre dayanım ve diğer fiziksel özellikler incelenmiştir. İnceleme sonucunda asit etkisine maruz kalan numunelerde yüksek fırın cürufu kullanım oranı arttıkça, numune dayanımlarında azalmalar gözlenmiştir. Asit etkisinde kalan numunelerin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülleri ve basınç dayanımlarında azalma tespit edilmiştir.

Liman (2006), yapmış olduğu çalışmada normal kür koşullarında bekletilen beton numunelerle, nitrik asit ve hidroklorik asitli suda bekletilen numuneler kıyaslanarak dayanımının ne derece etkilendiğini incelenmiştir. Bu deney sonucunda, durabilitenin beton ve betonarme yapıların dayanıklılığı için ne kadar önemli olduğu bir kere daha ortaya konmuştur. Deneysel çalışmada elde edilen 28, 56, 90 ve 180 günlük sonuçlar değerlendirildiğinde kontrol numunesi ile, asitli ortamda kalan numuneler arasındaki dayanım farkın kısa sürede pek belirgin olmadığı bazı numunelerin ise literatürle deneysel hatalar sonucu ters sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Yiğiter vd (2006), yapmış oldukları çalışmada, C tipi uçucu kül içeren beton numunelerin fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini incelemiştir. Su ve hava kürü uygulanan numunelerde çimento yerine %40'a kadar uçucu kül katılarak; beton numunelerinin basınç dayanımı, elastisite modülü, asit etkisine karşı dayanıklılığı, harç çubuğu örneklerinin hacim sabitliği ve bağlayıcı hamurlarının priz süreleri ölçülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlarda, uçucu kül kullanımının betonun erken yaşlardaki dayanımını olumsuz etkilediği, buna karşın 3 günden sonra uçucu kül oranının artması ile basınç dayanımlarında artışlar gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca, uçucu kül kullanımı numunelerde sülfürik aside karşı dayanıklılığı arttırmıştır. Harç numuneleri üzerinde yapılan boy ölçümlerinde ise, uçucu kül oranı arttıkça genleşmelerin arttığı

gözlenmiştir. Bazen olumsuz olan bu davranışın önüne kimyasal katkı maddeleri ile geçilmiştir.

Erdoğmuş (2009), yapmış olduğu çalışmada doğada kirliliğe ve büyük ekonomik kayıplara neden olan kolemanit konsantratör atığının, Karabük curufunun, uçucu külün tek başlarına ve birlikte ikili üçlü kombinasyonlar şeklinde numunelere ilave edilmesiyle oluşturulan harçların asitli ortamdaki dirençleri kontrol numunelerine kıyasla incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde katkılı numunelerin Portland çimentosuna ilave edilmesiyle oluşturan harçların asitli ortamlarda daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Demir (2009), yapmış olduğu çalışmada aynı oranlardaki UK ve SD ikameli beton numunelerinde, 28 günlük referans beton (KB) 36.79 MPa'a göre SD ve UK ikameli betonların dayanım artışı karşılaştırıldığında, %20 SD ilaveli betonlar %108 dayanım artışı sağlarken, %20 UK ikameli betonlar %76 dayanım artışı sağlamıştır. Bu durumun SD' nin UK' ya göre daha ince oluşundan kaynaklandığını söyleyebiliriz.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu çalışmaya konu olan silis dumanlı ve uçucu küllü hafif betonların üzerinde asit etkisini incelemek için birtakım deneysel çalışmalara gereksinim duyulmuştur. Araştırmanın amacı doğrultusunda yapılan bu deneysel çalışmalarda, kullanılan malzeme araç ve gereçlerin özellikleri ile uygulanan teknikleri açıklayıcı bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

Çalışmada kullanılan agreganın ve üretilen betonların gerekli fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

#### **3.1. Materyal**

Bu bölümde, perlit agregası, çimento, uçucu kül, silis dumanı, karışım suyu, süper akışkanlaştırıcı, beton katkı maddesinden oluşan beton bileşenlerinin ve beton üretiminde kullanılan tüm malzemeler, asit çözeltileri, araç, makine ve teçhizatın genel özellikleri tanımlanmaktadır.

##### **3.1.1. Çimento**

Bu çalışmada, Aşkale Çimento Fabrikası'nın 2012 yılı Kasım ayında TS EN 197-1 uygun olarak hazırlanmış katkılı Portland Çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun yine aynı fabrikada yaptırılan fiziksel, mekanik ve kimyasal analizlerinin sonuçları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir.



**Çizelge 3.1.** Çimentonun fiziksel özellikleri

İncelik	0.09 mm elek üstü	%0.4
Özgül ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )		2990
Özgül yüzey (m <sup>2</sup> /kg)		440,6
Priz başlangıcı (saat-dk)		2sa-48dk
Priz sonu (saat-dk)		3sa-48dk
Hacim genişmesi (m)		0,001
Su ihtiyacı (%)		29,6

**Çizelge 3.2.** Çimentonun mekanik özellikleri

Basınc dayanımı (MPa)	2.gün	20,8
	7.gün	31,7
	28.gün	47,7
Eğilme dayanımı (MPa)	2.gün	3,9
	7.gün	5,8
	28.gün	7,3

**Çizelge 3.3.** Çimentonun kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal Bileşen</b>	<b>Oran (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	20,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,25
CaO	56,38
MgO	3,01
SO <sub>3</sub>	2,28
Kızdırma Kaybı	9,07
Na <sub>2</sub> O	0,39
K <sub>2</sub> O	0,59
Cl	0,0169
Ölçülemeyen	0,44
Toplam	100
Serbest CaO	1,21
Katkı (%)	26,91

### 3.1.2. Perlit agregası

Bu çalışmada deneylerin %100 oranında Erzincan Mollaköy ham perlit agregası kullanılmıştır. Magmanın yeryüzüne çıkıp havada soğuması sonucu pomza, suyun içerisinde soğuması sonucu ise perlit oluşmaktadır. Perlit ise suyun içerisinde olduğu için bünyesinde %2 ile %6 arasında değişen oranda su tutmaktadır ve bu su kuruma ile giderilemez. Perlit agregasının özellikleri Çizelge 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Erzincan Mollaköy ham perlitin birleşenleri

<b>Birleşenler</b>	<b>Oran (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	71–75
K <sub>2</sub> O	4–5
CaO	0,40–0,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30–0,50
MnO	0,071
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,50–16
Na <sub>2</sub> O	3,20
MgO	0,02–0,03
TiO <sub>2</sub>	0,01
SO <sub>3</sub>	0–0,2

**Çizelge 3.5.** Erzincan Mollaköy perlit agregasının fiziksel özellikleri

<b>Özellikler</b>	<b>Tane Sınıfı (mm)</b>		
	0-2	2-4	4-8
Gevşek birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	1123,67	1086,23	1035,44
Sıkışık birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	1310	1225	1140
Özgül ağırlık faktörü	2,16	2,12	2,05
Su emme (%)	2,9	4,7	6,2
30 dakikalık su emme (%)	2	2,3	3

### 3.1.3. Uçucu kül

Bu çalışmada Bursa ilinde bulunan Orhaneli Termik Santralinden elde edilen uçucu kül kullanılmıştır. kullanılan UK'nin özgül ağırlığı  $2180 \text{ kg/m}^3$  dur. Beton numunelerinin üretiminde çimento ağırlığının %10 ve %20'e kadar UK kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal analizi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Uçucu külünün kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal ve Fiziksel Analizler	Miktar
SiO <sub>2</sub>	42,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,64
CaO	26,96
MgO	1,78
SO <sub>3</sub>	2,43
K <sub>2</sub> O	1,13
Kızdırma kaybı	1,34
Serbest CaO	4,34
Özgül ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )	2180

### 3.1.4. Silis dumanı

SD fabrikalarda üretim esnasında baca gazları ile birlikte ortamı terk eden tozlar elektro filtrede toplanır. Tozların filtrede toplanmalarının ilk amacı çevre kirliliğini önlemektir. Bu çalışmada Antalya ili Eti Elektrometalurji A.Ş'den elde edilen silis dumanı kullanılmıştır. Kullanılan SD'nin kimyasal özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. Beton numunelerinin üretiminde çimento ağırlığının %5 ve %10 kadar SD kullanılmıştır.

**Çizelge 3.7.** Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

<b>Kimyasal ve Fiziksel Analizler</b>	<b>Miktar</b>
SiO <sub>2</sub>	94,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1
CaO	1,40
SO <sub>3</sub>	0,21
Özgül ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2360
Özgül yüzey (m <sup>2</sup> /kg)	20000
Çözünmeyen kalıntı	2,16

**3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı**

Bu çalışmada yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi Glenium C 303 çimentonun %1,5'u kadar kullanılmıştır.

**Çizelge 3.8.** Glenium C 303'ün teknik özellikleri

Renk	Açık yeşil
Yoğunluk	1,023-1,063 kg/l
Klor içeriği %(TS EN 480-10)	< 0,1
Alkali içeriği %(TS EN 480-12)	< 3

### **3.1.6. Karışım suyu**

Beton üretiminde kullanılacak suyun temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması oldukça önem arz etmektedir. Karışımında kullanılacak suyun içeriğinde fazla oranda bulunabilecek yabancı ve kimyasal bakımdan tehlikeli maddeler, hidratasyon ürünlerinin oluşum hızını ve miktarını belirleyebileceğinden, çimento hamurunun katılma süresini ve bağlayıcılık özelliğini de etkileyeceklerdir (Erdoğan 1995).

Bu çalışmada, karışım suyu olarak, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarı'nda musluk suyu kullanılmıştır.

### **3.1.7. Nitrik asit çözeltisi**

Deneylerde kullanılan  $\text{HNO}_3$  çözeltisinin hazırlanmasında 100 lt çözelti için 93 lt su ve 7 lt nitrik asit kullanılmasıyla %5'lik nitrik asit çözelti hazırlanmıştır.

### **3.1.8. Sülfürik asit çözeltisi**

Deneylerde kullanılan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  çözeltisinin hazırlanmasında 100 lt çözelti için 95 lt su ve 5 lt sülfürik asit kullanılmasıyla %5'lik sülfürik asit çözelti hazırlanmıştır.

### **3.1.9. Diğer malzemeler**

Beton numunelerinin kuru için kirece doymuş su ortamının sağlanmasında söndürülmüş torba kireç, sertleşmiş beton numunelerinin başlıklanmasında kükürt ve numunelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır.

### 3.1.10. Aletler

#### 3.1.10.a. Elekler

Deneylerde TS 1227 (1996 b)'ye uygun toplama kabı, 2 mm ile TS 1226 (1996 a)'ye uygun 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

#### 3.1.10.b. Betoniyer

ELE firmasının ürettiği 135° açı yapacak kadar manevra yapabilen 60 dm<sup>3</sup> kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betoniyer kullanılmıştır (Şekil 3.1). Malzemelerin nasıl yerleştirildiği yöntem bölümünde anlatılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan betoniyer

### 3.1.10.c. Kalıplar

Kalıplar, çelik, dökme demir veya plastik gibi su emmeyen malzemelerden yapılmış ve şekil değişikliği göstermeyen, iç yüzeyleri pürüzsüz düzgünlükte olan malzemelerdir. Taze betonun yerleştirilmesinden önce, kalıbın içine ince bir tabaka yağ sürülür. Bu şekilde, beton kalıp içerisine yapışmaz. Hazırlanan numuneler (21–25)°C’de 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılır. Bu çalışmanın numunelerini üretmek için, plastik 10 cm çaplı ve 20 cm yüksekliği olan silindir kalıpları kullanılmıştır.

### 3.1.10.d. Pres cihazı

Bu çalışmada sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı belirlemek için, Yüksel Kaya Makine Ltd. Şti. üretimi YKM Q71 model ve 300 ton kapasiteli yüklem hızını otomatik tayin edebilen hidrolik pres kullanılmıştır.



**Şekil 3.2.** Basınç dayanımı deneylerinde kullanılan pres cihazı



### 3.1.10.e. Ultrases hızı ölçüm cihazı

Deneyleerde ultrasonik hızının ölçülmesi için, (Qust-120+) marka dijital ultrasonik hız ölçme aleti kullanılmıştır. Ultrases hızı ölçümü ile, betonun mukavemeti, homojenliği, elastisite modülü ve çatlakların varlığı hakkında bilgi edebiliriz.

### 3.1.10.f. Su kürü uygulamasında kullanılan aletler

Bu çalışmada numunelerin kürü için, kirece doymun su ve  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen tam dijital su kürü tankı (Şekil 3.3) kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Standart kür havuzu

### **3.2. Yöntem**

Bu bölümde, Erzincan hafif agregası özelliklerini belirlemek için uygulanan yöntemler, beton üretimi safhaları, taze ve sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan yöntemler ve deneyler açıklanmıştır. Agregası ve beton deneyleri uygulama sürecinde TSE standartları göz önüne alınmıştır.

#### **3.2.1. Agregası deneyleriyle ilgili uygulanan yöntemler**

Deneylerde kullanılmak üzere Erzincan Molla köyünden getirilen perlit agregasından deney numunesi hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken TS 1114'e uygun olarak çeyrekleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, dairenin çapı yüksekliğinin yaklaşık dört katı olacak şekilde agregası, dairesel bir alana her tarafı eşit yükseklikte olacak şekilde serilmiştir. Dört eşit parçaya bölünen dairenin karşılıklı ikisi uzaklaştırılmış ve diğer parçalar tekrar bir araya getirilerek yeni bir dairesel alan oluşturacak şekilde serilmiştir.

Elek analizi deneyinde; toplama kabı, TS 1227'ye uygun 0,25, 0,50, 1 ve 2 mm göz açıklıklı kare gözlü tel elekler ile TS 1226'ya uygun 4 ve 8 mm göz açıklıklı kare delikli elekler kullanılarak TS 3530'da belirtilenlere göre deney yapılmıştır.

Deneydeki farklı tane sınıflarına ait hafif agregaların özgül ağırlık faktörleri, TSE 3234'teki esaslar göz önüne alınarak piknometre yöntemiyle hesaplanmıştır.

#### **3.2.2. Beton karışım seçeneklerinin belirlenmesi**

Bu bölümde, deneyler için üretilen beton karışımlarının tespiti ile bu betonlarda kullanılan agreganın granülometri eğrilerinin çizilmesinde izlenen yol açıklanmıştır. İstenen işlenebilirlik özelliğinde, yeterli dayanım ve dayanıklılıkta ekonomik betonun malzeme oranlarının belirlenmesi amacıyla beton karışım hesabı yapılmıştır. Seçilen

oranlar 0-2 mm tane sınıfı için %45, 2-4 mm tane sınıfı için %19 ve 4-8 mm tane sınıfı için %36'dır. Çalışmada maksimum agrega tane boyutu 8 mm, çimento dozajı 400 kg/m<sup>3</sup> ve çökme değeri 3±1 cm hava miktarı %3 olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca farklı numunelerde %5 SD, %10 SD, %10 UK ve %20 UK miktarı çimento ağırlığına göre belirlenmiştir. Akışkanlaştırıcı çimentonun %1,5'i kadar kullanılmıştır. Agrega sınıflarının miktarının belirlenmesi için ayarlanmış granülometri eğrisi esas alınmıştır. Bu çalışmada 1m<sup>3</sup> beton için karışıma giren malzemeler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

### 3.2.3. Karışım hesapları

Genellikle hafif agregalı betonların net su/çimento oranı gereken doğrulukta hesaplanmadığından, istenen kıvamı sağlayacak net su miktarı yeterlilik deneyi ile saptanması gerekir. Çeşitli agregalarla, yaklaşık 5 cm çökme verecek kıvamda 1 m<sup>3</sup> beton için gerekli net su miktarı 180 kg ile 270 kg arasında değişir (Anonim 1977). Bu yaklaşımla, 400 kg/m<sup>3</sup> dozlu beton karışımı için su miktarı 240 kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir. Ayrıca beton karışımında, su azaltıcı ve işlenebilirliği artırıcı olarak ağırlıkça çimento miktarının %1,5'i oranında super akışkanlaştırıcı kimyasal beton katkısı kullanılmış ve karışım hesaplarında bu ürünün kullanım talimatına göre karışımdaki su miktarının %20 oranında azalacağı dikkate alınmıştır.

Bu yaklaşımlarla önce mutlak hacim metoduna göre hesaplanan 1 m<sup>3</sup> hacimli teorik karışımdaki bileşen miktarları daha sonra deneme karışımına indirgenmiştir. Hazırlanan deneme karışımında 3±1 cm çökme elde edilene kadar su eklenip ya da çıkarılarak net su miktarı hesaplanmıştır. Mutlak hacim metoduna göre; yerine yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış 1 m<sup>3</sup> beton için gerekli malzeme miktarları hesaplanırken önce çimento dozajı çimentonun özgül ağırlığına bölünerek çimento hacmi, ilk yaklaşımla ön görülen su miktarı suyun yoğunluğuna bölünerek karışımdaki su hacmi bulunmuştur.

Daha sonra yapılan ön dökümlerde, taze betondaki hava miktarı Anonim (1978)'e göre ağırlık yöntemi ile belirlenmiştir. Bu bilgiler göz önüne alınarak çimento, su ve hava hacimlerinin 1 m<sup>3</sup>'ten çıkarılmasıyla bulunan toplam agrega hacmi farklı tane sınıflarına

ayrılmış agregaların karışım oranlarıyla ve özgül ağırlık faktörleriyle çarpılarak ağırlık cinsinden agrega miktarları bulunmuştur. Agreganın özgül ağırlık ve su emme değerlerinin tespitindeki zorluklardan dolayı bu değerleri içermeyen yöntem olan özgül ağırlık faktörleri kullanılmıştır. Agregata tane sınıflarının miktarı belirlenirken ayarlanmış granülometri eğrisine başvurulmuştur. Buna göre, ağırlıkça 0–2 mm tane sınıfı ince agregadan %45, 2–4 mm tane sınıfı ince agregadan %19, 4–8 mm tane sınıfı iri agregadan %36 oranlarında malzeme karışıma eklenmiştir. Bütün bu esaslar dahilinde yapılan beton karışım hesapları Çizelge 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.9.** 1 m<sup>3</sup> hacimli teorik karışımda bileşen miktarları

<b>1 m<sup>3</sup> beton için karışıma giren malzemelerin miktarı</b>		
<b>Bileşenler</b>	<b>Ağırlıklar (kg)</b>	<b>Hacimler (m<sup>3</sup>)</b>
Çimento	400	$(400/0,299) = 0,13378$
Su %20 azalma	$240 \times 0,80 = 192$	0,192
Hava	$30 \times 0 = 0$	$(1 \times 0,03) = 0,030$
Süper akışkanlaştırıcı	$400 \times 0,015 = 6$	$(6/1220) = 0,00492$
Perlit (0-2) mm	$1000 \times 0,45 \times 2,09 \times 0,6393$ $= 601,26$	$(0,45 \times 0,6393) = 0,2876$
Perlit ( 2-4) mm	$1000 \times 0,19 \times 2,03 \times 0,6393$ $= 246,58$	$(0,19 \times 0,6393) = 0,1214$
Perlit (4-8) mm	$1000 \times 0,36 \times 1,98 \times 0,6393$ $= 455,7$	$(0,36 \times 0,6393) = 0,2301$
Toplam	1901,54	1

Elde edilen betonda uygun işlenebilirliği sağlamak için 0,009 m<sup>3</sup>'lük karışıma 0,148 kg karışım suyu ilave edilmiştir. Su miktarındaki bu artış 1 m<sup>3</sup> karışımda

$0,148 \times (1/0,009) = 16,45$  kg'a tekabül etmekte ve karışımın yeni hacmi;  $1 - 0,01645 = 0,98355$  m<sup>3</sup> olmaktadır. Bu durumda hesaplara  $1 / 0,98355 = 1,017$  düzeltme katsayısı uygulanarak karışım bileşenlerinin miktarları yeniden hesaplanmıştır. Teorik karışımda

su miktarı için  $192 \text{ kg/m}^3$  olarak öngörülen ilk yaklaşımla 0,48 civarında hedeflenen (S/Ç) oranı, deneme karışımındaki düzeltmeler neticesinde 0,44 seviyelerine inmiştir. Ancak burada, hafif agregaların yüksek su emme özelliklerinden dolayı oranının yeterli doğrulukla saptanamadığını ifade etmek gerekir.

**Çizelge 3.10.**  $1 \text{ m}^3$  hacimli karışımda düzeltilmiş bileşen miktarları

Bileşenler	Ağırlıklar (kg)	Hacimler ( $\text{m}^3$ )
Çimento	$(400 \times 1,017) = 406,8$	$(0,13378 \times 1,017) = 0,13605$
Su	$(192 - 16,45) \times 1,017 = 178,54$	0,17854
Hava	$(1,017 \times 0) = 0$	0,030
Süper akışkanlaştırıcı	$(6 \times 1,017) = 6,1$	$(0,00492 \times 1,017) = 0,0005$
Perlit	$1303,54 \times 1,017 = 1325,7$	$(1 - 0,34960) = 0,65040$
Toplam	1917,14	1

### 3.2.4. Betonun karıştırılması ve kalıplanması

Karışım oranları tespit edilmiş olan malzemelerden hangilerinin mikser teknesine daha önce yerleştirileceğine ve karışım oranlarına uymak şartı ile, hangilerinin yavaş yavaş veya bir defada yerleştirilmesi gerektiğine belirtilmiş bir kural bulunmamaktadır. Bu çalışmada ilk önce iri ve ince agrega mikserde dökülmüş ve bir dakika karıştırılmıştır. Sonra mikser çalışırken çimento eklenmiş ve 1 dakika sonra karışım suyu ile süper akışkanlaştırıcı karıştırılıp mikserde konulmuştur ve karıştırma işlemine üç dakika daha devam edilmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonlarda ise suyun tamamı eklenip karıştırma işlemi bittikten sonra, çözelti haline getirilmiş silis dumanı ve uçucu kül karışıma eklenmiş ve yine karıştırma işlemine üç dakika daha devam edilmiştir. Taze betonun yerine yerleştirilmesi işleminde en önemli amaç, betonun homojen özelliğini kaybetmeden ve segregasyon yapmadan kalıplar içerisindeki yerini almasını sağlamaktır. Karışım tamamlandıktan sonra beton kalıpların içine dökmeden, kalıpların

içi yağlanması gerekir. Beton numunesi, basınç dayanımı için ve diğer denemeler için 10x20 cm'lik silindir plastik kalıplar kullanılmıştır. 24 saat sonra numuneler kalıplarından çıkarılıp, kirece doymun ve sıcaklığı (23±2)°C olan kür havuzuna yerleştirilmiştir. Numuneler 28 gün kür havuzunda bekletilip havuzdan çıkarıldıktan sonra ilgili deneyler yapılmıştır.

### **3.2.5. Ultrason hızı yöntemi**

Titreşim frekansı 20 kHz'den fazla olan ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Betonun bir yüzeyinden gönderilen ultrasonik dalgalar beton içinde ilerlerken yolları üzerinde boşluklara denk gelirler. Bu dalgalar boşluk kenarına gelince karşı tarafa geçemediğinden, boşluğun etrafını dolaşacaktır. Bu olayın pek çok sayıda tekrarlanması ultrasonik dalgaların belirli bir nokta arasındaki yolunu artıracaktır. Bu çalışmada ultrason hız ölçümleri ASTM C 597'deki esaslara göre yapılmıştır. Ultrason hızının azalması, betonun boşluklu olduğunu göstermekte, buna bağlı olarak beton dayanımı da düşmektedir. Transdüserlerle beton yüzeyi arasında boşluk kalmaması için küplaj malzemesi kullanılması gereklidir (Sağsöz 2007). Asit çözeltisi ve su ortamlarında tutulan numunelerin ortamlara konulmadan önce ultrases hızı değerleri ölçülmüş ve numunelerin ortamlara konulduktan sonra her ay ultrases hızı değişimleri not edilmiştir.

Ultrases hızı ölçümleri yapılmadan önce numuneler havuzlardan çıkartılarak kuru hale getirilmişlerdir. Ultrases hızını ölçmek için her beton gurubundan üç numune alınır ve ölçümlerin daha sağlıklı yapılması için başlıklar ve beton ara yüzeyinde ultrases jeli kullanılarak, her bir numune için üç okuma yapılır ve bu değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.

Ultrases hız ölçümlerinden elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde "Araştırma Bulguları ve Tartışma" bölümünde incelenmiştir.

### 3.2.6. Birim ağırlık tayini yöntemi

Bu deneyde beton numuneleri kür havuzundan çıkarılarak tartılır, elde edilen ağırlık numune hacmine bölünüp doymun birim ağırlıkları hesaplanır. Sonra aynı numunelerin, kuru birim ağırlıklarını elde etmek için, etüvde 24 saat  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilir ve kurduktan sonra tartılır. Numunenin ağırlıklarını hacmine bölerek kuru birim ağırlığı hesaplanır. Sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir (Polat 2007).

### 3.2.7. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyi, 28. günde, 10x20 cm boyutundaki silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boyutları kesin bir biçimde ölçülerek yükün etkiyeceği alan belirlendikten sonra yükün bütün alana üniform olarak dağılmasını sağlamak amacıyla başlık yapılmıştır. Başlık yapma işleminde kükürt kullanılmıştır. Başlık yapma işlemi bittikten sonra numuneler en az iki saat sertleşmeye bırakılarak basınç mukavemeti tayin edilmiştir. Tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. TS 3114 1990'a göre bu değer  $(15000-35000)$   $\text{kg/m}^2/\text{s}$  arasında olabilir. Yükleme hızı olarak  $25000$   $\text{kg/m}^2/\text{s}$  seçilmiştir.

Basınç dayanımı, üretilen üç adet silindir numunenin aritmetik ortalama yükü alınarak elde edilir. Basınç dayanımının formülü:

$\sigma = \text{Port}/\text{AO}$ , Formülde; Port = Numunenin ortalama kırılma yükü (kgf), AO = Yük uygulanan alan ( $\text{m}^2$ ) ve  $\sigma$  = Basınç dayanımı ( $\text{kg/m}^2$ )'dir.

### 3.2.8. Kılcal ve hacimsel geçirimsizlik

Yapı malzemelerinin yüzeyleri su ile temas ettiği zaman, numunedeki boşluklar suyu kapiler olarak malzemenin içerisine çeker. Kapiler su emme veya kılcal su emme,

betonun alt yüzeyinin su içerisine konulduktan sonra beton içinde suyun yükselmesidir. Su beton ile temas ettikten sonra, beton içerisindeki boşluklarda yükselmeye başlayıp ve bir yükseklikten sonra durur. Kılcallık katsayısının formülü:

$$Q^2 = k \times t$$

Q: Emilen su miktarı ( $m^3/m^2$ )

k: Kılcallık katsayısı ( $m^3/dak$ )

t: Zaman (dak)

Bu deneyde, süre 24 saat (1440 dak) olarak uygulanmıştır. Numuneler 24 saat etüvde  $105 \pm 5$  °C’de beklettikten sonra 0.05 m suya girecek şekilde alt yüzeyinden su ile temasa geçirildi. Numuneler 24 saat sonra sudan çıkarılmış ve 1 gram hassasiyetli terazide tartılarak numune içerisine kılcallık yoluyla giren su miktarları belirlenmiştir.

Hacimsel geçirimsilikte numuneler 24 saat kür havuzunda bırakılmış ve sonra tartılmıştır(w). Bu numuneler, 24 saat sonra sudan çıkartılarak tekrar tartıldı( $W_n$ ). Bu ağırlıkların farkı alınarak, fırın kuru ağırlığa bölünüp, 100 ile çarpılmak sureti ile beton numunelerinin hacimsel su emmeleri yüzde olarak bulundu (Demirboğa 1999).

$$S_a = (W_n - W) / W \times 100$$

Kılcal ve hacimsel geçirimsilik deneylerinden elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde incelenmiştir.

### 3.2.9. Piknometre

Piknometreler, küçük, hafif, sabit hacimde ve çoğunlukla camdan yapılmış kaplardır. Aynı hacimdeki su ve sıvıların sabit derecedeki ağırlıkları doğrudan tartılır. Özgül ağırlık, perlit tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada, perlitin özgül ağırlık faktörleri TS 3234’da



belirtilen piknometre esasına göre, deneysel olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmektedir.

$$\text{Özgül ağırlık} = (PD - P) / [(PD - P) - (PSD - SP)]$$

Bu eşitlikte geçen;

PD: “Piknometre + deney numunesi” toplam ağırlığı (kg),

P: Piknometre ağırlığı (kg),

PSD: “Piknometre + su + deney numune” toplam ağırlığı (kg),

SP: Su ile dolu piknometre ağırlığıdır (kg),

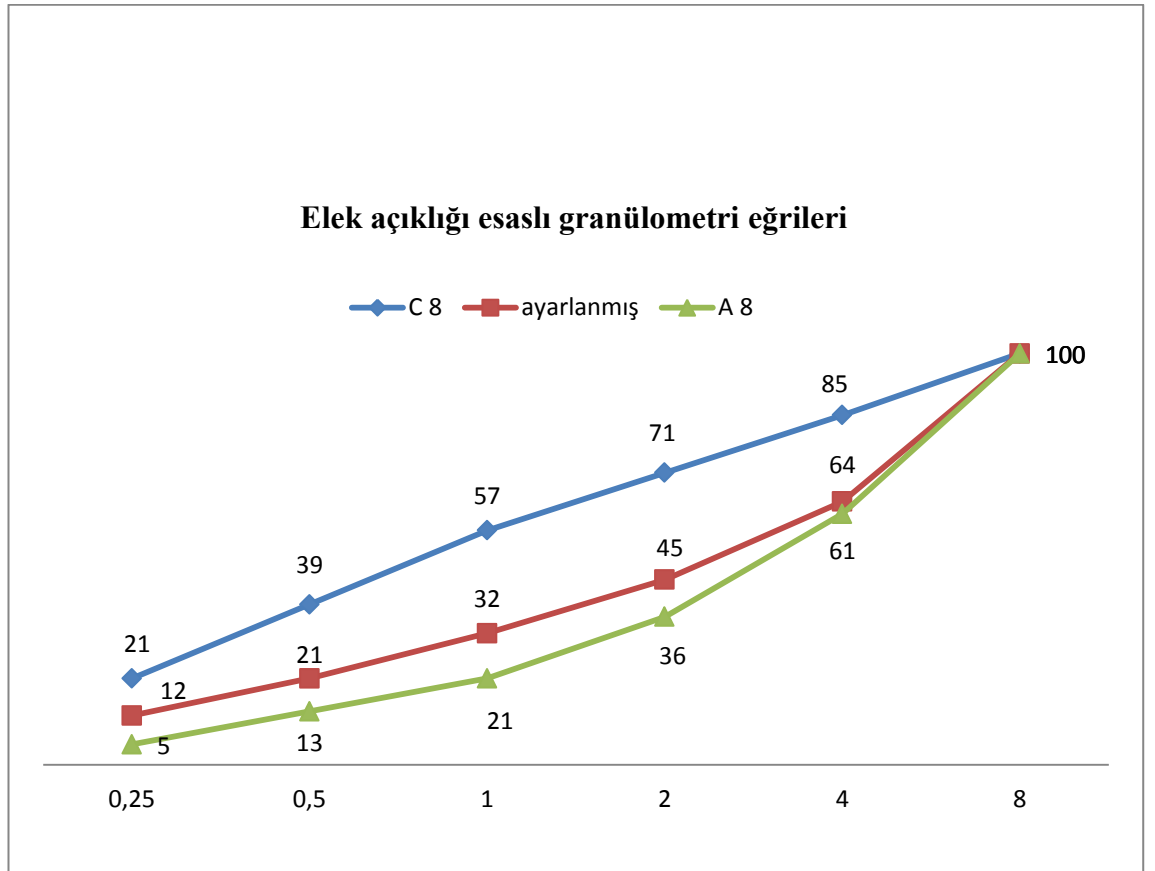
Elde edilen perlit farklı sınıftaki tanelerinin özgül ağırlık değerleri “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde incelenmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde agrega ve beton deneyleri ile ilişkin elde edilen sonuçlar detaylı olarak verilmiştir. Sonuçlar çizelge ve şekiller ile değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Agrega Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma

Bu araştırmadaki hafif agregalı numune betonlarının üretiminde %100 oranında Erzincan Mollaköy ham perlit agregası kullanılmıştır. Hafif agrega için yapılan elek analizi sonuçları Çizelge 4.1’de granülometri ve ayarlanmış granülometri eğrisi de TS 802 (1985)’de verilen standart eğrilerle beraber Şekil 4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** TS 802 (1985)’de belirlenen maksimum tane boyutu ile ilişkin eğri

Şekil 4.1'deki gibi TS 802'e uygun agrega tane sınıflarının miktarı belirlenirken, ayarlanmış granülometri eğrisine başvurulmuştur. Hafif betonlarda ideal bir karışım ve işlenebilirlik için gerekli ince agrega miktarı %40 ile %65 arasında olması önerilmektedir. Bir çok araştırmacı ise, işlenebilir yüksek dayanımlı hafif beton üretimi için ince agrega oranının %50 veya daha fazla olması gerektiği tespit edilmiştir (Ulus 2007).

Buna göre, ağırlıkça 0–2 mm tane sınıfı ince agregadan %45, 2–4 mm tane sınıfı ince agregadan %19, 4–8 mm tane sınıfı iri agregadan %36 oranlarında malzeme karışıma eklenmiştir.

**Çizelge 4.1.** Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının elek analizi

<b>Elek Açıklığı (mm)</b>	<b>Elek Üzerinde kalan (kg)</b>	<b>Kümülatif Toplam (kg)</b>	<b>Kalan (%)</b>	<b>Geçen (%)</b>
8	0	0	0	100
4	0,220	0,220	11	89
2	0,420	0,640	32	68
1	0,600	1,240	62	38
0.5	0,540	1,780	89	11
0.25	0,160	1,940	97	3
Tava	0,060	2	100	0
İncelik Modülü: 2,91				

#### 4.1.2. Gevşek birim ağırlığı

Anonim (2004)'de, tane yoğunluğu  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ü veya gevşek yığın yoğunluğu  $1200 \text{ kg/m}^3$ 'ü aşmayan mineral kökenli agregalar hafif agrega olarak tanımlanmaktadır.

Bulunan bu değerler Anonim (2004)'de hafif agrega için belirtilen sınırlar içerisinde kaldığından, çalışmada kullanılan perlitin standarttaki hafif agrega tanımına uyduğu anlaşılmaktadır. Perlit agregasına ait kuru birim hacim ağırlıklar izelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının gevşek birim ağırlığı

<b>Tane Sınıfı (mm)</b>	<b>Gevşek Birim Ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)</b>
0-2	1123,67
2-4	1086,23
4-8	1035,44

#### **4.1.3. Özgöl ağırlık**

Hafif agregalı betonlarda karışım hesapları için önemli bir parametre olan özgöl ağırlık faktörü özgöl ağırlıktan farklı olmasına rağmen hesap yapılırken özgöl ağırlık gibi kullanılabilen bir büyüklüktür. Özgöl ağırlık faktörünü değerini bulmak için TS 3234 (1978)'te belirtilen piknometre yöntemi gösterilmiştir. Bu deneylerde kullanılan perlit agregasının her bir tane sınıfı için elde edilen özgöl ağırlık faktörü değerleri izelge 4.3'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının özgöl ağırlık faktörü değerleri

<b>Tane Sınıfı (mm)</b>	<b>Hafif Agreganın Nemli Durumdaki 10 Dakikalık Özgöl Ağırlık Faktörü</b>
0-2	2,09
2-4	2,03
4-8	1,98

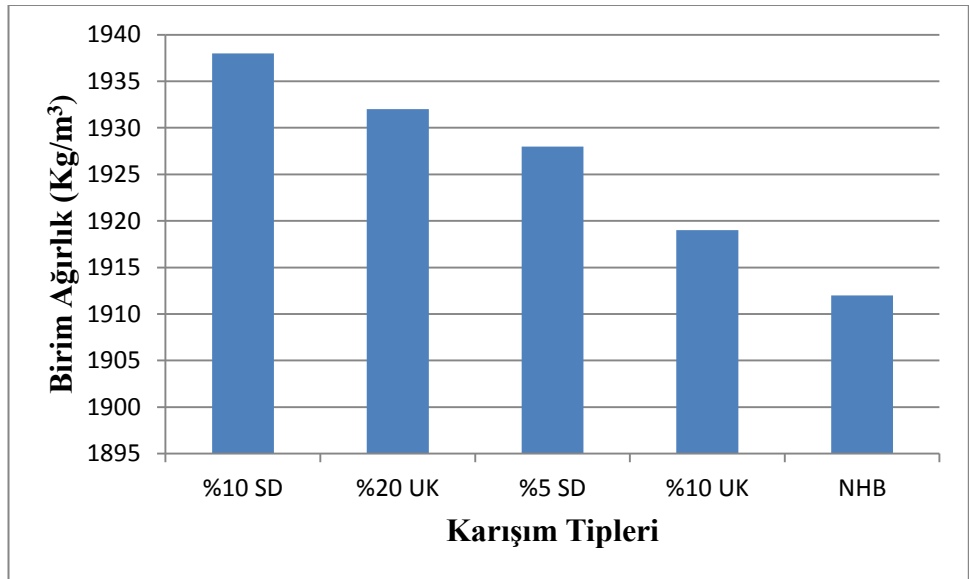
#### 4.2. Taze Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma

Üretilmiş taze beton numuneleri üzerinde yapılan birim ağırlığı deney sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Taze beton birim ağırlık sonuçları

Karışım Tipi	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
%10 SD ilaveli hafif beton	1938
%20 UK ilaveli hafif beton	1932
%5 SD ilaveli hafif beton	1928
%10 UK ilaveli hafif beton	1919
Mineral katkısız hafif beton	1912

Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi uçucu kül ve silis dumanı ilaveli betonlarda birim ağırlık değerlerinde bir artış izlendi. Karışım tiplerine göre birim ağırlığı değerleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.2.** Taze betonda karışım tiplerine göre birim ağırlığı değerleri

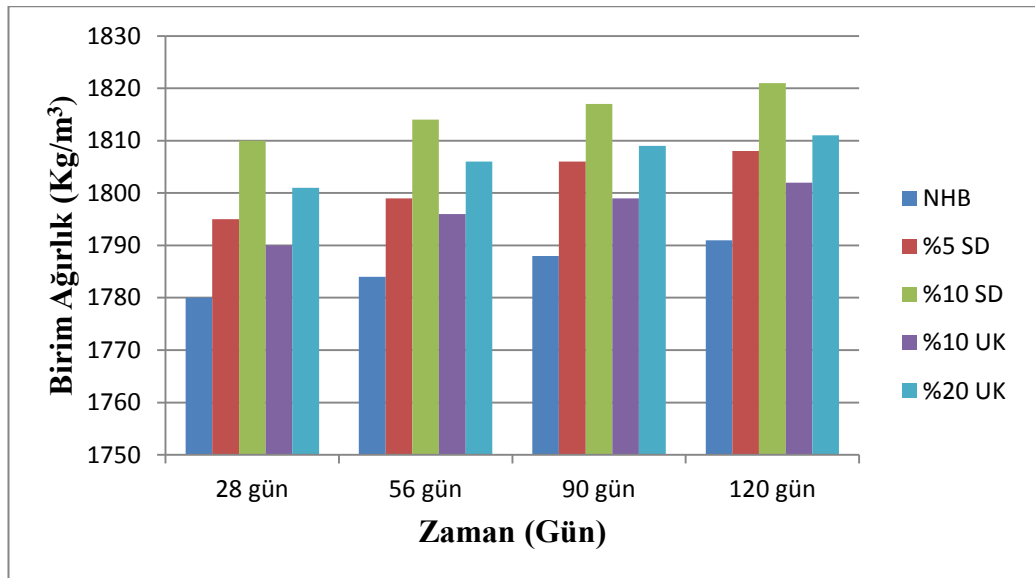
SD ve UK ile birlikte beton birim ağırlıklarında bir artışın meydana gelmesi SD ve UK tane etkilerini göstermektedir. SD ve UK'ün çimentodan çok daha ince olması nedeniyle bu malzemeler çimento taneleri arasında kalan boşlukları doldurarak daha yoğun bir beton yapısının ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Topçu ve Canbaz 2001).

### 4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda hazırlanan beton numunelerine, deney programında tasarlandığı gibi basınç dayanımı, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı gibi sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Çalışmada perlit agregası ile üretilen hafif betonun mekanik özellikleri ve deney sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

#### 4.3.1. Birim ağırlık ile ilgili bulgular ve tartışma

Bu çalışmada, üretilen Erzincan perlit hafif agregalı beton numunelerinde farklı sürelerde birim ağırlıkta meydana gelen değişiklikler Şekil 4.3'te incelenmiştir.



Şekil 4.3. Standart kür koşulundaki numunelerin birim ağırlıkları

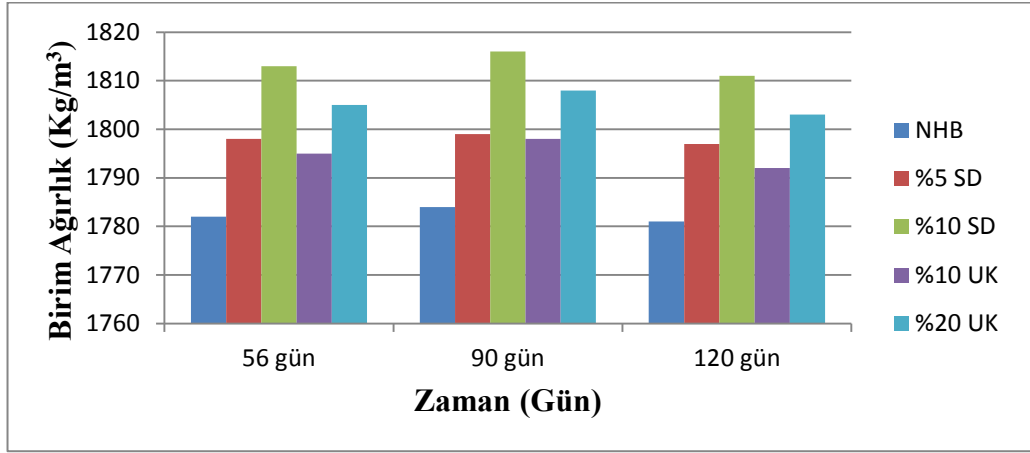
**Çizelge 4.5.** Standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri

<b>Zaman (Gün)</b>	<b>Normal katkısız (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>%5 SD ilaveli (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>%10 SD ilaveli (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>%10 UK ilaveli (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>%20 UK ilaveli (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>28</b>	1780	1795	1810	1790	1801
<b>56 (28+28)</b>	1784	1799	1814	1796	1806
<b>90</b>	1788	1806	1817	1799	1809
<b>120</b>	1791	1808	1821	1802	1811

Şekil 4.3'teki 28, 56, 90 ve 120 günlük birim ağırlık deney sonuçlarına göre, %10 oranında silis dumanı içeren numuneler, en yüksek birim ağırlığa sahip olmaktadır. Bunu sırasıyla %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımları takip etmiştir.

Grafikten görüleceği üzere maksimum birim ağırlık değeri 120 gün süreyle standart su kürüne maruz bırakılan %10 SD ilaveli numunelerde 1821 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu birim ağırlık değerinin, hafif beton tanımlaması için Anonim (2002)'de 1850 kg/m<sup>3</sup> olarak ifade edilen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

Şekil 4.4'de 56, 90 ve 120 günlerde %5 nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerde kaydedilen birim ağırlık değerlerinin grafiksel olarak değerlendirilmesi görülmektedir.



**Şekil 4.4.** %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen numunelerin birim ağırlıkları

**Çizelge 4.6.** %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri

Zaman (Gün)	Normal katkısız (Kg/m <sup>3</sup> )	%5 SD ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )	%10 SD ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )	%10 UK ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )	%20 UK ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )
56 (28+28)	1782	1798	1813	1795	1805
90	1784	1799	1816	1798	1808
120	1781	1797	1811	1792	1803

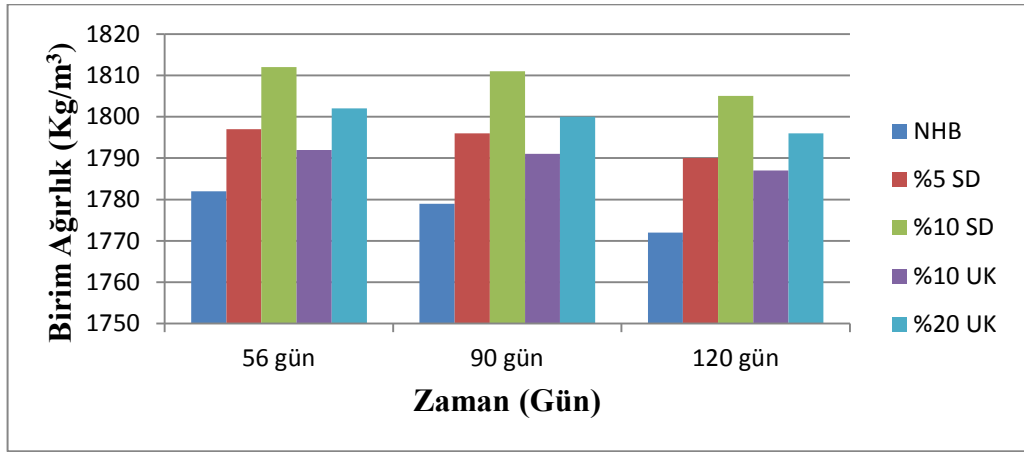
Şekil 4.4'de %5 nitrik asit çözeltisi ortamında tutulan numunelerin 56. gündeki en düşük birim ağırlık değeri, mineral katkı içermeyen numunelerde görüldü. Bunu sırasıyla %10 uçucu kül ilaveli, %5 silis dumanı içeren, %20 uçucu kül ilaveli ve %10 silis dumanı ilaveli numuneler izlemektedir.

%5 Nitrik asit çözeltisine maruz numunelerin birim ağırlık değerlerinin 56, 90 ve 120. güne kadar az miktarda arttığı görülmektedir ve bu artış değerleri 120. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin birim ağırlığına oranla daha düşüktür.



Bu durum şöyle açıklanabilir; Nitrik asidin betondaki bileşenlerle tepkimeye girip, ufalanmaya neden olmasıyla betonun birim ağırlığı düşer. Katkı maddeler, hidrasyon ürünlerini arttırarak betonun porozitesini azaltmakta, mikro agrega etkisi yaparak tane dağılımını düzenlemekte ve optimum sıkışmayı sağlamaktadır. Böylelikle betonun dış etkilere karşı dayanıklılığını artırmaktadır (Ünal 2004).

Şekil 4.5’de 56, 90 ve 120 günlerde %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerinde kaydedilen birim ağırlık değerleri grafiksel olarak değerlendirilmesi görülmektedir.



Şekil 4.5. %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen numunelerin birim ağırlıkları

Çizelge 4.7. %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri

Zaman (Gün)	Normal katkısız (Kg/m <sup>3</sup> )	%5 SD ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )	%10 SD ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )	%10 UK ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )	%20 UK ilaveli (Kg/m <sup>3</sup> )
56 (28+28)	1781	1797	1812	1792	1802
90	1779	1796	1811	1791	1800
120	1772	1790	1805	1787	1796

Şekil 4.5’de %5 sülfürik asit çözeltisi ortamında tutulan numunelerin 56. gündeki en düşük birim ağırlık değeri mineral katkı içermeyen numunelerde müşahede edildi. Bunu sırasıyla %10 uçucu kül ilaveli, %5 silis dumanı içeren, %20 uçucu kül ilaveli ve %10 silis dumanı ilaveli numuneler takip etmektedir.

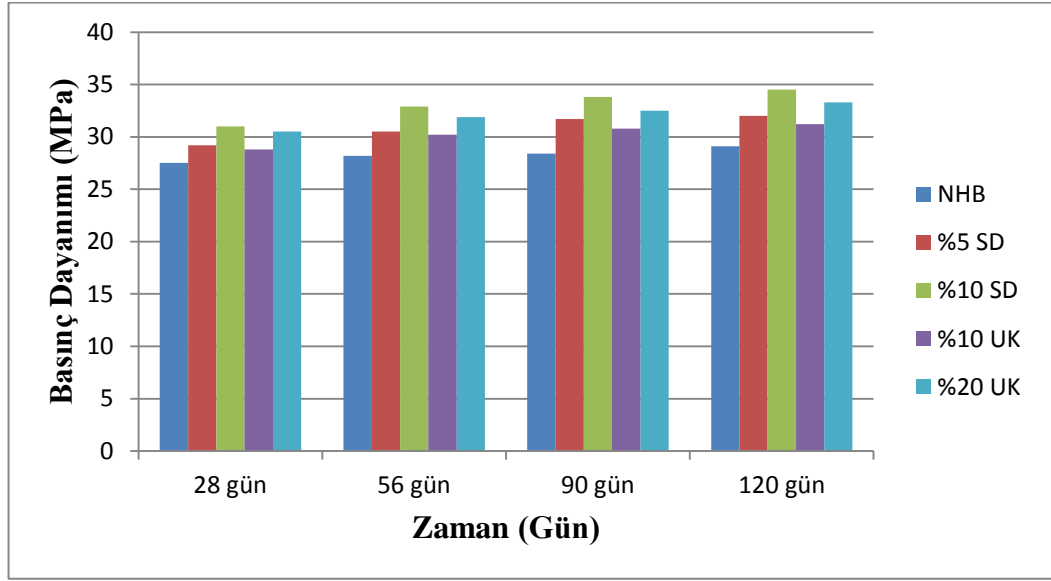
%5 Sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan numunelerin, birim ağırlık değeri 56. güne kadar çok küçük miktarda arttığı görülmektedir ve bu artış değerleri 56. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin birim ağırlıklarına göre daha düşüktür.

90. gündeki sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan numunelerin birim ağırlık değerleri 56. gündeğine göre daha düşüktür. Yani 56. günden itibaren bu çözeltide tutulan numunelerin birim ağırlık değerlerinde düşüş gözlenmeye başlamıştır.

120. gündeki sülfürik asit çözeltisindeki numunelerin birim ağırlıkları, 28. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin birim ağırlıklarından daha düşük değerlere inmiştir. Bu sonuçlar, sülfirik asitin çözme etkisinin, nitrik aside göre daha kuvvetli olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, iyon değiştirme ile birlikte sülfat saldırısının meydana gelmesidir. Tüm bunların sonucunda, beton numularının birim ağırlığında azalış, nitrik asit ortamı ve normal şartlardaki düşüşe oranla daha yüksektir (Baradan vd 2010).

#### **4.3.2. Basınç dayanımı ile ilgili bulgular ve tartışma**

Şekil 4.6’da 28, 56, 90 ve 120. günlerde standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerinde kaydedilen basınç dayanımı değerleri grafiksel olarak değerlendirilmesi görülmektedir.



Şekil 4.6. Standart kür havuzundaki beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.8. Standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

Zaman (Gün)	Normal katkısız (MPa)	%5 SD ilaveli (MPa)	%10 SD ilaveli (MPa)	%10 UK ilaveli (MPa)	%20 UK ilaveli (MPa)
28	27,5	29,2	31	28,8	30,5
56 (28+28)	28,2	30,5	32,9	30,2	31,9
90	28,4	31,7	33,8	30,8	32,5
120	29,1	32	34,5	31,2	33,3

Şekil 4.6'daki, 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, %10 oranında silis dumani içeren numuneler en yüksek basınç dayanımına sahip olmaktadır. Bunu sırasıyla %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumani içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımları takip etmektedir.

28. gündeki mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımı, %10 silis dumani ilaveli numunelerden %12,7, %20 uçucu kül içeren numunelerden %10, %5 silis

dumanı ilaveli numunelerden %6 ve %10 uçucu kül ilaveli numunelerden %4 oranında daha düşüktür.

56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında sırasıyla; %6, %4, %4, %4, %2 oranında bir artış görülmüştür.

90. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında sırasıyla; %9, %6, %8, %6, %3 oranında bir artış görülmüştür.

120. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre %10 oranında silis dumanı ilaveli, %20 oranında uçucu kül ilaveli, %5 oranında silis dumanı ilaveli, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında sırasıyla %11, %9, %9, %8, %5 oranında bir artış görülmüştür.

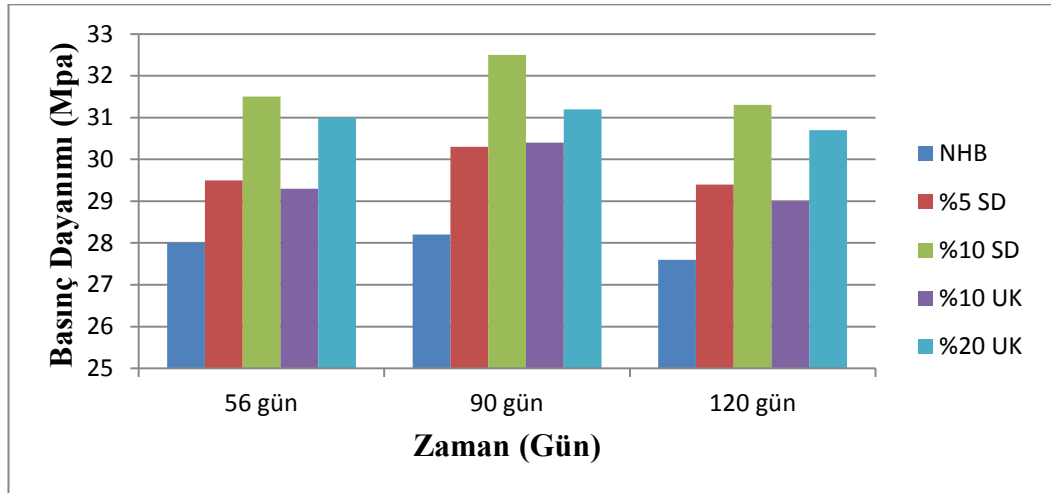
Sonuçlarda belirlendiğine göre, 56, 90 ve 120. gündeki basınç dayanımlarında bir artış görülmektedir bu artışın nedeni, beton numunelerin zaman geçmesiyle birlikte normal standart kür şartları altında dayanımlarının doğal olarak yükselmesidir.

Araştırmalar ağırlıkça %20 oranında UK kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından daha açık sonuçlar verdiğini göstermiştir (Topçu ve Canbaz 2001).

UK ilave edilen betonun yaşı ilerledikçe dayanımın önemli miktarlarda artış göstermesinin nedeni olarak, UK'nin zaman içerisinde puzolanik reaksiyonlar sayesinde çimentonun bünyesinde bulunan serbest kireci bağlayarak ikincil reaksiyonları başlatması ve böylece hidrate ürünlerin artması nedeniyle ileriki yaşlardaki basınç dayanımının artması gösterilebilir (Uysal 2010).

Silis dumanı katkısı diğer puzolanlar gibi yeni CSH jelleri oluşmasını sağlamaları yanı sıra ince silis dumanı taneleri agrega hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını artırırlar. Bazı araştırmacılara göre silis dumanı katkısının beton dayanımına olan olumlu etkisi agrega hamur ara yüzeyini kuvvetlendirmesinden dolayıdır. Diğer taraftan en önemli faktörün daha sıkı ve kaliteli bir çimento hamuru oluşması olduğu da öne sürülmektedir (Demir 2009).

Şekil 4.7’de 56, 90 ve 120 günlerde %5 nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerde kaydedilen basınç dayanımı değerleri grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.7. %5 Nitrik asit çözeltisindeki beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.9. %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

Zaman (Gün)	Normal katkısız (MPa)	%5 SD ilaveli (MPa)	%10 SD ilaveli (MPa)	%10 UK ilaveli (MPa)	%20 UK ilaveli (MPa)
56 (28+28)	28	29,5	31,5	29,3	31
90	28,2	30,3	32,5	30,4	31,2
120	27,6	29,4	31,3	29	30,7

Şekil 4.7’de %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin basınç dayanımı değerleri gösterilmektedir. Numunelerin birkaç tanesi, 28 gün sonra normal standart kür koşulundan çıkarılmış ve %5 nitrik asit çözeltisinde 120. güne kadar bekletilmiştir.

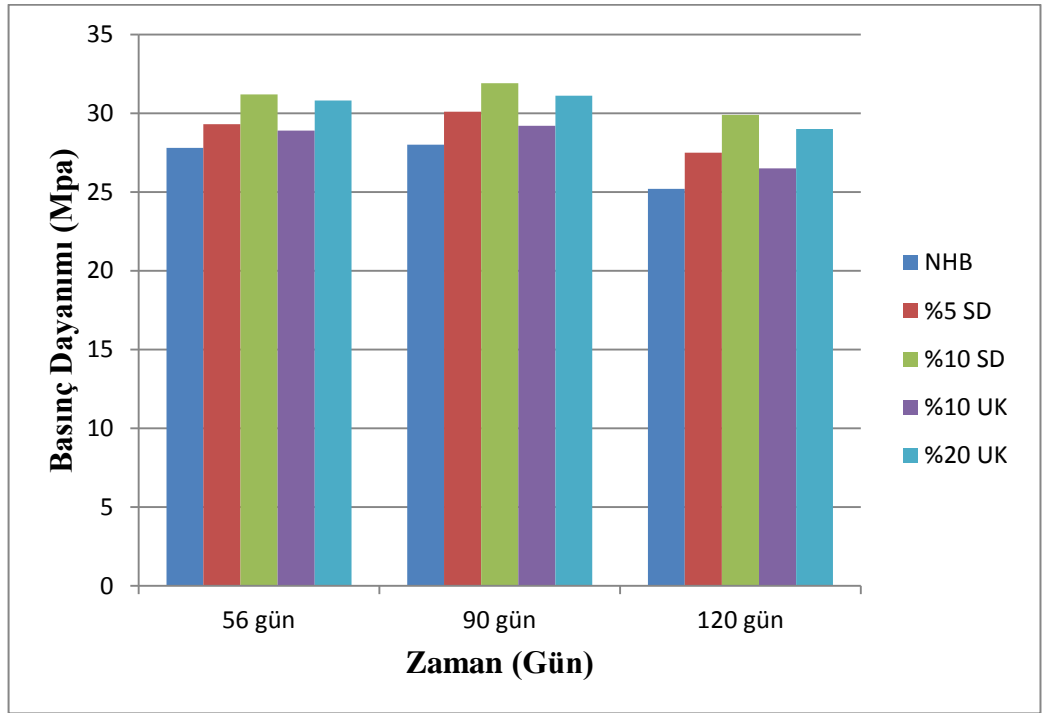
56. gündeki %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin basınç dayanımlarında 28. gün standart kür havuzunda bekletilen numunelere göre, %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımların tümünde %2 oranında bir artış görülmüştür ve bu artış değerleri 56. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin artışına göre sırasıyla %4, %2, %2, %2, %1 oranından daha düşüktür.

90. gündeki %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin basınç dayanımlarında 28. gün standart kür havuzunda bekletilen numunelere göre, %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numuneler basınç dayanımlarında sırasıyla %4, %2, %4, %3, %2 oranında bir artış görülmüştür ve bu artış değerleri 90. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin artışına göre sırasıyla %5, %4, %4, %3, %1 oranında daha düşüktür.

120. gündeki %5 nitrik asit çözeltisine maruz beton numunelerin basınç dayanımlarında 28. gün standart kür havuzunda bekletilen numunelere göre %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında sırasıyla %0,9, %0,6, %0,6, %0,6, %0,3 oranında çok küçük bir artış görülmüştür ve bu artış değerleri 120. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin basınç dayanımı artışına göre sırasıyla %10,91, %8,94, %8,94, %7,94, %4,97 oranında daha düşüktür.

Sonuçlarda görüldüğü gibi 120. gündeki %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin basınç dayanımı ile 28. gündeki basınç dayanımını kıyasladığımızda fark neredeyse sıfırdır. Betonun geçirgenliği ve  $\text{Ca(OH)}_2$  içeriği betonun birçok kimyasala karşı direncinde rol oynayan iki faktördür. SD ve UK kullanılarak  $\text{Ca(OH)}_2$  içeriği ve geçirgenliliğin azaltılması sağlanmaktadır. Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında, silis dumanının betonda kullanımının betonun direncini amonyum nitrat, sülfürik asit, hidroklorik asit, asetik asit, laktik asit gibi birçok solusyona karşı artırdığı görülmüştür (Malhotra 1997).

Şekil 4.8'de 56, 90, 120. günlerde %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerinde kaydedilen basınç dayanımı değerleri grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.8. %5 Sülfürik asit çözeltisindeki beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

**Çizelge 4.10.** %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

<b>Zaman (Gün)</b>	<b>Normal katkısız (MPa)</b>	<b>%5 SD ilaveli (MPa)</b>	<b>%10 SD ilaveli (MPa)</b>	<b>%10 UK ilaveli (MPa)</b>	<b>%20 UK ilaveli (MPa)</b>
<b>56 (28+28)</b>	27,8	29,3	31,2	28,9	30,8
<b>90</b>	28	30,1	31,9	29,2	31,1
<b>120</b>	25,2	27,5	29,9	26,5	29

Şekil 4.8’de %5 sülfürik asit çözeltisine maruz beton numunelerin basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Numunelerin bir kaç tanesi, 28 gün sonra normal standart kür koşulundan çıkarılmış ve %5 Sülfürik asit çözeltisinde 120. güne kadar bekletilmiştir.

56. gündeki %5 sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin basınç dayanımlarında 28. gün standart kür havuzunda bekletilen numunelere göre çok küçük bir oranda artış meydana geldiği görülmüştür.

90. gündeki %5 sülfürik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin basınç dayanımlarında 28. gün standart kür havuzunda bekletilen numunelere göre %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numuneler basınç dayanımlarında sırasıyla %3, %2, %3, %1, %2 oranında bir artış görülmüştür ve bu artış değerleri 90. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin artışına göre sırasıyla; %6, %4, %5, %5, %1 oranında daha düşüktür.

120. gündeki %5 sülfürik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin basınç dayanımlarında 28. gün standart kür havuzunda bekletilen numunelere göre %10 oranında silis dumanı içeren, %20 oranında uçucu kül içeren, %5 oranında silis dumanı içeren, %10 oranında uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç

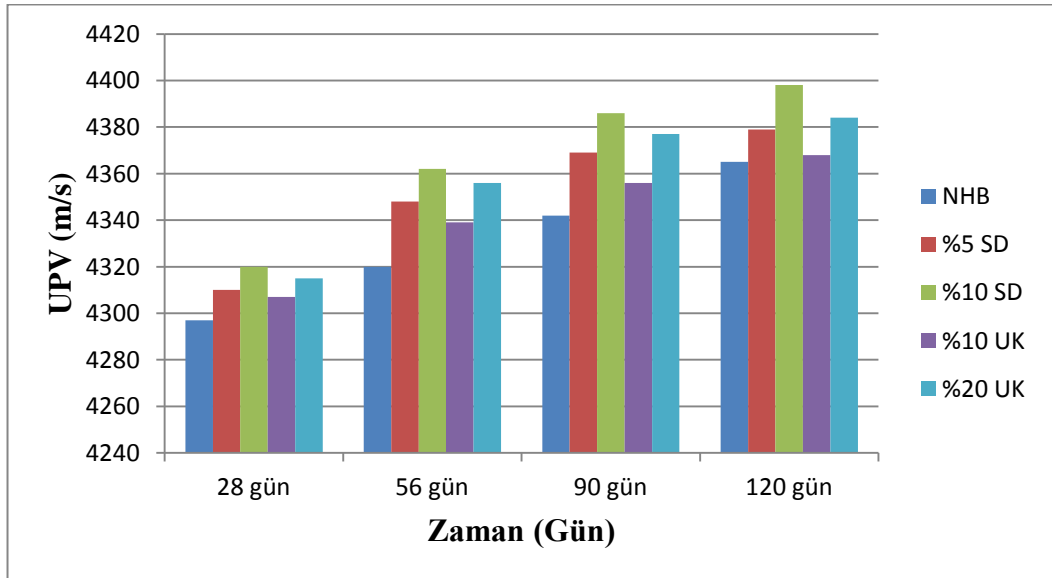


dayanımlarında sırasıyla %4, %5, %6, %3, %10 oranında bir düşüş görülmüştür ve bu düşüşün sebebi; sülfat ortamında betonun zarar görmesi ve dayanım kaybının oluşması olarak ifade edilebilir. Silis dumanı ile elde edilen betonun sülfata karşı direnci iyileşmektedir.

UK ve SD oranları belirli bir sınıra kadar (SD %10 ve UK %20 ilaveli betonda) arttıkça dayanım kayıplarında bir miktar azalma söz konusudur (Topçu ve Canbaz 2001). UK ve SD'nin bu yararlı etkileri, puzolanik reaksiyon neticesinde,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in azalması ve bunun neticesinde daha geçirimsiz bir beton üretilmesi ile açıklanabilir (Yiğiter vd 2006).

#### 4.3.3. Ultrases geçiş hızı ile ilgili bulgular ve tartışma

Şekil 4.9'da 28, 56, 90 ve 120. günlerde standart kür havuzunda bekletilen beton numunelerinde kaydedilen ultrases geçiş hızları grafiksel olarak değerlendirilmesi görülmektedir.



Şekil 4.9. Standart kür havuzunda bekletilen beton numunelerinin ultrases geçiş hızları

**Çizelge 4.11.** Standart kür koşulunda tutulan beton numunelerin ultrases geçiş hız değerleri

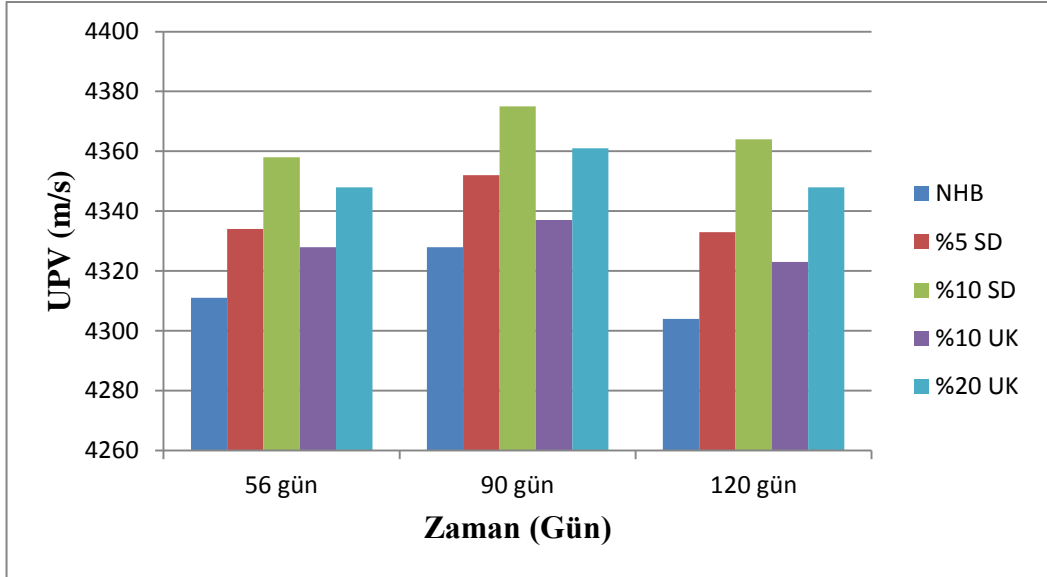
<b>Zaman (Gün)</b>	<b>Normal katkısız (m/s)</b>	<b>%5 SD ilaveli (m/s)</b>	<b>%10 SD ilaveli (m/s)</b>	<b>%10 UK ilaveli (m/s)</b>	<b>%20 UK ilaveli (m/s)</b>
<b>28</b>	4297	4310	4320	4307	4315
<b>56 (28+28)</b>	4320	4348	4362	4339	4356
<b>90</b>	4342	4369	4386	4356	4377
<b>120</b>	4365	4379	4398	4368	4384

Standart kür havuzundaki numunelerin 28. gündeki en yüksek ultrases geçiş hızı, %10 silis dumanı ilaveli numunelerde müşahade edildi. Bunu sırasıyla %20 uçucu kül ilaveli, %5 silis dumanı ilaveli, %10 uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numuneler takip etmektedir.

28. gündeki en yüksek ultrases geçiş hızına sahip, %10 silis dumanı içeren numunelerle en düşük geçiş hızına sahip mineral katkı içermeyen numuneler arasında yaklaşık 20 m/s fark vardır ve tüm numunelerin ultrases geçiş hızlarının birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.

Numunelerin ultrases değerlerinde 28. güne göre 56. günde çok küçük bir artış, 90. günde yaklaşık %1,5 oranında artış ve 120. günde yaklaşık %2 oranında artış meydana gelmiştir. Yani 28. günden sonraki ultrases ölçümleri 28. gündeki değerlere yakındır. Numunelerde basınç dayanımı yüksek olan numunenin ultrases geçiş hızının da fazla olduğu görülmektedir. Betonda UK ve SD'nin kullanılması akışkanlığı artırmasından dolayı betondaki boşluk miktarının azalmasıdır (Kılıç ve Kadayıfçı 2007).

Şekil 4.10'da 56, 90 ve 120. günlerde %5 nitrik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerinde kaydedilen ultrases geçiş hızları, grafiksel olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.10. %5 Nitrik asit çözeltisindeki beton numunelerin ultrases geçiş hızı

Çizelge 4.12. %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin ultrases geçiş hız değerleri

Zaman (Gün)	Normal katkısız (m/s)	%5 SD ilaveli (m/s)	%10 SD ilaveli (m/s)	%10 UK ilaveli (m/s)	%20 UK ilaveli (m/s)
56 (28+28)	4311	4334	4358	4328	4348
90	4328	4352	4375	4337	4361
120	4304	4333	4364	4323	4348

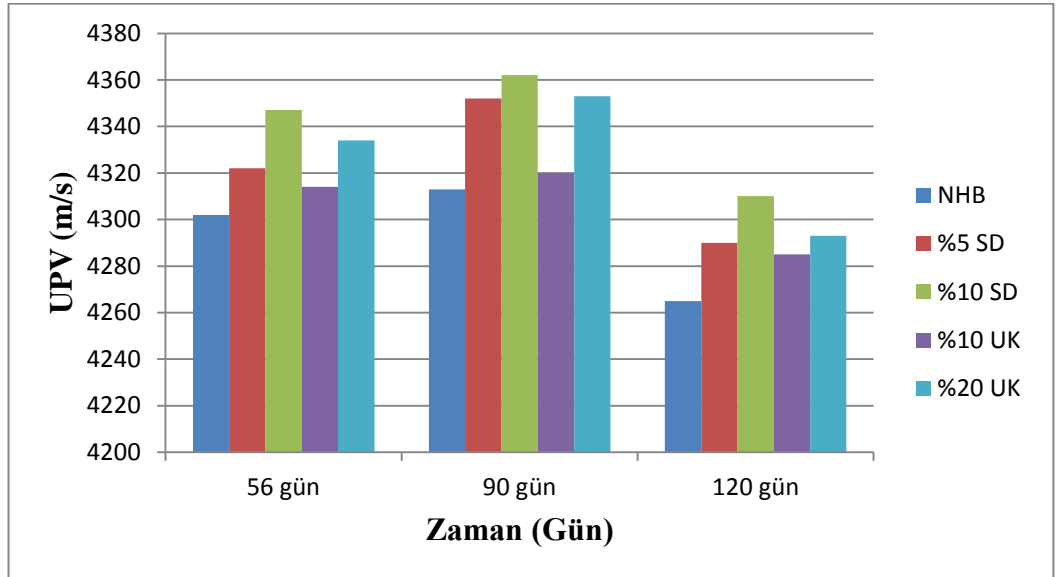
Şekil 4.10'da %5 nitrik asit çözeltisi ortamında tutulan numunelerin 56. gündeki en düşük ultrases geçiş hızı mineral katkı içermeyen numunelerde izlendi. Bunu sırasıyla

%10 uçucu kül ilaveli, %5 silis dumanı içeren, %20 uçucu kül ilaveli ve %10 silis dumanı ilaveli numuneler takip etmektedir.

%5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin ultrases geçiş hızları 56 ve 90. güne kadar az miktarda (yaklaşık %1 oranında) arttığı görülmektedir ve bu artış değerleri 90. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin ultrases hız geçiş artışına göre yaklaşık %1 oranında daha düşüktür.

120. gündeki %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin ultrases geçiş hızları 90. gündekine göre daha düşüktür. Başka bir ifade ile; nitrik asit çözeltisinde tutulan numunelerin 90. güne kadar ultrases geçiş hızlarında bir artış görülmüştür ve 90. günden itibaren düşmeye başlamıştır. Fakat, 120. gündeki nitrik asit çözeltisindeki bu numunelerin ultrases geçiş hızlarında 28. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin ultrases geçiş hızlarına göre çok küçük bir oranda artış vardır.

Şekil 4.11'de 56, 90 ve 120 günlerde %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerde kaydedilen ultrases geçiş hızları grafiksel olarak görülmektedir.



**Şekil 4.11.** %5 Sülfürik asit çözeltisindeki beton numunelerin ultrases geçiş hızları

**Çizelge 4.13.** %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin ultrases geçiş hız değerleri

<b>Zaman (Gün)</b>	<b>Normal katkısız (m/s)</b>	<b>%5 SD ilaveli (m/s)</b>	<b>%10 SD ilaveli (m/s)</b>	<b>%10 UK ilaveli (m/s)</b>	<b>%20 UK ilaveli (m/s)</b>
<b>56 (28+28)</b>	4302	4322	4347	4314	4334
<b>90</b>	4313	4352	4362	4320	4353
<b>120</b>	4265	4290	4310	4285	4293

Şekil 4.11’de %5 Sülfürik asit çözeltisi ortamında tutulan numunelerin 56. gündeki en düşük ultrases geçiş hızı mineral katkı içermeyen numunelerde görüldü. Bunu sırasıyla %10 uçucu kül ilaveli, %5 silis dumanı içeren, %20 uçucu kül ilaveli ve %10 silis dumanı ilaveli numuneler takip etmektedir.

%5 Sülfürik asit çözeltisine maruz numunelerin ultrases geçiş hızlarının 56 ve 90. güne kadar çok küçük miktarda (yaklaşık %0,05 oranında) arttığı görülmektedir ve bu artış değerleri 90. gündeki standart kür koşulunda ve nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan numunelerin ultrases geçiş hız artışlarına göre sırasıyla yaklaşık %1,5 ve %0,5 oranında daha düşüktür.

120. gündeki sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerin ultrases geçiş hızları 90. günde göre daha düşüktür. Bir başka ifadeyle sülfürik asit çözeltisinde tutulan numunelerin 90. güne kadar ultrases geçiş hızlarında bir artış görülmüştür ve 90. günden itibaren düşmeye başlamıştır ve 120. gündeki sülfürik asit çözeltisindeki bu numunelerin 28. gündeki standart kür koşulunda bekletilen numunelerin ultrases geçiş hızlarına göre çok küçük bir miktarda (yaklaşık %0,5 oranda) azaldığı görülmüştür.

#### 4.3.4. Su emme ile ilgili bulgular ve tartışma

Kılcal su emmede deneyinde, 24 saat boyunca etüvde kurutulan beton numuneleri 1g hassasiyetli terazi de tartıldı. Daha sonra kuru beton numuneleri 5 mm su içerisinde bırakılarak 24 saat bekletildikten sonra su içerisinde çıkarılarak tekrar tartıldı. Bu sonuçlar dahilinde aşağıdaki şekiller ve çizelgelerde görülen değerler elde edildi.



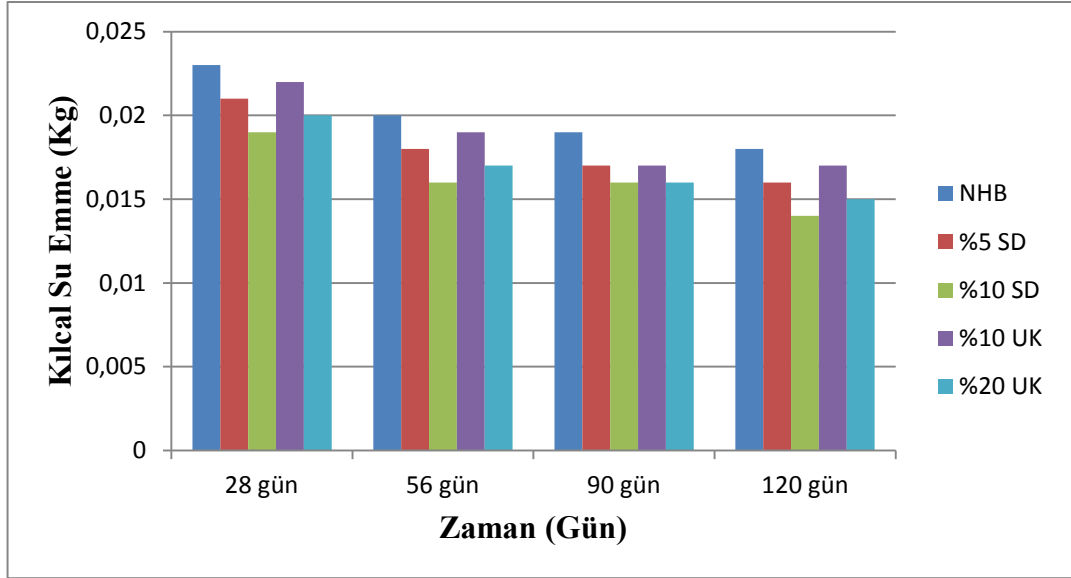
**Şekil 4.12.** Kılcal su emme deneyi

Çizelgelerde görüldüğü gibi numunelerin kılcal ve hacimsel su emme oranlarından, %10 silis dumanı içeren numuneler kılcal ve hacimsel su emme oranları en düşük olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla %20 uçucu kül ilaveli, %5 silis dumanı ilaveli, %10 uçucu kül ilaveli ve mineral katkı içermeyen numuneler izlemektedir.

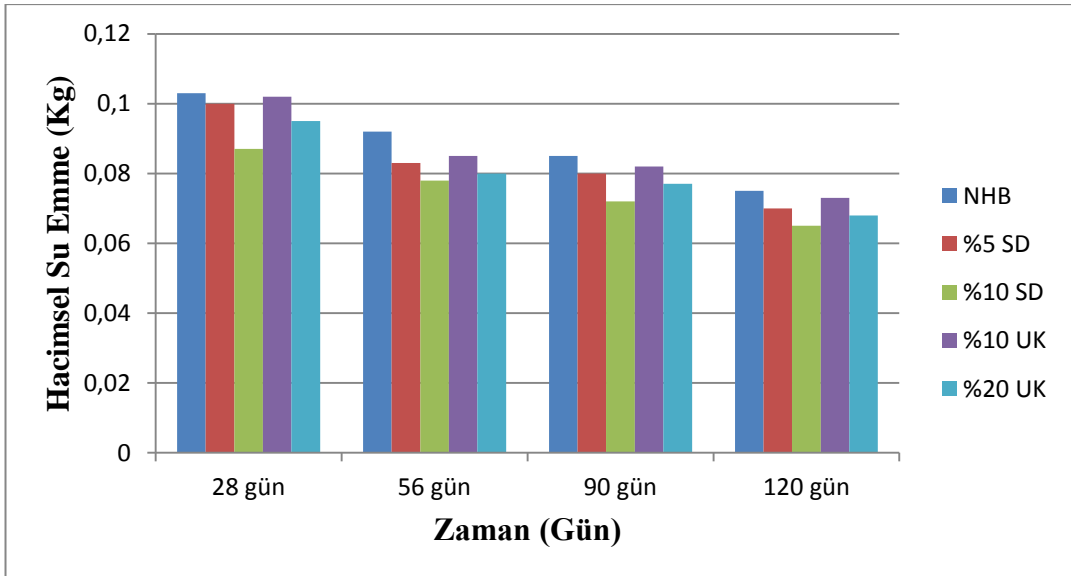
Mineral katkısız beton numunelerinde en fazla su emme değerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca sülfürik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerinin asitik açısından daha agresif bir ortamda olmalarından dolayı en fazla hasarı görmüşler ve sonuçta en fazla kılcal ve hacimsel su emme değerlerine sahip olmuşlardır.

Genel olarak betonların su emme ve görünür boşluk oranı değerleri paralel bir şekilde artmaktadır (Yıldırım 2002). Kılcal geçirimsizlik katsayısı durabilitenin bir göstergesi

olarak kabul edilirse uçucu külün etkisi kesinlikle olumlu görülmüştür. Uçucu kül ikamesi, kılcal geçirirliliği azaltmaktadır (Sumer1998).



Şekil 4.13. Standart kür koşulunda tutulan beton numunelerin kılcal su emme değerleri

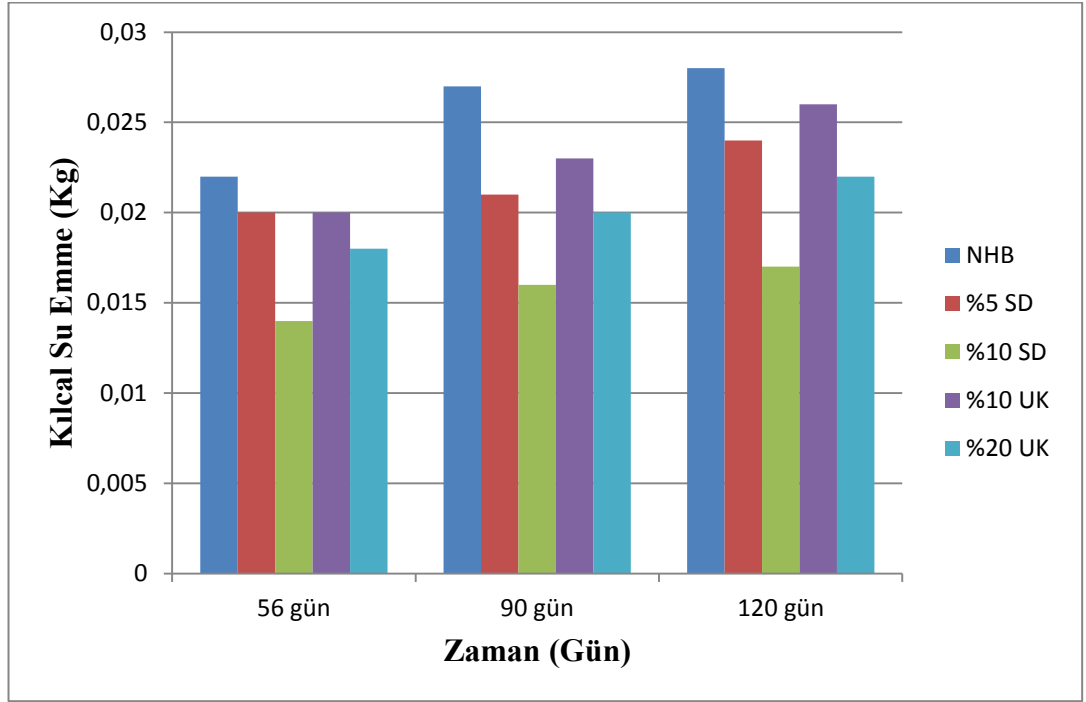


Şekil 4.14. Standart kür koşulunda tutulan beton numunelerin hacimsel su emme değerleri

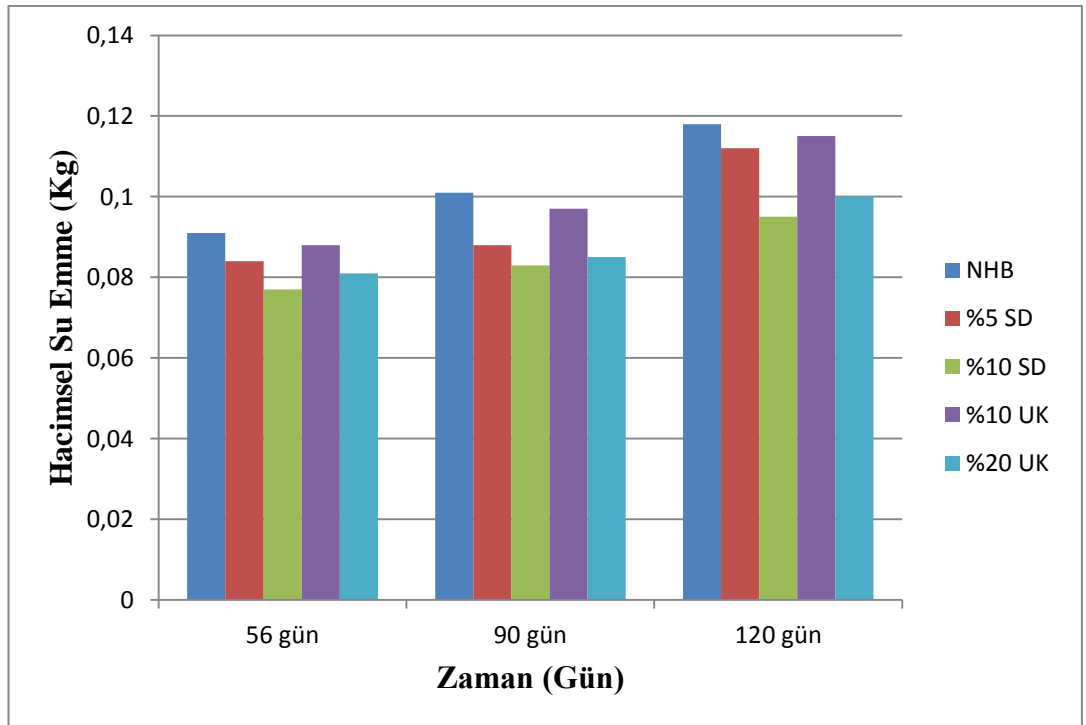
**Çizelge 4.14.** Standart kür koşulunda bekletilen beton numunelerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri

<b>Deney – Gün</b>	<b>Normal katkısız (Kg)</b>	<b>%5 SD ilaveli (Kg)</b>	<b>%10 SD ilaveli (Kg)</b>	<b>%10 UK ilaveli (Kg)</b>	<b>%20 UK ilaveli (Kg)</b>
<b>Kuru ağırlık-28</b>	2,7946	2,81815	2,8417	2,8103	2,82757
<b>Kılcal su emme-28</b>	0,023	0,021	0,019	0,022	0,020
<b>Toplam ağırlık-28</b>	2,8176	2,83915	2,8607	2,8323	2,84757
<b>Hacimsel su emme-28</b>	0,103	0,100	0,087	0,102	0,095
<b>Toplam ağırlık-28</b>	2,8976	2,91815	2,9287	2,9123	2,92257
<b>Kuru ağırlık-56</b>	2,80088	2,82443	2,84798	2,81972	2,83542
<b>Kılcal su emme-56</b>	0,020	0,018	0,016	0,019	0,017
<b>Toplam ağırlık-56</b>	2,82088	2,84243	2,86398	2,83872	2,85242
<b>Hacimsel su emme-56</b>	0,092	0,083	0,078	0,085	0,080
<b>Toplam ağırlık-56</b>	2,89288	2,90743	2,92598	2,90472	2,91542
<b>Kuru ağırlık-90</b>	2,80716	2,83542	2,85269	2,82443	2,84013
<b>Kılcal su emme-90</b>	0,019	0,017	0,016	0,017	0,016
<b>Toplam ağırlık-90</b>	2,82616	2,85242	2,86869	2,84143	2,85613
<b>Hacimsel su emme-90</b>	0,085	0,080	0,072	0,082	0,077
<b>Toplam ağırlık-90</b>	2,89216	2,91542	2,92469	2,90643	2,91713
<b>Kuru ağırlık-120</b>	2,81187	2,83856	2,85897	2,82914	2,84327
<b>Kılcal su emme-120</b>	0,018	0,016	0,014	0,017	0,015
<b>Toplam ağırlık-120</b>	2,82987	2,85456	2,87297	2,84614	2,85827
<b>Hacimsel su emme-120</b>	0,075	0,070	0,065	0,073	0,068
<b>Toplam ağırlık-120</b>	2,88687	2,90856	2,92397	2,90214	2,91127





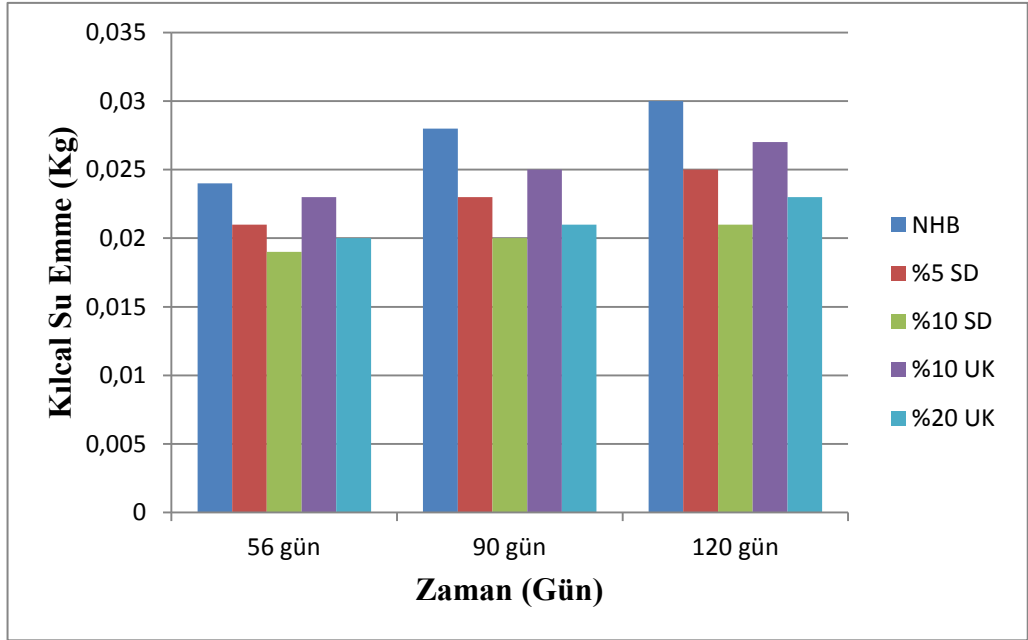
Şekil 4.15. %5 Nitrik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin kılcal su emme değerleri



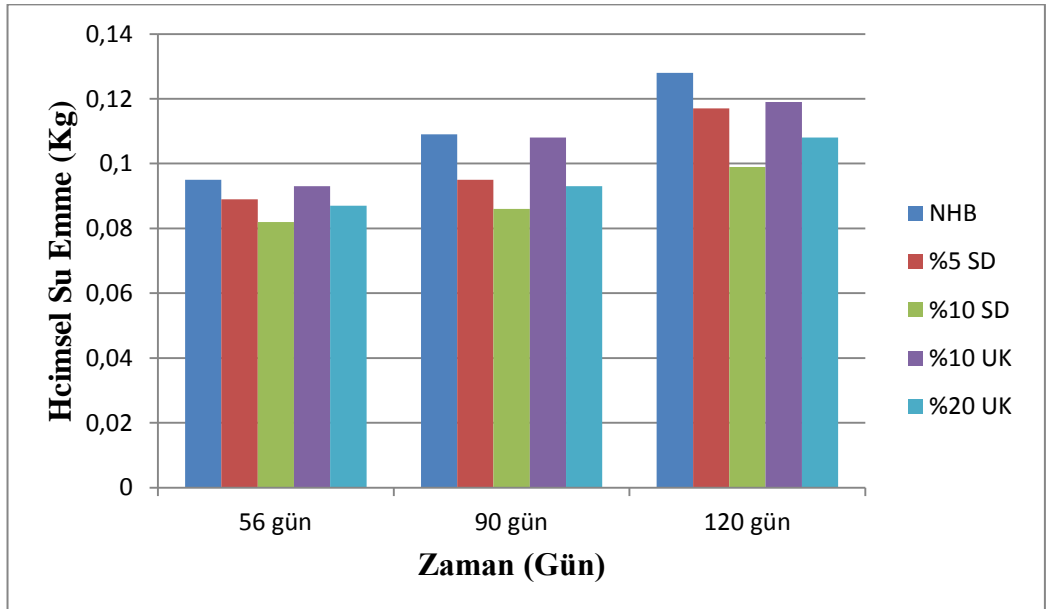
Şekil 4.16. %5 Nitrik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin hacimsel su emme değerleri

**Çizelge 4.15.** %5 Nitrik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri

<b>Deney – Gün</b>	<b>Normal katkısız (Kg)</b>	<b>%5 SD ilaveli (Kg)</b>	<b>%10 SD ilaveli (Kg)</b>	<b>%10 UK ilaveli (Kg)</b>	<b>%20 UK ilaveli (Kg)</b>
<b>Kuru ağırlık-56</b>	2,79774	2,82286	2,84641	2,81815	2,83385
<b>Kılcal su emme-56</b>	0,022	0,020	0,014	0,020	0,018
<b>Toplam ağırlık-56</b>	2,81974	2,84286	2,86041	2,83815	2,85185
<b>Hacimsel su emme-56</b>	0,091	0,084	0,077	0,088	0,081
<b>Toplam ağırlık-56</b>	2,88874	2,90686	2,92341	2,90615	2,91485
<b>Kuru ağırlık-90</b>	2,80088	2,82443	2,85112	2,82286	2,83856
<b>Kılcal su emme-90</b>	0,027	0,021	0,016	0,023	0,020
<b>Toplam ağırlık-90</b>	2,82788	2,84543	2,86712	2,84586	2,85856
<b>Hacimsel su emme-90</b>	0,101	0,088	0,083	0,097	0,085
<b>Toplam ağırlık-90</b>	2,90188	2,91243	2,93412	2,91986	2,92356
<b>Kuru ağırlık-120</b>	2,79617	2,82129	2,84327	2,81344	2,83071
<b>Kılcal su emme-120</b>	0,028	0,024	0,017	0,026	0,022
<b>Toplam ağırlık-120</b>	2,82417	2,84529	2,86027	2,83944	2,85271
<b>Hacimsel su emme-120</b>	0,118	0,112	0,095	0,115	0,100
<b>Toplam ağırlık-120</b>	2,91417	2,93329	2,93827	2,92844	2,93071



Şekil 4.17. %5 Sülfürik asit çözeltisinde tutulan numunelerin kılcal su emme değerleri



Şekil 4.18. %5 Sülfürik asit çözeltisinde tutulan beton numunelerin hacimsel su emme değerleri

**Çizelge 4.16.** %5 Sülfürik asit çözeltisinde bekletilen beton numunelerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri

<b>Deney – Gün</b>	<b>Normal katkısız (Kg)</b>	<b>%5 SD ilaveli (Kg)</b>	<b>%10 SD ilaveli (Kg)</b>	<b>%10 UK ilaveli (Kg)</b>	<b>%20 UK ilaveli (Kg)</b>
<b>Kuru ağırlık-56</b>	2,79774	2,82129	2,84484	2,81344	2,82914
<b>Kılcal su emme-56</b>	0,024	0,021	0,019	0,023	0,020
<b>Toplam ağırlık-56</b>	2,82174	2,84229	2,86384	2,83644	2,84914
<b>Hacimsel su emme-56</b>	0,095	0,089	0,082	0,093	0,087
<b>Toplam ağırlık-56</b>	2,89274	2,91029	2,92684	2,90644	2,91614
<b>Kuru ağırlık-90</b>	2,79303	2,81972	2,84327	2,81187	2,826
<b>Kılcal su emme-90</b>	0,028	0,023	0,020	0,025	0,021
<b>Toplam ağırlık-90</b>	2,82103	2,84272	2,86327	2,83687	2,847
<b>Hacimsel su emme-90</b>	0,109	0,095	0,086	0,108	0,093
<b>Toplam ağırlık-90</b>	2,90203	2,91472	2,92927	2,91987	2,919
<b>Kuru ağırlık-120</b>	2,78204	2,8103	2,83385	2,80559	2,81972
<b>Kılcal su emme-120</b>	0,03	0,025	0,021	0,027	0,023
<b>Toplam ağırlık-120</b>	2,81204	2,8353	2,85485	2,83259	2,84272
<b>Hacimsel su emme-120</b>	0,128	0,117	0,099	0,119	0,108
<b>Toplam ağırlık-120</b>	2,91004	2,9273	2,93285	2,92459	2,92772

Silis dumanının beton ve harc için etkili bir puzolanik malzeme olduğu ve elde edilen betonların düz çimento hamuruna göre, daha süreksiz ve su geçirimsiz boşluk yapısına sahip olduğu belirtilmektedir (Bayasi and Zhou 1993). UK ve SD bir yandan küçük mineral katkı taneciklerinin kılcal boşlukları tıkayıcı etkileri diğer yandan da puzolanik tepkime sonucunda  $\text{Ca(OH)}_2$ 'yi kullanarak daha fazla CSH oluşturmaları nedeniyle gözeneklerin dolması betonun kılcal gözenekliliğinin azalmasına yol açarlar (Tokyay 2010).

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada NHB'nin dayanıklılığına  $H_2SO_4$  ve  $HNO_3$ 'in etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda görülmektedir.

1. Standart kür havuzunda tutulan numunelerin basınç dayanımları mineral katkı türünden bağımsız olarak 120 gün süresince artış göstermiştir. En yüksek dayanım %10 SD ilaveli numunelerde elde edilirken bunu sırasıyla %20 UK ilaveli, %5 SD ilaveli, %10 UK içeren ve NHB takip etmektedir. Mineral katkısı içermeyen betonlar, deney süresinden bağımsız olarak en düşük dayanımı vermişlerdir.

2. Kılcal ve hacimsel su emme deneyi sonucunda mineral katkı içermeyen betonların kılcal ve hacimsel su emmeleri en fazla olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla %10 UK kül ilaveli, %5 SD ilaveli, %20 UK ilaveli ve %10 SD katkılı numuneler izlemiştir.

3. %5 Nitrik asit çözeltisinde tutulan mineral katkı içeren numunelerin basınç dayanımları yine mineral katkı türünden bağımsız olarak 90 gün sürede artarken bundan sonraki dönemde bir düşüş görülmüştür. %10 SD içeren betonların basınç dayanımları, %20 UK içerenlere göre yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan NHB numunelerin basınç dayanımları ilk 56 gün süre zarfında artarken bu süreden sonra belirgin bir azalma eğilimi göstermektedirler. Bu durum , mineral katkı içermeyen betonların özellikle 120 günlük bir süre itibariyle %5 nitrik asit çözeltisinde ciddi anlamda hasar görmeye başladığını göstermektedir.

4. %5 Sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişim %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımlarında meydana gelen değişimden oldukça fazladır. NHB numunelerinde 120 günlük deney süresinde oluşan dayanım kaybı daha fazladır. Bu da mineral katkı içeren beton numunelerinin kimyasal maddeler içeren su ortamlarında daha iyi bir performans göstermelerinin kanıtıdır. Liman 2006, PÇ 42,5 çimentosu ile

yapmış olduğu çalışmada, oranı  $400 \text{ kg/m}^3$  dozlu normal beton numuneleri üretmiştir. Numuneleri %5'lik nitrik asit çözeltisinde 180 gün beklettikten sonra, bir kaç farklı beton yaşlarında zamanla betonun basınç dayanım değerlerinin azalmasını gözlemlemiştir. Yıldız 2009, pomza ve zeolit agregaların normal agrega ile birlikte kullanarak ürettiği beton numunelerini çeşitli tuz ve asit ortamlarında beklettikten sonra , sülfürik asit çözeltisinin beton dayanımı ve dayanıklılığı üzerine daha fazla hasar verdiğini gözlemlemiştir.

5. Standart kür havuzunda tutulan numunelerin ultrases geçiş hızlarında mineral katkı türünden bağımsız olarak deney süresince dikkate değer bir değişime uğramadığı görülmektedir. Benzer durum NHB numuneleri içinde geçerlidir.

6. %5 Nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan mineral katkılı numunelerinin ultrases geçiş hızları standart kür havuzundaki numunelerle 90 güne kadar benzer seyir göstermiştir. Benzer durum tüm beton numuneler içinde geçerlidir. %5 Nitrik asit çözeltisine maruz betonların ultrases geçiş hızlarında 90. günden itibaren bir azalma görülmektedir.

7. %5 Sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan betonların ultrases geçiş hızlarında 120. günde belirgin bir azalma görülmektedir. %5 sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılan beton numunelerinin ultrases geçiş hızlarında %5 nitrik asit çözeltisine maruz bırakılan numunele göre belirgin bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu durum %5 sülfürik asit çözeltisinin %5 nitrik asit çözeltisine nazaran bozucu etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlardan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ve  $\text{HNO}_3$  asitlerinin betonun dayanıklılığı ve dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Elde edilen bu sonuçlar literatürdeki sonuçlarla uyuşmaktadır. Bu nedenle betonun ve betonarme yapıların kendisine zararlı olan böyle ortamlardan korunmasının gerektiği ortaya çıkmış bulunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, **1977**. TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- Anonim, **1978**. a. TS 2941, Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, **1978**. b. TS 3234, Bims Beton Yapım Kuralları. Karışım Hesabı ve Deneysel Metotları. TSE, Ankara.
- Anonim, **1978**. b. TS 3234, Bims Beton Yapım Kuralları. Karışım Hesabı ve Deneysel Metotları. TSE, Ankara.
- Anonim, **1980**. a. TS 3526, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini.
- Anonim, **1982**. TS 3440, Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- Anonim, **1985**. TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- Anonim, **1996**. TS 1226 ISO 3310-2, Deneysel Eleklere - Teknik Özellikler ve Deneysel - Kısım 2: Delikli Metal Levhali Deneysel Eleklere. TSE, Ankara.
- Anonim, **1999** b. TS 3530 EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneysel, Bölüm 1, Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu. TSE, Ankara.
- Anonim, **2000**. TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
- Anonim, **2002**. TS EN 197-1, Genel Çimentolar - Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü.
- Anonim, **2003**. TS EN 1008, Beton-Karma Suyu -Numune Alma, Deneysel ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları.
- Anonim, **2004**. TS 1114 EN 13055-1, Hafif Agregalar, Bölüm 1, Beton, Harç ve Şerbetle Kullanım İçin. TSE, Ankara.
- Anonim, **2008**. Kimya Teknolojisi, İnorganik Maddeler 2. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.
- Anonim, **2009**. c. TS ISO 3310-1, Deneysel Eleklere-Teknik Özellikler ve Deneysel-Bölüm 1: Metal Tel Örgülü Deneysel Eleklere. TSE, Ankara.
- Anonim, **2009**. d. TS ISO 3310-2, Deneysel Eleklere-Teknik Özellikler ve Deneysel-Bölüm 2: Delikli Metal Plakalı Deneysel Eleklere. TSE, Ankara.
- Anonymous, **2002**. b. ASTM C597, Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA.
- Ayberk, M., **1995**. Perlitin Yapı Gereci Olarak Kullanımı ve Yapı Maliyetine Etkisi, Hammaddeler Sempozyumu, Köse ve Kızıl Endüstriyel (EDS), İzmir.
- Aykaç, S., Bakırcı, Ş., **2009**. Karışımında Kullanılan Deniz Suyunun Beton Basınç Dayanımına Etkisi. *International Journal of Engineering Research & Development*, 1, 49-52.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., **2010**. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları*, İstanbul.
- Bayası, Z., Zho, J., **1993**. Properties of Silica Fume Concrete and Mortar. *ACI Materials Journal*, 90 (4), 349-356.



- Beycioğlu, A., Doğan, D., Çakır, D., Subaşı, S., Başığit, B., **2010**. Silis Dumanının Beton Teknolojisinde Kullanımı. *Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyunu*.
- Chandra, S., Berntsson, L., **2003**. Lightweight Aggregate Concrete. *Noyes Publications*, 430, USA.
- Clarke, L.J., **2010**. Hafif Agregalı Yapısal Beton, Britanya Çimento Birliği.
- Çok, G., Erdinç, M., Erdinç, E., **2003**. Mesleki Perlit Maruziyetinde Bronkoalveoler Lavaj Sıvısı ve Difüzyon Kapasitesi Sonuçları. Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, *Solunum Hastalıkları*, 14, 165-168, İzmir.
- Demir, İ., **2009**. Aynı Oranlarda İkame Edilen Silis Dumanı ve Uçucu Külün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.
- Demirboğa, R., **1999**. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza İle Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Erdoğan, T., **1995**. Betonun Oluşturan Malzemeler Çimentolar, İstanbul.
- Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş., **2003**. Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, sayı 426.
- Erdoğan, E., **2009**. Çevreye Zararlı Olan Kolemanit Konsantratör Atığı, Karabük Cüruf ve Uçucu Külün Portland Çimentosu Klinkerine İlavesiyle Oluşturan Harçların Asitli Ortamdaki Dirençlerinin Karşılaştırması. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 12.
- Gökhan, Ç., Baytın, D., **1978**. Hafif Agregalar ve Perlit. *Mimarlık Dergisi*, 73-79
- Göktepe, M., **2008**. C3A Oranı Farklı Çimentolarla Üretilmiş Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirimsizliği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M.S., Demir, İ., **2009**. Uçucu Kül Bölüm 2: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, Cilt: 5, No:2,2009(33-42).
- Gül, R., Demirboğa, R., **1996**. Research on Several Physico-Mechanical Properties of BFS Concrete, 4th International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, Gazimagusa, Cyprus.
- Gül, R., Geçten, O., **1994**. Hafif Agregalı Betonun Kullanılabilirliği. *DSİ Teknik Bülteni*, sayı 81, sayfa 31-36, Ankara.
- Gül, R., Yıldız, İ., **1997**. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanılması. *DSİ Teknik Bülteni*, sayı 87, sayfa 57-64., Ankara.
- Kafalı, M.A., **2004**. Hazır Beton Sektör Araştırması. *Türkiye Kalkınma Bankası Araştırma Müdürlüğü*, ISBN 975-7406-39-2, SA/04, 4-8, Ankara.
- Kılıç, İ., Kadayıfçı, A., **2007**. Geri Dönüştürülmüş Atık Betonlarda Muğla-Yatağan Uçucu Külünün Etkileri, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya.
- Kotan, T., **2009**. Pasinler-Demirdöven Pomzası İle Üretilen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerine Atmosferik Basınçlı Buhar Kürünün Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Liman, C., **2006**. Hidroklorik Asit (HCl) ve Nitrik Asit'in (HNO<sub>3</sub>) Beton Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

- Malhorta, V.M., **1997**. Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook. *CRC Press*, Chapter 2.
- Mehta, P.K., Monteiro, J.M.P., **1997**. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. Indian Concrete Institute, Indian Edition. Handbook, Nawy Edward G. *CRC Press*, 27-36, New York.
- Neville, A.M., **1975**. Properties of Concrete, *Pitman Publishing*, London.
- Özcan, F., **2005**. Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini. Doktora Tezi, Cukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özgan, E., Yıldız, K., **2003**. Asfalt Betonunda Bitüm Yüzdesinin Stabiliteye Etkisi Üzerine Bir Araştırma, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5, 229-246.
- Özgen, M.M., **2006**. Betonarme Yapılarda Bozulma Süreçleri ve Beton Sınıfının Yapının Durabilitesine ve Maliyetine Etkileri, Ankara.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., **2004**. Meslek Liseleri İçin Her Yönü İle Beton, *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını*, 75, İstanbul.
- Öztürk, M., **2006**. Kanalizasyonlarda Hidrojen Sülfür Gazı Oluşumu Sağlık Üzerine Etkileri, [www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/hidrojen.doc](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/hidrojen.doc), Ankara.
- Pekdemir, M., **2010**. Pomza İle Üretilen Betonların Bazı Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Polat, R., **2007**. Genleştirilmiş Perlit ve Pomza İle Hava Sürükleyici Katkının Betonda Kılcal Geçirimsizlik ve Don Hasarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Postacıoğlu, B., Taşdemir, M.A., **1986**. Depreme Dayanıklı Yapılarda Doğal Hafif Agregalı Betonlardan Yararlanılması, Deprem Semineri Bildiriler Kitabı, Yapı Endüstri Merkezi.
- Rilem, **1978**. Functional Classification of Lightweight Concrete. *Recommendation LC2*, 2nd edition.
- Sağsöz, A.E., **2007**. Farklı Kür Şartlarının Doğal Doğal Perlit Agregalı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Sümer, M., **1998**. F-Tipi Uçucu Külün Beton Dayanımına ve Kılcal Su Emmesine Etkileri, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Sakarya.
- Şimşek, O., **2007**. Beton ve Beton Teknolojisi, 2. Baskı, Ankara.
- Taşdemir, M.A., **1982**. Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Taşdemir, M.A., **2003**. TMH - *Türkiye Mühendislik Habrleri* Sayı 427 - 2003/5.
- Tokyay, M., **2010**. Betonda UK, GYFC VE SD'nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Ankara.
- Topçu, İ.B., Canbaz, M., **2001**. Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri. *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XIV, S.2, Eskişehir.
- Topçu, İ.B., Canbaz, M., **2008**. Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflu Harçlarda Asit Etkisi, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir.

- Topçu, İ.B., Kaval, M., **2001**. Betonda Silis Dumanının Kullanılması. *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi* C.XIV, S.1, Eskişehir.
- Uluata, A.R., **1981**. Beton Malzemeleri ve Beton, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını*, Erzurum.
- Ulus, İ., **2007**. Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması, Doktora tezi , Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü ,Erzurum.
- Uysal, M., **2010**. Mineral Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., **2004**. Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması, İMO 17. Teknik Kongre.
- Yalçın, H., Gürü, M., **2006**. Çimento ve Beton. *Palme Yayıncılık*, ISBN: 9944-341-16-9, Ankara.
- Yaşarer, F., **2008**. Pomzalı Boyalarla Kaplanan ve Deniz Suyunda Bekletilen Betonların Performansı. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Yeğınobalı, A., **1999**. Betonun Dayanıklılığı , Fiziksel Etkenler, T.Ç.M.B. Çimento ve Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara.
- Yeğınobalı, A., **2003**. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar. TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 426.
- Yıldırım, S.T., **2002**. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi , Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , 193 s, Elazığ.
- Yıldız, K., **2012**. Pomza ve Zeolit Katkılı Betonun Yol Kaplamalarında Kullanılabilirliği ve NaCl Etkisinin Araştırılması. *Journal of Advanced Technology Sciences*,1, 69-79.
- Yiğıter, H., Aydın, S., Yazıcı, H., Bradan, B., **2006**. C Tipi Uçucu Kül Katkılı Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması Fiziksel, Mekanik ve Durabilite, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

## ÖZGEÇMİŞ

Ali KHANJARKHANI, 1980 Şubat ayında İran'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Maragheh şehrinde tamamladı. Lise eğitiminin ardından Lisans eğitimi için 1999 yılında Maragheh AZAD Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü iyi bir puan ile kazandı ve 2004 yılında mezun oldu.

2004 ile 2010 arası İran'da farklı şirketlerde çalışıp ve inşaat sektöründe farklı tecrübelere sahip oldu.