

ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

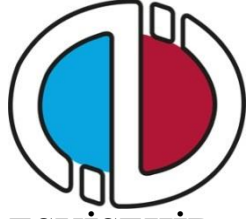
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

BARAJ BETONLARINDA AŞINMA PROBLEMLERİNİN
İNCELENMESİ

Enes BAYAR
Yüksek Lisans

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cenk KARAKURT

BİLECİK, 2019
Ref. No:10296536



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

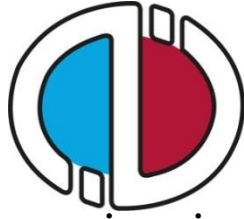
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**BARAJ BETONLARINDA AŞINMA PROBLEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Enes BAYAR
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

BİLECİK, 2019



**ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLECİK
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**INVESTIGATION THE ABRASION PROBLEMS IN DAM
CONCRETES**

**Enes BAYAR
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Cenk KARAKURT**

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 09/08/2019 tarih ve 45-04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Enes BAYAR' ın "Baraj Betonlarında Aşınma Problemlerinin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Cenk KARAKURT

ÜYE: Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

ÜYE: Öğr. Gör. Dr. Muhsin YALÇIN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun / / tarih ve / sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Öncelikle tamamlamıő olduğum yüksek lisans eğitim faaliyeti boyunca bana her konuda destek ve hoőđörüsü ile yardımcı olan danıőman hocam Doç. Dr. Cenk KARAKURT'a en kalbi duygularım ile teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca tez jürimdeki hocalarıma da teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresi içinde her kapısını çaldığımda bana yardımcı olan Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan başta Öğr. Gör. Dr. Yıldırım BAYAZIT hocama ve diğer hocalarıma ayrıca Anadolu Üniversitesi ve Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi laboratuvarlarındaki görevlilere teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın en önemli parçası olan, bana sabır ile destek veren eőim Serap BAYAR'a, oğullarıma, kızıma, anne ve babama teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

..../..../ 2019

Enes BAYAR

BARAJ BETONLARINDA AŞINMA PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Beton; çimento, agrega su ve uygun katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen aynı zamanda günümüzde birçok yerde tercih edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun bileşenlerinden olan agreganın çeşidi betonun dayanım, aşınma, geçirimsizlik, kullanım ömrü gibi özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmadaki amaç barajlar sayesinde çeşitli alanlarda kullandığımız suyu, barajların ekonomik ömrünü uzatarak daha uzun süre sorun yaşamadan kullanmaktır. Genellikle barajlar su içerisinde taşınan sediment, çakıl ve toprağın aşındırma etkisine maruz kalır ve bu aşınma barajların kullanım ömrünü kısaltır.

Yapılan bu çalışmada kalker, granit ve kuvarsit agregalarından 8 farklı tipte beton üretimi yapılarak basınç dayanımı ve aşınma değerleri belirlenmiştir. Aşınma değerlerinin ölçülmesinde öncelikle agregalara Los Angeles deneyi ardında üretilen numunelere ise Böhme aşınma ve su altında bilyalı aşınma deneylerini uygulanmıştır. Los Angeles deney sonucuna göre agregalar arasında aşınma direnci en yüksek olan granittir. Böhme aşınma ve su altında bilyalı aşınma deneylerini sonuçlarına bakıldığında ise yine agrega içeriğinin tamamı granit olan numunelerin aşınma direncinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı içerikli numunelerin basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında dayanımı en yüksek olan numunenin de içeriğinin tamamı granittir. Bu sonuçlar doğrultusunda betonun aşınma direncinin betonun basınç dayanımı ve agreganın aşınma direnci ile doğru orantılı olarak ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma; Beton; Su Altında Bilyalı Aşınma Deneyi; Baraj

INVESTIGATION THE ABRASION PROBLEMS IN DAM CONCRETES

ABSTRACT

Concrete; cement, aggregate water and appropriate additives in certain proportions obtained by mixing at the same time is a preferred composite material in many places today. The type of aggregate, which is one of the constituents of concrete, directly affects the properties of concrete such as strength, abrasion, impermeability and service life.

The aim of this study is to use the water we use in various fields thanks to the dams, without having problems for a longer period of time by extending the economic life of the dams. Generally, dams are subjected to the erosion effect of sediment, gravel and soil carried in the water, which shortens the service life of the dams.

In this study, 8 different types of concrete were produced from limestone, granite and quartzite aggregates and compressive strength and abrasion values were determined. In order to measure the abrasion values, Böhme abrasion and underwater ball abrasion tests were applied to the samples produced after the Los Angeles test. According to the results of the Los Angeles test, it is the granite with the highest abrasion resistance among the aggregates. When the results of bohme abrasion and underwater ball abrasion tests were examined, it was found that the abrasion resistance of the aggregate content of the samples was high. When the compressive strength results of the samples with the same content are examined, the whole of the sample with the highest resistance is granite. According to these results, it is observed that the abrasion resistance of concrete is directly proportional to the compressive strength of concrete and abrasion resistance of aggregate.

Keywords: Abrasion; Concrete; Underwater Ball Abrasion Test; Dam

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa No |
|---|--------------|
| TEŞEKKÜR | |
| BEYANNAME | |
| ÖZET..... | I |
| ABSTRACT | II |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | VI |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | VIII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | IX |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi | 1 |
| 1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı ve Yöntemi | 2 |
| 2.YAPI MALZEMESİ OLARAK BETON | 3 |
| 2.1.Yapı Malzemesi Olarak Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi | 3 |
| 2.2. Betonu Oluşturan Bileşimler | 4 |
| 2.2.1. Çimento..... | 4 |
| 2.2.2. Agregası..... | 5 |
| 2.2.3. Karışım suyu | 5 |
| 2.2.4. Katkı maddeleri | 6 |
| 3.BETON BARAJ YAPILARI..... | 7 |
| 3.1.Beton Baraj Türleri..... | 8 |
| 3.1.1.Beton ağırlık baraj gövdeleri | 8 |
| 3.1.4. Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar | 8 |
| 3.1.3. Payandalı ve boşluklu beton gövdeler | 8 |
| 3.1.2. Dolu gövdeli ağırlık barajları..... | 8 |
| 3.1.5. Beton kemer baraj gövdeleri..... | 8 |
| 3.2. Barajların Kısımları | 9 |
| 3.3. Baraj yapılarına etki eden kuvvetler | 9 |
| 3.3.1. Barajın öz ağırlığı | 9 |
| 3.3.2. Hidrostatik basınç | 10 |
| 3.3.3. Alttan kaldırma basıncı..... | 10 |
| 3.3.4. Buz basıncı..... | 10 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.5. Toprak ve silt basıncı..... | 11 |
| 3.3.6. Rüzgar basıncı | 11 |
| 3.3.7. Dalga basıncı | 11 |
| 3.3.8. Sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan kuvvetler | 12 |
| 3.4. Beton Baraj Yapılarında Kalıcılık Sorunları | 12 |
| 3.4.1. Donma çözülme olayının betona etkisi..... | 13 |
| 3.4.2. Yüksek sıcaklığın betona etkisi | 14 |
| 3.4.3. Islanma kuruma olayının betona etkisi | 16 |
| 3.4.4. Sülfat iyonlarının betona etkisi..... | 17 |
| 3.4.5. Alkali agrega reaksiyonlarının betona etkisi | 20 |
| 3.4.6. Aşınma, erozyon ve kaviteleşmenin betona etkisi..... | 22 |
| 3.5. Beton Baraj Yapılarında Aşınma Sorunlarına Karşı alınacak Önlemler..... | 23 |
| 3.5.1. Beton yüzeyini çelik kaplama uygulaması | 23 |
| 3.5.2. Elyaf takviyeli beton uygulaması | 23 |
| 3.5.3. Epoksi harç içeren beton uygulaması | 24 |
| 3.5.4. Silis dumanlı beton uygulaması..... | 24 |
| 3.5.5. Püskürtme beton uygulaması..... | 24 |
| 3.5.6. Poliüretan ve neopren esaslı kaplama uygulaması | 24 |
| 3.5.7. Lifli beton uygulaması..... | 25 |
| 4.AŞINMA OLAYI | 27 |
| 4.1. Abrasif Aşınma | 28 |
| 4.2. Adhezif (Yapışma) Aşınma..... | 31 |
| 4.3. Korozyon Aşınması..... | 33 |
| 4.4. Yorulma Aşınması..... | 33 |
| 4.5. Erozyon Aşınması | 33 |
| 5.MALZEME VE YÖNTEM..... | 36 |
| 5.1.Malzeme | 36 |
| 5.1.1.Agrega..... | 36 |
| 5.1.2.Karışım suyu..... | 37 |
| 5.1.3.Katkı maddeleri | 38 |
| 5.1.4.Çimento..... | 38 |
| 5.2. Yöntem | 40 |

| | |
|--|--------------|
| 5.2.1. Beton numunelerinin tasarımı ve yapılışı | 40 |
| 5.2.2. Elek analizi deneyi..... | 41 |
| 5.2.3. Agregada birim ağırlık deneyi..... | 42 |
| 5.2.4. Agregada özgül ağırlık deneyi..... | 44 |
| 5.2.5. Los Angeles deneyi | 46 |
| 5.2.6. Taze betonda kıvam tayini deneyleri..... | 47 |
| 5.2.7. Betonda birim ağırlık deneyleri | 50 |
| 5.2.8. Ultrases geçiş hızı deneyi | 51 |
| 5.2.9. Beton basınç dayanım deneyi | 52 |
| 5.2.10. Beton aşınma deneyleri | 54 |
| 6.DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI | 59 |
| 6.1. Agregaların Fiziksel Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deney Sonuçları..... | 59 |
| 6.1.1. Elek analizi deney sonuçları | 59 |
| 6.1.2. Agregada birim ağırlık deney sonuçları | 60 |
| 6.1.3. Agregada özgül ağırlık deney sonuçları | 60 |
| 6.1.4. Los Angeles deney sonuçları | 61 |
| 6.2. Taze Beton Deneyleri | 61 |
| 6.2.1. İşlenebilirlik deneylerinin sonuçları | 61 |
| 6.2.2. Taze beton birim ağırlık deney sonuçları | 62 |
| 6.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları | 63 |
| 6.3.1. Sertleşmiş beton birim ağırlık deney sonuçları | 63 |
| 6.3.2. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları..... | 64 |
| 6.3.3. Basınç dayanımı deney sonuçları | 65 |
| 6.3.4. Böhme aşınma deney sonuçları | 66 |
| 6.3.5. Su altında bilyalı aşınma deney sonuçları | 67 |
| 7.SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 69 |
| KAYNAKLAR | 70 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa No |
|---|-----------------|
| Şekil 2.1. Pantheon Kubbesi | 3 |
| Şekil 3.1. Betonun donma çözülme etkisine maruz kalmış bir örneği..... | 14 |
| Şekil 3.2. Betonun basınç dayanımının sıcaklık etkisi ile değişimi..... | 15 |
| Şekil 3.3. Sülfat iyonlarının etkisine maruz kalmış beton örneği | 20 |
| Şekil 3.4. ASR' ye maruz kalmış beton örneği..... | 21 |
| Şekil 4.1. İki ve üç gövdeli abrazif aşınma | 28 |
| Şekil 4.2. Malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması..... | 30 |
| Şekil 4.3. Çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi | 30 |
| Şekil 4.4. Adhezif aşınma | 31 |
| Şekil 4.5. Bilinen erozyon aşınma mekanizmaları..... | 34 |
| Şekil 4.6. Parçacık çarpma açısı ile aşınma hızının ilişkisi | 34 |
| Şekil 4.7. Aşınma ve koruma mekanizmaları | 35 |
| Şekil 5.1. Kalker kökenli iri tane boyutlu kırma taş agrega..... | 36 |
| Şekil 5.2. Orta tane boyutlu kuvarsit agrega..... | 37 |
| Şekil 5.3. İnce tane boyutlu granit agrega..... | 37 |
| Şekil 5.4. Polycar 150 tipi akışkanlaştırıcı..... | 38 |
| Şekil 5.5. Portland çimento CEM I 42,5 R | 39 |
| Şekil 5.6. Beton üretimine ait görüntüler | 41 |
| Şekil 5.7. Elek analizi deney düzeneği ve vibrasyon masası | 42 |
| Şekil 5.8. Agrega birim ağırlık deneyi | 42 |
| Şekil 5.9. İri agregaların özgül ağırlık tayini deney cihazı | 45 |
| Şekil 5.10. Los Angeles deney aleti..... | 47 |
| Şekil 5.11. Çökme hunisi deneyi | 49 |
| Şekil 5.12. Yayılma tablası deneyi..... | 50 |
| Şekil 5.13. Ultrases geçiş hızı deneyi | 52 |
| Şekil 5.14. Beton basınç dayanım deneyi cihazı ve küp numune | 53 |
| Şekil 5.15. Böhme aşınma deneyinin 22 tam devir sonrası bitişi | 55 |
| Şekil 5.16. Böhme aşınma deney cihazının şematik gösterimi..... | 56 |
| Şekil 5.17. Su altında bilyalı aşınma cihazının şematik gösterimi..... | 57 |
| Şekil 5.18. Su altında bilyalı aşınma deney cihazı..... | 58 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Şekil 5.19. | Su altında bilyalı aşınma deney numunesi ve diğer numuneler..... | 58 |
| Şekil 6.1. | Granit, kuvarsit ve kalker agregaların granülometri eğrisi | 59 |
| Şekil 6.2. | Ultra ses geçiş hızı deney sonuçları | 64 |
| Şekil 6.3. | Agregaların basınç dayanımı | 66 |
| Şekil 6.4. | Basınç dayanım deney sonrası numunelerden görünüm..... | 66 |
| Şekil 6.5. | Böhme aşınma deneyi | 67 |
| Şekil 6.6. | Böhme aşınma deneyi öncesi ve sonrası..... | 67 |
| Şekil 6.7. | Su altında bilyalı aşınma deneyi | 68 |
| Şekil 6.7. | Su altında bilyalı aşınma deneyinin sonraki ve önceki hali..... | 68 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa No |
|--|-----------------|
| Çizelge 3.1. Beton veya betonarme yapıların iç ve dış etmenlerle bozulması | 12 |
| Çizelge 5.1. Portland çimento CEM I 42,5 R mekanik özellikleri | 39 |
| Çizelge 5.2. Numune kısaltmalarının gösterimi | 40 |
| Çizelge 5.3. Numunelerin 1 m ³ lük betonda ki karışım miktarı | 41 |
| Çizelge 5.4. Taze betonun çökme değerleri sınıflaması | 48 |
| Çizelge 5.5. Taze betonun yayılma sınıfları | 50 |
| Çizelge 5.6. Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi | 52 |
| Çizelge 5.7. Karakteristik basınç dayanımına göre beton sınıfları | 54 |
| Çizelge 6.1. Kullanılan agregaların gevşek ve sıkışık birim ağırlık sonuçları | 60 |
| Çizelge 6.2. İri ve ince tane boyutlu agregaların özgül ağırlıkları | 61 |
| Çizelge 6.3. Kalker, granit ve kuvarsit agregaların aşınma oranları | 61 |
| Çizelge 6.4. Üretilen taze betonların slump ve yayılma sonuçları | 62 |
| Çizelge 6.5. Beton numunelerin taze birim ağırlık değerleri..... | 63 |
| Çizelge 6.6. Sertleşmiş beton numunelerin birim ağırlık deney sonuçları | 64 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|-----------------|---|
| m | : Metre |
| m ² | : Metrekare |
| m ³ | : Metreküp |
| mm | : Milimetre |
| °C | : Santigrat derece |
| dm ³ | : Desimetreküp |
| kN | : Kilonewton |
| MPa | : Megapascal |
| G | : Barajın öz ağırlığı |
| γ _b | : Malzemenin özgül ağırlığı |
| V _b | : Gövde hacmi |
| F | : Hidrostatik basınç |
| h | : Su derinliği |
| P _d | : Dalga basıncı şiddeti (N/m ²) |
| P _{dt} | : Toplam dalga basıncı (N) |
| h _d | : Dalga yüksekliği (m) |
| B _g | : Gevşek birim hacim ağırlık (gr/cm ³) |
| W ₂ | : Gevşek agrega ile dolu hacmi belli olan ölçü kabının ağırlığı (gr) |
| W ₁ | : Hacmi belli olan ölçü kabının boş ağırlığı (gr) |
| B _s | : Sıkışık birim hacim ağırlık (gr/cm ³) |
| V | : Piknometre ağırlığı (gr) |
| W | : Piknometre ağırlığı + su ağırlığı (gr) |
| X | : Piknometre ağırlığı + yüzey kuru suya doymun numune ağırlığı (gr) |
| Y | : Piknometre ağırlığı + yüzey kuru suya doymun numune ağırlığı + su ağırlığı (gr) |
| Z | : Kuru numune ağırlığı (gr) |
| L | : Ses hızı, (km/s) |
| T | : Ses geçiş süresi, (s) |
| L | : Ölçü boyu, (km) |
| Δ | : Hacimsel / kütlelesel değişim (%) |

d_1 : İlk hacim / ilk kütle (cm^3/gr)
 d_2 : Son hacim / son kütle (cm^3/gr)

Kısaltmalar

ASTM : American Society for Testing Materials
TS : Türk Standartları
ASR : Alkali Silika Reaksiyonu
DIN : German Institute for Standardization
Kal : Kalker
Kuv : Kuvarsit
Gra : Granit

1. GİRİŞ

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Su, dünyadaki bütün canlıların hayatlarını devam ettirmesi için en gerekli temel ihtiyaçların başında gelmektedir. İnsanoğlu varoluşundan beri su kaynaklarının çevresinde yaşam alanları kurmuş olup bu su kaynaklarını çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanmıştır. Su kaynaklarının veriminin zamana göre artıp azalması insanoğlunda suyu biriktirme arayışına yöneltmiştir. Bu arayışın sonunda baraj olarak adlandırdığımız su yapıları ortaya çıkmıştır.

Baraj; sulama, içme suyu, enerji üretimi gibi gereksinimleri karşılamak amacıyla yapılan, suyun birikim oluşturmasını sağlayarak akışını engelleyen, yönlendiren veya duraklatan yapılardır. Barajlar farklı farklı malzemelerden farklı farklı boyutlarda yapılan su yapılarıdır. Bu yapılar günümüzde genel itibariyle beton kullanılarak ve büyük boyutlarda yapılmaktadır. Yapım süresi yer tespiti çalışmaları ile başlayan uzun süre ve yüksek maliyet gerektiren barajların yapı güvenliği bu sebeplerle çok önemlidir.

Barajlar, yapıldığı bölgeye uzun yıllar hizmet etmesi beklenen yapılardır. Bu nedenle barajların yapısal dayanıklılığı ve havza hidrolojisi bakımından uygun projelendirilmesi gerekmektedir. Türkiye'deki barajların başlıca sorunları siltasyon ve yağış rejimindeki ani değişimlerdir. Siltasyon, akarsuyun getirdiği kil, silt gibi ince malzemenin baraj gövdesi tarafından tutulmasıdır. Bu malzemeler baraj gövdesinin memba kısmında birikme yaparak, aşınmaya sebep olmakta ve barajın ekonomik ömrünü kısaltmaktadır. Siltasyonun en önemli sebeplerinden biri erozyondur. Orman alanlarının yok edilmesiyle toprak kayıpları yaşanmaktadır. Bu topraklar akarsular yoluyla taşınmaktadır. Barajların ekonomik ömrünü etkileyen bir diğer etken de yağış rejimidir. Yağış değerlerinde uzun yılların ortalama değerlerinden artış yönünde sapmalar meydana geldiğinde taşkın gibi problemler meydana gelmektedir. (Yiğitbaşıoğlu, 1996).

Baraj yapılarına genel olarak baktığımızda siltasyon ve taşkından kaynaklı, dolu savak, su alım kanalı gibi hareketli suya maruz kalan bölgelerde aşınma gibi önemli bir sorunla karşılaşmaktadır. Bu çalışmada ki amaç ise aşınma direnci yüksek beton üretiminin gerçekleşmesi ile birlikte ekonomik ömrü uzun baraj yapımının sağlanmasıdır. Betonun aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında agrega gelir. Agreganın fiziksel şekili, sertliği, çimento ile oluşturduğu kenetlenme kuvveti, boşluk

yapısı ve tane büyüklüğü gibi faktörler aşınma direnci ile ilişkilidir. Bunun yanında çimento çeşidi, karışımın s/ç oranı, mineral katkı kullanımı, akışkanlaştırıcı kullanımı da betonun aşınma direncine etki eden faktörlerdendir. Bu tez çalışmasında aşınma direnci yüksek beton üretmek için agreganın önemine vurgu yapmak amaçlanmıştır. Bunun için agrega olarak kalker, kuvarsit ve granit seçilmiştir.

1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı ve Yöntemi

Bu tez çalışması kapsamında öncelikle belirlenen granit, kalker ve kuvarsit agregaları çeşitli yerlerden temin edilmiştir. Agregaların temin edilmesinin ardından gerekli agrega deneyleri yapılmıştır. Agregada deney sonuçlarının yardımıyla beton tasarımı yapılmış ve karışımlarda kullanılacak agrega oranları böylelikle belirlenmiştir. Beton üretiminin gerçekleşmesinin ardından sırasıyla taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır. Aşınma deneyleri olarak Los Angeles, Su Altında Bilyalı Aşınma ve Böhme Aşınma deneyleri yapılmıştır. Su altında bilyalı aşınma deneyi ile birlikte böhme aşınma deneyi barajlarda kullanılan betonun aşınması hakkında bize asıl yol gösteren deneylerdir. Bu deneylerden su altında bilyalı aşınma deneyi 72 saat boyunca su hareketliliği oluşturduğundan baraj betonlarında ki aşınma kaynağı olan hareket halindeki ince malzemenin oluşturduğu etkiyi oluşturmaktadır. Bu deneyler sonucunda en uygun beton ve agrega tipinin belirlenmesine olanak tanımıştır.

2. YAPI MALZEMESİ OLARAK BETON

2.1. Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Beton; çimento, agrega, su ve uygun katkı maddelerinin hesaplar neticesinde ve belirli bir üretim teknolojisine uygun olarak belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir (Şimşek, 2009).

Betonun tarihsel gelişimi; betonun ilk bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte kullanımı Romalılara kadar uzanmaktadır. Tarihte beton kullanılan en ünlü yapı Roma'daki Pantheon dur (Şekil 2.1.). M.Ö. inşasına başlanmış, birkaç kez onarım görmüş ve M.S. 140 civarında son şeklini almıştır. 43.4 m çapındaki yarı küre kubbesi betondur. Bu açıklığı aşan bir başka beton ya da betonarme kubbe 1913 yılına kadar yapılamamıştır. Pantheon'dan 1940 yıl sonra; 1913 yılında Breslau/ALMANYA'da (bugün: Wrocław/POLONYA) betonarme olarak inşa edilen Jahrhunderthalle kongre merkezinin açıklığının 65 m olduğu düşünülürse Pantheon'un zamanına göre ne denli cesur bir yapı olduğu kolayca anlaşılır (URL-1, 2014).



Şekil 2.1. Pantheon Kubbesi (URL-1, 2012)

Çimentonun patenti 1824 yılında Joseph Aspdin adında bir duvarcı ustası tarafından alınmıştır. Böylece çimento sanayisi gelişmeye başlamıştır. Bununla birlikte metal armatürlerin plastik betonla kaplanabileceği düşünölmeye başlandı. 1848 yılında

betonarmenin basit uygulamaları görülmüştür. J. L. Lambot ilk betonarme tekneyi yapmıştır. Façois Coignet ise ilk yapıları gerçekleştirdi. Bununla birlikte, eğilmeye çalışan bir kirişte, metal armatürlerin gerilme öğeleri işlevi olarak düşüncesi açıklık kazanmıştır. 1877 yılında saksılarını güçlendirmek için demir teller kullanan bahçıvan Joseph Monier betonarmeye ilk patenti almıştır. 1890'a doğru Hennebique basit formüller kullanarak betonarme sanat yapıları inşa etmeye başladı. İlk betonarme şartnamesi ABD'de 1904 ve Almanya'da 1906 yılında hazırlanmıştır. Yurdumuzda yönetmelik uygulanması Alman betonarme yönetmeliğinin kullanılmasıyla başlar. Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti' nin hazırladığı yönetmelik 1953 ve bazı küçük değişikliklerle 1962 yıllarında yayınlanmıştır. Türk Standartları Enstitüsü' nün hazırladığı 'TS 500: Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları' yönetmeliği ise 1975 yılından itibaren geçerli olmuştur. Günümüzde geçerli olanın ise şubat 2000 yılında yayınlanan yönetmeliktir.

Türkiye'de ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. Yapılan araştırmalara göre, 1920-1940 yıllar arasında Avrupa'nın beton şartnamelerini geliştirdiği görülmüştür. Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirilmesi, 1950-1960 yılları arasına rastlamaktadır. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, donanım kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomikliği arttırma, daha zor şartlarda beton yapılarının inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlaması yönetimi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur. Son yıllarda kimyasal katkı maddesindeki gelişmeler, puzolanik katkı maddelerinin önemi anlaşılacak beton üretiminde kullanılması, lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir (Şimşek, 2009).

2.2. Betonun Oluşturan Bileşimler

Betonu oluşturan bileşimler çimento, agrega, karışım suyu ile birlikte kimyasal ve mineral beton katkılarıdır.

2.2.1. Çimento

Hidrolik bir bağlayıcı özelliğine sahip olan çimento kendi kendine ya da kum, çakıl, kırma taş gibi doğal veya yapay agregalar ile birlikte suyla karıştırılıp hamurumsu bir hal aldıktan sonra havada ve suda zamanla sertleşerek katı bir hal alır.

Ana bileşenleri kalker, kil alçı taşı olarak bilinmektedir. Bu maddelerin belirli oranda bir araya getirilerek öğütülmesi ve ardında en az sinterleşmeye kadar fırında pişmesiyle ortaya çıkan ürün çimento klinkeri olarak adlandırılan ürünü oluşturur. (Şimşek 2009).

2.2.2. Agreg

Agrega, tabii halde, yapay halde yada her iki halde de kullanılan 63 mm'ye kadar farklı boyutlardaki kırım işlemi görmüş yada doğal haliyle bulunan tanelerin oluşturduğu yığındır. Yani agregaları doğal-yapay, kum-çakıl, hafif-yoğun, mineral-organik olmak üzere gruplandırmak mümkündür. Doğal agreg; akarsu yataklarından, teraslardan, göllerden, çöllerden ve denizlerden elde edilen agregalardır. Doğal kum ise; tabiattaki kum ve çakılların atmosfer yani iri tanelerin, su ve diğer çeşitli dış etkiler ile fiziki ve kimyevi olarak ayrışıp ufalanması yoluyla oluşan ince taneli agregadır.

Agregalar tane boyutlarına göre ince, iri ve karışık agreg olarak gruplara ayrılır. İnce agreg 4 mm göz açıklığına sahip elekten geçen, iri agreg 4 mm ile 63 mm arasındaki boyutlara sahip olan, karışık agreg ise eleme işlemi görmemiş iri ve ince agregaların karışımıdır.

Agregalardan beklenen özellikler ise; dayanımı yüksek olmalı, aşınma direnci fazla olmalı, boşluklu yapısı fazla olmamalı, donatı korozyona neden olacak maddeler içermemeli, tane şekli düzgün olmalı, içerisinde zararlı maddeler bulunmamalı ve tane boyutları ile dağılımları standartlarda belirlenmiş kriterlere uygun olmalıdır.

2.2.3. Karışım suyu

Betonu oluşturan karışım suyunun çimento ile birlikte kimyasal reaksiyon başlatması ve çimento hidrasyonunun tamamlanmasıyla dayanım kazanmasına ve agreg ile çimentonun birbirlerine yapışması ile birlikte betonun boşluksuz yerleşip sıkışmasına sebep olan beton bileşenidir.

Betonarme betonu üretiminde, donatının korozyona uğramasına (paslanmasına), sertleşmiş betonun hacim değişmesine, beton yüzeyinin çiçeklenme ve lekelenmesine neden olabilecek zararlı maddelerin bulunmamasına dikkat edilmelidir.

Göl sularında bulunan yosunlar (alg), beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkide bulunurken, beton içindeki boşluk (hava) miktarını arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda bir yosunlu birde yosunsuz su beton üretiminde kullanılmış ve yosunsuz

su ile elde edilen betonun, basınç dayanımı, yosunluya göre %30 daha fazla, hava miktarının ise %8 mertebesinde daha az olduğu belirlenmiştir (Şimşek 2009).

2.2.4. Katkı maddeleri

Katkı maddeleri betonun taze ya da sertleşmiş halindeki çeşitli özelliklerini geliştirmek için karışım halindeyken veya karışımdan önce kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin kullanımına dikkat edilmesi gerekmektedir. Betonun bir özelliğini geliştirmek isterken başka bir özelliğine olumsuz etkilenebilir.

Katkı maddeleriyle beton üretimindeki sorunların çözülmesi ekonomik bir yol olarak kabul edilir. Betonda kullanılan katkı maddeleri genel olarak kimyasal ve puzolanik katkı maddeleridir (Şimşek 2009).

3. BETON BARAJ YAPILARI

Barajlar rezervuar, göl veya su birikimi oluşturarak suyun akışını önleyen, yönlendiren veya geciktiren yapılardır. Barajlar değişik malzemelerden ve değişik tiplerde inşa edilen büyük boyutlu dayanma yapılarıdır. Sulama, içme suyu, endüstriyel su kullanımı ve elektrik enerjisi üretimi gibi amaçlarla yapılırlar. Suyun insan, hayvan ve bitki yaşamı için önemli bir doğal kaynak olması nedeniyle, bu kaynağın canlı yaşamı için kullanımı doğrultusunda yapılan çalışmalar insanlığın varlığı ile birlikte başlamıştır. İnsanlar milattan önceki yıllarda sulama amacıyla Irak, Ürdün ve Hindistan'da rezervuarlar oluşturmuşlardır.

Bir baraj aşağıdaki amaçlardan biri veya birkaçına hizmet etmek için yapılır:

- ❖ İçme suyu
- ❖ Sanayi suyu
- ❖ Sulama suyu
- ❖ Elektrik enerjisi üretimi
- ❖ Taşkın kontrolü
- ❖ Akışın düzenlenmesi
- ❖ Yer altı suyunun yükseltilmesi
- ❖ Suyun yönünün değiştirilmesi
- ❖ Mesire alanı oluşturulması
- ❖ Sürüntü maddesi kontrolü
- ❖ Canlı hayatın korunması (balıkçılık vb.)
- ❖ Sanayi artıklarının tutulması
- ❖ Su taşımacılığının geliştirilmesi

Beton baraj gövdeleri, gevşek zemin ve ayrılmış kaya kazılıp alındıktan sonra, yeterli taşıma gücüne sahip sağlam kaya zemin üzerinde inşa edilirler. Beton barajların en önemli avantajı, dolusavak, enerji su alma, dipsavak vs. gibi diğer yapıların gövde üzerinde yer alabilmesidir. Aks yerindeki mevcut şartlara göre beton ağırlık veya beton kemer tipinde bir gövde seçilebilir. Beton baraj gövde tipinin seçilebilmesi için en önemli faktörlerden biri de ekonomik olmasıdır (Berkün, 2007).

3.1. Beton Baraj Türleri

3.1.1. Beton ağırlık baraj gövdeleri

Beton ağırlık baraj gövdeleri, başta baraj gölünden kaynaklanan su yükünü ve diğer çeşitli ikincil yükleri kendi ağırlığı ile karşılayarak temele aktaran yapılardır (Berkün, 2007).

3.1.2. Dolu gövdeli ağırlık barajları

Bu tipteki barajlar gövdenin büyüklüğüne uygun olarak boyutlandırılmış 10 ile 20 metre genişliğinde trapez kesitli beton blokların yan yana getirilmesi sureti ile projelendirilirler. Gövde genel olarak doğrusal bir aks üzerine oturur, fakat estetik yönden veya özel bir amaçla aks kemer formunda da yapılabilir. Blok genişlikleri 20 metreyi geçmemelidir, zira bu genişlik aşıldığı takdirde termal çatlakların ortaya çıkması mümkündür (Berkün, 2007).

3.1.3. Payandalı ve boşluklu beton gövdeler

Bu tip gövdeler, beton ağırlık barajlarının özel şekli olup, hemen hemen aynı statik prensiplere göre çalışır. Yan yana sıralanmış payandaların memba yüzleri genişletilmek sureti ile veya araları plak, kemer vs. gibi elemanlarla kapatılarak süreklilik sağlanmıştır (Berkün, 2007).

3.1.4. Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar

Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (RCCD-Roller Compacted Concrete Dams) oldukça düşük oranda karışım suyu ve çimento içeren özel bir beton türünün, tabakalar halinde yerine serilerek sıkıştırılması sureti ile inşa edilen yapılardır. Bunlara serme beton barajlarda denilmektedir. Bu tip barajlarda gövde maliyeti ve inşa süresi 2/3 oranında azaltılabilir. Serme betonun nihai mukavemeti en az normal beton düzeyinde olmasına rağmen maliyeti çok düşüktür (Berkün, 2007).

3.1.5. Beton kemer baraj gövdeleri

Kemer barajlar, memba yönünde verilmiş kemer formundan yararlanarak üzerine gelen yükleri, kemer etkisi ile büyük ölçüde yamaçlara aktaran yapılardır. Her ne kadar gövde münferit bloklar halinde inşa edilirse de, aradaki derzlerin enjeksiyonla

doldurulmasından sonra monolitik olarak çalışır. Genel bir sınıflandırma yapılır ise, kemer barajlar aşağıda belirtilen üç tipte projelendirilirler (Berkün, 2007).

- ❖ Kemer ağırlık gövdeler
- ❖ Silindirik gövdeler
- ❖ İki eğrilikli gövdeler

3.2. Barajların Kısımları

Barajlar aşağıdaki kısımlardan oluşurlar.

- ❖ Baraj gövdesi,
- ❖ Yaklaşım kanalı,
- ❖ Dolusavak,
- ❖ Boşaltım kanalı,
- ❖ Enerji kırıcı tesis,
- ❖ Su alma ağızı,
- ❖ Dipsavak
- ❖ Su yükseltme ve vana odası

Baraj Gövdesi: Bütün vadiyi kapatarak baraj göl oluşmasını sağlar. Genellikle beton veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit bir yapıdır.

Su Alma Yapısı: Baraj gölünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır.

Dipsavak: Gerekliğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolu savak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek için kullanılan tesistir.

Dolusavak: Taşkın sularının mansaba aktarılarak yapının emniyetini sağlayan tesistir.

Derivasyon Tesisleri: Baraj inşaatının kuru bir ortamda yapılmasını sağlar. Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşur.

Diğer Tesisler: Enerji santrali, içme suyu arıtma tesisi, balık ve tomruk geçitleri, gemi eklüzleri ve kaydırma tesisleri gibi yapılar öngörülür (Berkün, 2007).

3.3. Baraj yapılarına etki eden kuvvetler

3.3.1. Barajın öz ağırlığı

Barajın kendi ağırlığıdır. Bu nedenle boyutlarının ve gövde malzemesinin özgül ağırlığının fonksiyonudur. G barajın öz ağırlığı, malzemenin özgül ağırlığı γ_b ve gövde

hacmi V_h olmak üzere aşağıda verilen eşitlik 3.1. ile hesaplanır. Köprü, kapalar vb. donanımlardan gelen dış kuvvetler barajın kendi ağırlığına eklenir (Berkün, 2007).

$$G = \gamma_b V_h \quad (3.1.)$$

3.3.2. Hidrostatik basınç

Barajlara memba ve mansap tarafında etki edebilir. Mansap tarafındaki su yüksekliği küçük ise ihmal edilebilir. Hesap kolaylığı bakımından eğik veya eğri yüzeylere gelen toplam basınç yatay ve düşey bileşenlere ayrılır. Yatay su basıncı, eşitlik 3.2. ile hesaplanır. Burada F hidrostatik basınç, h su derinliği ve γ suyun özgül ağırlığıdır (Berkün, 2007).

$$F = \gamma_b h^2 / 2 \quad (3.2.)$$

3.3.3. Alttan kaldırma basıncı

Barajlar, gövde ve temel zemini içerisindeki gözeneklere, çatlaklara sızan yapı derzlerinden giren su sebebiyle ve yapının temel ile iyice birleşmemesi nedeni ile sızan sular sebebiyle suyun kaldırma kuvvetine maruzdur. Taban basıncı özellikle ağırlık barajlarına etki eden en önemli kuvvetlerden biri olup aşağıda verilen eşitlik 3.3 ifadesi ile hesaplanabilir. Burada h_1 ve h_2 memba ve mansap topuklarındaki su derinliği, b barajın taban genişliğidir. Genellikle taban su basıncının hesabında 0.5 ile 0.7 arasında bir küçültme faktörü kullanılır. Baraj gövdesi derzli inşa edildiği için, baraj stabilite hesaplarında, kaldırma kuvvetinin sadece barajın oturduğu zeminde değil, gövdedeki etkileri de unutulmamalıdır (Berkün, 2007).

$$U = \gamma [h_1 + h_2] b \quad (3.3.)$$

3.3.4. Buz basıncı

Kış sıcaklıklarının don derecesinin altına düştüğü yerlerde yapılacak barajların hesaplarında buz basıncı dikkate alınmalıdır. Kuvvetin buz kalınlığının ortasından etkelediği kabul edilir. Buz basıncı sıcaklık artış oranına ve buz kalınlığına göre hesaplanır. Baraj gölünde oluşacak sıcaklık değişimleri ve buz kalınlığı meteorolojik verilerden tahmin edilebilir. Buz basıncı (K_1) baraj yerinin iklim ve haznenin işletme şartlarına bağlı olarak 0 ile 736 kN/m arasında değerler alabilmektedir. Örneğin buz

kalınlığı 0.6m ve daha yüksek olduğu durumda buz basıncı 145 kN/m değerine ulaşabilmektedir (Berkün, 2007).

3.3.5. Toprak ve silt basıncı

Barajların temelleri talveg kotundan daha aşağıda açılarak, temel inşaatının bitiminden sonra zemin ile doldurulur. Bunun sonucu memba ve mansap tarafında zemin basınçları oluşabilirse de bu basınçların yapının stabilitesine etkisi önemsizdir. Baraj gölünde birikinti, sürüntü ve çökelti maddelerinin zamanla biriktiği ölü hacim bölgesinden baraj memba yüzüne gelen basınç hesaplarda dikkate alınır. Genelde aktif basınç dikkate alınarak hesaplar yapılır (Berkün, 2007).

3.3.6. Rüzgar basıncı

Baraj kısımlarının hesabında rüzgar basınçları genellikle dikkate alınmaz. Fakat şiddetli rüzgarlar yüksek barajlarda önemli basınçlar oluşturabilirler. Özellikle kemer ve payandalı barajlarda önemlidir. Rüzgar basıncına uğrayacak kısımlar için 1000-1500 N/m² aralığında değerler alabilir (Berkün, 2007).

3.3.7. Dalga basıncı

Dalga basıncı şiddeti aşağıdaki eşitlik 3.4.a ve 3.4.b ifadesi kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_d = 2.4\gamma h_d \quad (3.4.a)$$

Toplam dalga basıncı aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$P_{dt} = 2\gamma h_d^2 \quad (3.4.b)$$

Eşitlikte,

P_d = Dalga basıncı şiddeti (N/m²)

P_{dt} = Toplam dalga basıncı (N)

h_d = Dalga yüksekliği (m)

γ = Suyun özgül ağırlığı (N/m³)

Dalga kuvveti barajı serbest su yüzeyinden ($3h_d/8$) kadar üstünden etkiler (Berkün, 2007).

3.3.8. Sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan kuvvetler

Sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan kuvvetler ağırlık barajlarında ikinci derecede önemli sayılan gerilmelere sebep olan kuvvetlerdir (Berkün, 2007).

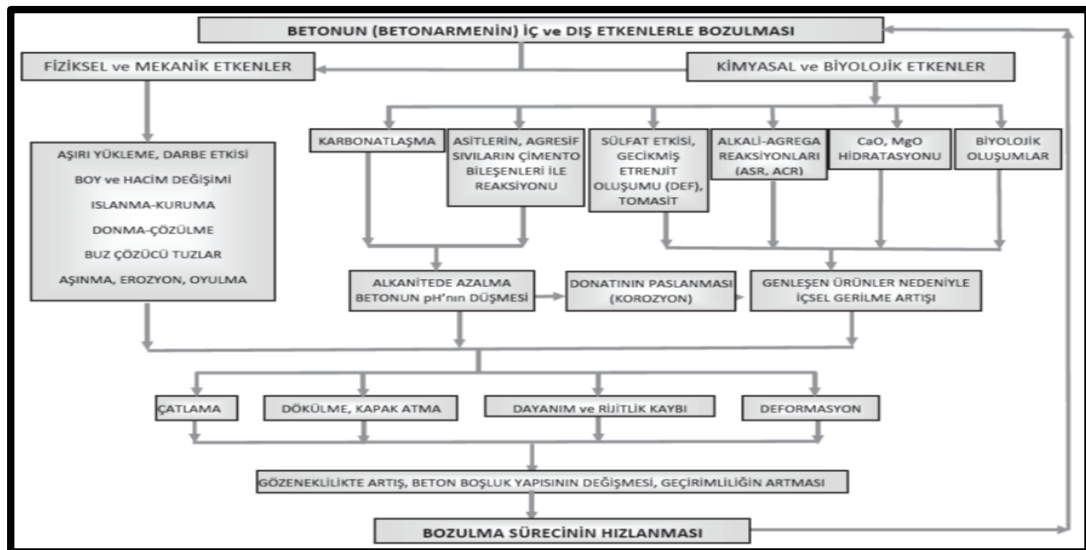
3.4. Beton Baraj Yapılarında Kalıcılık Sorunları

Betonun durabilitesi kavramı, bir yapının servis süresi boyunca çevresel etkilere karşı dayanıklılığı olarak açıklanabilir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde kalıcı denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır (Kurt, 2007).

Beton, kullanılacağı yapısal sistemin koşullarına göre tasarlanmış ve gerekli kalite kontrol prosedürlerine uyularak hazırlanmış, yerleştirilmiş ve kür uygulanmışsa, servis süresi boyunca hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı başka bir deyişle kalıcı bir beton; bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısıyla, betonun durabilitesi mekanik yükler dışında bulunduğu ortamdaki kimyasal, fiziksel ve biyolojik etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir (Kurt, 2007).

Beton barajlarında genellikle görülen kalıcılık sorunu aşınmadır.

Çizelge 3.1. Beton veya betonarme yapıların iç ve dış etmenlerle bozulması (Baradan ve Aydın, 2013)



3.4.1. Donma çözülme olayının betona etkisi

Fiziksel bir yıpranma olan, donma çözülme etkisi sıcaklığın 0 °C'nin altına düştüğü yerlerde beton veya betonarme yapıların kalıcılık sorunlarını ortaya çıkaran en önemli risk faktörlerindedir. Betonun bileşenlerinden olan karışım suyu, betonun içindeki kılcal boşluklarda bulunduğundan beton sıcaklığının 0 °C'nin altına düştüğünde suyun donma olayı gerçekleşmeye başlar. Fizik kurallarına göre suyun donmasıyla birlikte hacmi de bir miktar artar. Kılcal boşluklarda bulunan karışım suyunun bir kısmı donarken sıvı fazda bulunan suya hacim artışıyla birlikte hidrolik basınç uygular. Bu basınç sayesinde kılcal boşluklarda ki su bu boşluklardan dışarı doğru hareket eder. Bu hareket sonucunda kılcal boşlukların çevresinde çeşitli büyüklüklerde çatlak oluşumuna veya beton yüzeyinde soyulma ve dökülmeye sebebiyet verebilir. Beton sıcaklığının bir süre sonra artması kılcal boşluklardaki donan suyun çözülerek tekrar sıvı hale geçmesine neden olur ve donma etkisiyle oluşan basınç ortadan kalkar. Bu donma çözülme olayının zaman içinde tekrarlanması malzemenin kullanım ömrünü azaltmaktadır.

Betonun donma çözülme etkisindeki davranışı birçok etkene bağlıdır. Betonun boşluk yapısı, boşlukların sayısı, boşlukların boyutları ve dağılımı ile birbirlerine bağlantıları, betonun doygunluk derecesi, beton içerisindeki donabilecek su miktarı, donma hızı, su/çimento oranı, kür koşulları, betonun çekme dayanımı gibi etkenler önemlidir (Şengül vd., 2003).

Donmaya karşı dirençte, betonun bileşenlerinin boşluk yapısı önemli rol oynamaktadır. Agregaların boşluk miktarının çimento hamurundakinden düşük olmasına karşın suya doygun durumda hasara uğrayabilirler. Genel olarak, agregaların şekil değiştirme kapasiteleri çimento hamurununkine kıyasla yüksek olduğu için don dolayısıyla kırılmaları beklenebilir (Şengül vd., 2003).

Betonun donma çözülme etkisini su/çimento oranı düşük beton üretimi, soğuk iklimlerde günün en sıcak saatlerinde beton dökümü ve beton yüzey yalıtımı, erken dayanım kazanan beton üretimi, buhar kürü, kimyasal katkı malzemeleri kullanımı (priz hızlandırıcı, antifriz), hava sürükleyici katkı maddesi kullanımı gibi bazı önlemlerle azaltmak mümkündür.

Donma - çözülme etkisi ıslanma ve kurumaya maruz kalan karayolları, istinat duvarları, hava alanları, parke taşı ve kaldırım bordürlerinde daha sık rastlanır.

Denizli ili merkez akdere beldesi betonarme bahçe duvarında meydana gelen donma çözülme etkisi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Betonun donma çözülme etkisine maruz kalmış bir örneği (Tosun, 2015)

3.4.2. Yüksek sıcaklığın betona etkisi

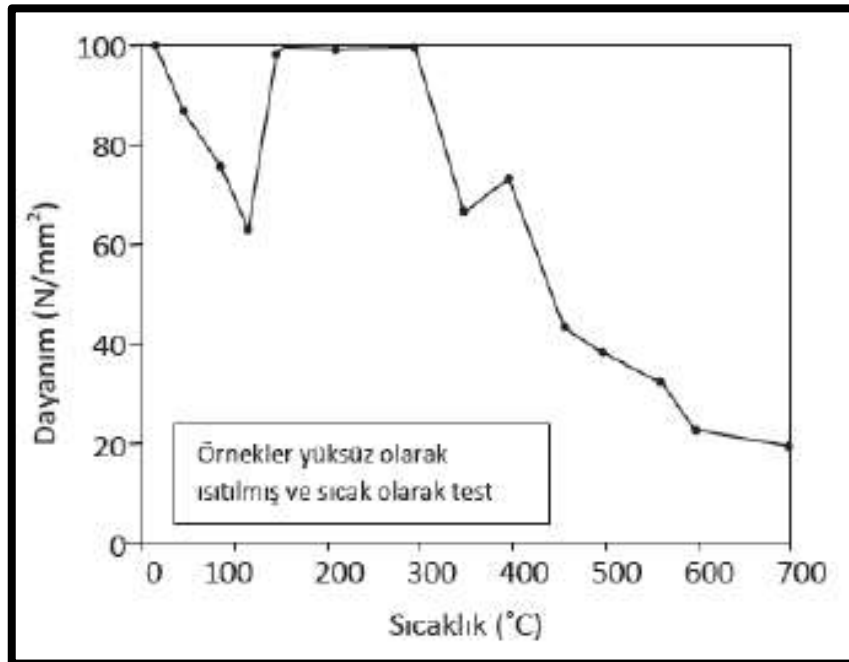
Beton diğer yapı malzemelerinin birçoğuna göre yüksek sıcaklığa ve yangına karşı daha dayanıklı bir yapı malzemesidir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton belirli bir zaman için önemli bir zarar görmez, zehirli gaz ve duman ortaya çıkarmaz. Betonarme yapıların, ısı iletkenliğinin düşük olması sebebi ile betonarme donatı çeliğini yüksek sıcaklığa karşı muhafaza eder. Fakat bu dayanıklılık belirli süreler ve sıcaklık değerleri için geçerlidir. Sınır değerlerin üstüne çıkılması durumunda betonda çatlama ve kabuk atma ortaya çıkar böylelikle betonarme içerisindeki malzemelerin bir birine karşı olan bağlayıcılığı azalır.

Yapılan çalışmalar sonucu yüksek sıcaklıkların hidrate çimento hamuruna etkisi, hamurun hidratasyon derecesi ile nem içeriğine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Artan sıcaklıkla birlikte hidrate çimento hamuru içindeki serbest su, kılcal su ve jel suyu ortamdan ayrılmaktadır. İlk olarak 100 °C sıcaklıkta kılcal boşluklardaki serbest su buharlaşıp ortamdan ayrılır. Hızlı soğumayan düşük geçirimsizliğe sahip hamurda yüzeysel kapak atma olayı meydana gelebilmektedir. Çimento hamurunda sıcaklık 300 °C'ye ulaştığı zaman CSH ara yüzeylerdeki suyun bir bölümü kaybedilir. Mikro

çatlaklar önce 300 °C’de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’in toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede görülür. Sıcaklığın 400-600 °C arasında olması durumunda, sertleşmiş çimento hamurunda bir dizi reaksiyonlar başlayabilir. Bu reaksiyonlar boşluk sisteminin tamamen kuruması ile başlar ve bunu hidratasyon ürünlerinin ayrılarak CSH jellerinin parçalanması izler (Karakurt, 2008).

Bazı deneysel çalışmalarda yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun renginde önemli değişiklikler oluştuğunu belirlemişlerdir. Örneğin renk, pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600 °C’ye, gri ise 600-900 °C’ye yükselmiş olduğu önceki çalışmalarda ifade edilmiştir. Munsell renk dizgesi kullanarak yapılan deneysel çalışmalarında yüksek sıcaklığın silis dumanı katkılı ve katkısız harçlara olan etkilerini araştırmış, harçların maruz bırakıldığı her sıcaklık için yüzey rengi ve basınç dayanımı arasında bir ilişki kurulabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır. Puzolan katkılı betonların yüksek sıcaklık karşısındaki davranışları incelendiğinde yüksek fırın cürufu ve uçucu küllü betonlarda çatlak oluşumunun azaldığı belirlenmiştir (Karakurt, 2008).

Yüksek sıcaklık değerlerinin betonun dayanımına etkisi Şekil 3.2.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Betonun basınç dayanımının sıcaklık etkisi ile değişimi

3.4.3. İslanma kuruma olayının betona etkisi

Beton farklı alan ve iklim koşullarında kullanılması itibariyle deniz suyu, tatlı su, yağmur suyu, fabrika atık suları gibi çeşitli sulara maruz kalmaktadır.

Zararlı suların betona etkisi üç ana grupta toplanabilir.

1) Birinci grup korozyon, suların beton ögelerinden bazılarını çözmesi ve yıkarak, beton külesinden uzaklaştırması şeklinde meydana gelir. Beton, boşluklu ve suyun çözme yeteneği yüksekse, bu korozyon iç bölgelere doğru ilerleyebilir. Tatlı su oranı nispeten yüksek bölgelerdeki deniz yapılarında bu korozyona rastlanmaktadır. Uçucu küllü çimentoların bu tür korozyona daha dayanıklı olmaları serbest kireçlerinin düşük olması nedeniyle mümkündür.

2) İkinci grup korozyon, kimyasal tepkimeler sonucu betonun çözülmesidir. Çimentonun esas ögeleri ile kimyasal reaksiyona giren ve kimyasal maddeler taşıyan suların yaptığı bir korozyon türüdür. Korozyon ürünü ya yıkanır veya ayrık bir amorf kütle oluşturur. Asitli suların (asit karbonik vb.) Mg^{2+} iyonu içeren suların hasarları bu tür korozyona örnektir. Bu korozyon, dolu ve iyi sıkıştırılmış betonlarda da meydana gelebilir. Su basınç gradyanının varlığı diğer bir deyişle tek yanlı ıslanan betonlarda bu korozyon daha şiddetli biçimde görülmektedir. Korozyon ürünlerinin bazılarında tıkama mekanizması gelişebilir, bu durumda korozyon durur veya gecikir.

3) Üçüncü grup korozyon, çözünürlüğü düşük tuzların beton boşluklarında kristalleşmesi ve yapıyı katı fazda genişleterek patlatmasıdır. Beton teknolojisinde geniş biçimde incelen sülfat problemi bu korozyon grubuna girer. Beton boşlukları içine süzülen SO_4^{2-} anyonları, serbest kireçle birleşerek alçı taşına ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) dönüşür, oluşan bu kristal katı cisim çeperlere basınç yaparak tahribata yol açar. İkinci aşamada çimentonun C_3A 'sı ile birleşen alçı taşı etrenjite dönüşür. Hacim artışı daha da büyük olur (Mercan, 2007).

İslanma kuruma ve tuzların kristalizasyon basınç etkileri, sıçrama ve gelgit bölgesinde, dalgaların ve su içinde yüzen cisimlerin aşındırıcı etkisi ile birlikte kendisini göstermektedir. Ayrıca kapiler yolla emilen deniz suyunun atmosfere açık bölgelerde buharlaşması da benzer etkiyi ortaya çıkarır. Bir yüzü ıslak diğer yüzü kuru olan iskele, rıhtım gibi yapılarda bu sebeple oluşan hasarlara daha sık rastlanmaktadır. Sülfat etkisine maruz bırakılan beton numuneler ıslanma kuruma, donma çözülme ve sürekli olmak üzere doygun çözeltilde yıpratıcı ortamda bekletilmiş ve hasar ölçüm

deneyleri yapılmıştır. Buna göre en az hasar doygun çözeltide bekletilen numunelerde, en fazla hasar ıslanma kuruma etkisine bırakılan numunelerde görülmüştür (Çelik, 2005).

Puzolanlı çimentolarla üretilen ve mukavemetleri yeterli düzeyde olan betonlarda kılcal su emme değerleri önemli ölçüde azalacağından özellikle ıslanma kuruma etkisine maruz betonlarda olumlu yönde tesir etmesi beklenmektedir. Tekrarlı ıslanma kuruma ve aşınma sonucu önce ince agregaların beton kütesinden ayrılmaya başladığı, açığa çıkan kaba agregaların da zamanla yok olduğu ve daha fazla çimento hamuru bağlayıcı matrisinin zamanla bu etkilere açık hale geldiği görülür. Bu durumda, su emmesi düşük agregaların seçilmesi gerekmektedir (Çelik, 2005).

Islanma kuruma etkisini önlemek veya azaltmak için, suya karşı geçirimsiz olan plastik veya bitümlü malzemeyle beton yüzeyine yalıtım sağlamak, ıslanma kuruma sürecini durdurmak veya şiddetini azaltmak, iklim şartlarının çok sıcak olduğu dönemlerde betonun aşırı kurumamasını sağlamak yapılabilecek bazı işlemlerdir.

3.4.4. Sülfat iyonlarının betona etkisi

Sülfat iyonlarının betona etkisi yer altı suları, deniz suları, dere ve nehir suları, kirlenmiş toprak, atık sular gibi zararlı suların betona temas ederek içine sızdığı barajlar, köprüler, beton borular, dere ıslahındaki beton kanallar, iskeleler ve temeller gibi ortamlarda rastlanır.

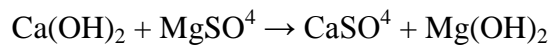
Sülfat etkisinin ciddiyeti ve kapsamı kullanılan çimento tipi ve betonun genel kalitesi gibi betonun kendisi ile ilgili faktörlere, aynı zamanda agresif ortamın özelliklerine, örn. sülfat iyonu konsantrasyonu ve hareketliliği, katyonun tipi (en yaygın Na^+ , K^+ , Mg^{2+} ve Ca^{2+}) veya pH'a bağlıdır. Sülfat saldırılarının çoğunda, suyla taşınan sülfat iyonları ile reaksiyona girecek en hassas bileşikler, kalsiyum hidroksit (CH) ve AFm (örn., Monosülfat) ve reaksiyona girmeyen C_3A gibi alüminyum içeren fazlardır. Tepkimeler, sertleşmiş çimento hamurunun gözenek yapısı içinde etrenjit ve jips gibi geniş tuz kristallerinin oluşumuyla sonuçlanacaktır (etrenjit, jipse göre daha yıkıcıdır). Sonuç olarak, genişleme ve çatlama, saldırıya uğramış betonun ciddi şekilde yapısal bütünlüğünün bozulmasına neden olur. Çatlama ayrıca saldırının daha da çoğalmasına yol açar (Aygörmez, 2018).

Betonun sülfat saldırılarına karşı direncini belirleyen ana bileşenler çimentodaki serbest kireç $\text{Ca}(\text{OH})_2$, kalsiyum alüminat (C_3A) ve ferroalüminat fazlarıdır. Etrenjit ve

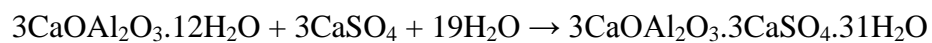
alçıtaşı çimento hidratasyonunun iki tane kimyasal ürünüdür. Etrejrit oluşumu genleşmeye yol açan hacim artışına neden olmaktadır. Eğer bu hacim artışı sınırlandırılırsa çatlaklara yol açmaktadır. Alçıtaşı oluşumunda ise betonun ağırlık ve dayanım kaybetmesine ve rijitliğini kaybetmesine neden olmaktadır (Wang vd., 2017).

Yeraltı suyu en yaygın olan dış sülfat kaynağıdır. Göl, nehir ve endüstriyel atık suları da dış sülfat kaynaklarıdır. Endüstriyel atık suları genelde göl ve nehir sularına göre daha fazla miktarda sülfat içermektedir. Bunlar dışında dış sülfat kaynağı olarak; sülfat kaynağı açısından zengin kil, kurak bölgelerdeki topraklarda bulunan alçıtaşı ve diğer toprak türleri sayılabilmektedir. Yağış sularının etkisiyle bu bölgelerdeki sülfat yüzeysel sulara ve yeraltı sularına karışır ve bu şekilde dış kaynaklı sülfat saldırısına neden olabilmektedir. Tarım alanlarında kullanılan gübrenin, sulara karışarak beton yapılarına nüfuz etmesi ile sülfat etkisi oluşabilmektedir (Ustabaş, 2008).

Beton içerisine su içinde çözülmüş olarak giren sülfat iyonlarının etkisi iki şekilde görülür. Birincisi, beton boşluklarında bulunan kalsiyum hidroksit ile magnezyum sülfatın birleşmesi ile oluşan kalsiyum sülfattır (aşağıda denklemi gösterilmektedir). Bu reaksiyon sonucu meydana gelen magnezyum hidroksitin çözünürlüğü az olduğundan dolayı çökelmektedir. İki mol su bağlayan kalsiyum sülfat kristal hale gelir ve yaklaşık %15 oranında bir hacim genleşmesine neden olmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006).

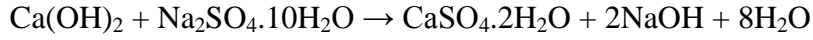


Sülfatın betona asıl zararlı etkisi, kalsiyum sülfat ile C₃A arasında oluşan kimyasal reaksiyondur (denklemleri aşağıda gösterilmektedir). Bu reaksiyon sonucunda 31 mol kristal suyu içeren trikalsiyum alüminat (Candlot tuzu) oluşmaktadır ve bu bileşiğin mukavemeti yoktur. Bu bileşik beton içinde hacim genişlemesine (%227 oranında) neden olarak betonun çatlamasına ve parçalanmasına yol açmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006).



Sodyum sülfat ile Ca(OH)₂ arasındaki reaksiyon denklemi aşağıda belirtilmektedir. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi sonucunda katı fazın hacmi %124 oranında artmaktadır. Suyun sürekli yıkaması nedeniyle Ca(OH)₂ tamamen bünyeden

uzaklaşabilir. Reaksiyon, NaOH'in birikimi sonucunda dengeye ulaşıncaya, sadece SO₃'in bir miktarı alçı taşına dönüşmektedir (Baradan vd., 2002).



İki tür iç kaynaklı sülfat etkisi vardır. Birincisi normal sıcaklıktaki beton ve harçlarda oluşan iç kaynaklı sülfat etkisidir. İkincisi ise buhar kürü gibi yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlarda oluşan iç kaynaklı sülfat etkisidir. Beton üretimi aşamasında su ile çimento ürünlerinin reaksiyonu sonucu çimentodaki alüminler ile sülfat bulunduran elemanların reaksiyonundan birincil etrenjit oluşmaktadır. Çimento hidratasyonunda fazla gelen Al₂O₃ ve SO₃, sertleşmiş betonda uygun şartlar altında kimyasal reaksiyonlar gerçekleştirerek agrega arayüzeyinde ve çimento hamurunda etrenjit oluşumuna neden olabilmektedirler. Çimento ile birlikte beton içerisine giren sülfatlar, alitlerle (C₃A ve CA) ve ferritlerle (C₄AF) reaksiyon gerçekleştirerek tüketilirler. İç kaynaklı sülfat etkisi, üretim aşamasında buhar kürü ya da yüksek sıcaklıkta bakım uygulanan ve yüksek sülfat içeren çimentolarla üretilen betonlarda görülmektedir. Buradaki yüksek sıcaklık betonun hidratasyonu sonucu oluşan sıcaklık veya beton üretimi sırasındaki yüksek çevre sıcaklığından kaynaklanabilir. Yüksek sıcaklıkta küre maruz kalan betonların kür sonrasında nemli ortamda bulunmaları durumunda, iç kaynaklı sülfat atağından dolayı betonda etrenjit oluşmaktadır. Buhar kürü gibi yüksek sıcaklıkta üretilen betonlarda bünyedeki sülfattan dolayı etrenjit oluşmaktadır. Literatürde bu olaya gecikmiş etrenjit oluşumu da denilmektedir (Ustabaş, 2008).

Sülfat etkisini önlemek için geçirimsizliği yüksek beton üretimi, beton yüzeyinin sızdırmazlığını yalıtım yoluyla sağlanması, betonun sülfat direncini arttırmak gibi önlemler alınabilir. Sülfat iyonlarının etkisine maruz kalmış beton örneği Şekil 3.3. de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sülfat iyonlarının etkisine maruz kalmış beton örneği (URL-3, 2014)

3.4.5. Alkali agrega reaksiyonlarının betona etkisi

1920 ve 1930'larda Amerika Kaliforniya'da yapım tekniklerine ve standartlara uygun olarak inşa edilmiş ve malzemelerin kalite kontrolü uygun olarak yapılmış bazı beton yapılarda kısa bir süre sonra şiddetli çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu yapılarda oluşan hasarların asıl sebebinin betonun ana bileşenleri arasında oluşan alkali-agrega reaksiyonu olduğu 1940'larda Stanton tarafından kanıtlanmıştır. Stanton'un deneysel çalışmaları, hasarın sebebinin opal agrega ve yüksek alkalin çimentonun bir araya gelerek oluşturduğu genleşmeler olduğunu göstermiştir. Stanton'un çalışmasının yayınlanmasından kısa süre sonra 1941 yılında Blanks ve Meissner. Parker barajının betonunda oluşan çatlak ve bozulmaları incelemiştir. Araştırmacılar, betonda alkali silis reaksiyonu ürünü bulunduğunu ve reaktif bileşenlerin toplam agreganın %2'sini oluşturan altere andezit ve riyolit parçaları olduğunu belirtmiştir (Çakır, 2007).

Alkali agrega reaksiyonunun Alkali-Karbonat Reaksiyonu (ACR), Alkali-Silikat ve Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) olmak üzere üç tane oluşum şekli vardır. Alkali silika reaksiyonu diğer reaksiyonlara göre daha sık rastlanır.

Alkali karbonat reaksiyonunun etkileri her ne kadar alkali silika reaksiyonu etkilerine benzese de aslında bu iki reaksiyon birbirinden oldukça farklıdır. Alkali karbonat reaksiyonu ile ilgili ilk çalışmalar Kanada'da Kingston, Ontario'ya yakın bir bölgeden getirilen killi kireçtaşı üzerinde yapılmıştır.

Dünyadaki araştırmacılar alkali karbonat genişleme mekanizmasını açıklamak için çalışmalarına devam etmiştir ve çoğu hipotez de dolomitleşmenin olası rolünü vurgulamıştır (Aydın, 2012).

Alkali-silika reaksiyonu, beton agregalarında bulunan reaktif silis ile beton içinde eriyik halde bulunan alkalilerin reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genişleyen bir jelin oluşmasına neden olur. Oluşan jel, dışarıdan nem alarak şişmeye baslar (hacim artışı) ve bu genişlemenin sonunda beton içerisinde bir takım çekme gerilmelerinin doğmasına sebep olarak betonda çatlamalara yol açar (Karakaş, 2013).

Alkali silika reaksiyonunu önlemek veya etkisi azaltmak için en önemli yol beton dökümünden önce gerekli tedbirleri almaktır. Betonun oluşturan agrega ve çimento seçiminde dikkatli davranmak gerekir. Bu durumda kontrol altında tutulması gereken çimentonun alkali içeriği ile birlikte betonun çimento oranı, ortamın alkali kaynakları, agregadan çözünme yoluyla gelme durumu olan alkali miktarı, çevrenin sıcaklık ve nem şartları, reaktif silika tanelerinin yapı, boyut ve miktarı.

Alkali silika reaksiyonuna maruz kalmış beton örneği Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. ASR'ye maruz kalmış beton örneği (URL-3, 2014)

3.4.6. Aşınma, erozyon ve kavitasyonun betona etkisi

Abrasif aşınma beton yüzeylerin (döşeme, zemin betonu, basamak, yol betonu, vb.) kuru sürtünme etkisi ile zamanla artan kütle kaybıdır. Aşındırıcı etki; yaya trafiğinden, araç tekerleklerinden, iş makinesi paletlerinden veya ağır cisimlerin sürüklenmesi gibi etkenlerden kaynaklanır (Baradan ve Aydın, 2013).

Erozyon, içinde askı halinde parçacıklar bulunduran sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek yine abrasif yolla aşındırmasıdır. Bu olay daha çok su yapılarında ve beton borularda görülmektedir (Baradan ve Aydın, 2013).

Kavitasyon, su yapılarında rastlanan oyulma olayıdır. Suyun hızla aktığı su yapılarında yüzey geometrisinde herhangi bir değişiklik akımın sürekliliğini bozup, düşük basınç bölgeleri oluşmasına yol açar. Akan suyun statik basıncı, sudaki buhar basıncından daha düşükse bu bölgede içi hava dolu kabarcıklar oluşur. Oluşan kabarcıklar suyun statik basıncının yüksek olduğu bölgelere taşındığında buhar su damlacıkları şeklinde yoğunlaşıp aniden dibe çöker. Böylece beton yüzeyinde patlama etkisine benzer şekilde, su darbeleri ve basınç dalgaları meydana gelir. Bu olayın sürekliliği beton yüzeyinde oyulmalara neden olur, özellikle dik açılı yüzeylerde bozulmalar görülür (Baradan ve Aydın, 2013).

Betonun aşınma dayanıklılığı, beton yüzeyinin birkaç mm derinliğindeki çimento matrisinin boşluk yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, düşük s/ç oranı ile çalışılması, taze betonda ayrışma ve aşırı terlemenin önlenmesi ve betonun bakımının (kür) eksiksiz ve zamanında yapılması gereklidir. Özellikle su yapılarının projelendirilmesinde alınacak önlemlerle oyulma ve aşınma olaylarını azaltmak olanaklıdır. Suyun akış düzgünlüğünü bozacak ve hızının aniden değişmesine yol açacak uygulamalardan kaçınılmalıdır. Genellikle basınç dayanımı fazla olan betonun aşınmaya karşı da dayanıklılığı fazladır. Ancak beton sınıfı tek parametre olmayıp, yüzeyin aşınmaya karşı dayanıklılığı bazı önlemlerin (yüzey sertleştirilmesi vb.) alınması ile artırılabilir. TS EN 206/1'e göre C30/C37 ve üzerindeki bir beton sınıfının tercih edilmesi, çok şiddetli etki durumunda ise beton sınıfının C35/45 ve üzerinde olması tavsiye edilir (Baradan ve Aydın, 2013).

Betonun aşınma, erozyon ve kavitasyon etkisini azaltmak için alınacak önlemler; basınç dayanımı minimum C30/37 olan beton kullanımı eğer ortamın aşınma, erozyon ve kavitasyon etkisi fazlaysa basınç dayanımı minimum C40/50 olan beton tercih

edilmelidir. Aşınma dayanımı yüksek agrega seçilmelidir ve/veya betonun dış ortamla temas sağlayan yüzeyinin bazalt, kuvars, granit gibi malzemelerden oluşması sağlanmalıdır. S/ç oranı düşük beton üretilmelidir. Taze betonda terleme ve ayrışma oluşumu önlenmelidir. Perdahlama ve kür işlemi zamanında, eksiksiz ve düzgün bir şekilde yapılmalıdır.

3.5. Beton Baraj Yapılarında Aşınma Sorunlarına Karşı Alınacak Önlemler

Beton baraj yapılarında ki barajların kullanım ömrünü etkileyen en önemli sorunlardan, aşınma sorunlarının giderilmesi, azaltılması veya sonrasında tamir için betona uygulanacak bazı yöntemler vardır. Bu yöntemler betonun aşınmasının giderilmesi veya azaltılması amacıyla betonun üretiminde ya da sonrasında uygulanmaktadır.

3.5.1. Beton yüzeyini çelik kaplama uygulaması

Kavitasyon aşınmasına maruz kalmış betonun korunması için paslanmaz çelik plakalarla kaplama genellikle başarılı bir yöntem olmuştur. Paslanmaz çelik plakalarla kaplanmış yüzeyler normal beton yüzeylerine oranla kavitasyon aşınmasına karşı çok daha dayanıklıdır. Bu malzeme kavitasyon ve korozyona karşı oldukça dirençlidir. Çelik plakalar güvenli bir şekilde yerine sabitlenmiş ve titreşimin etkilerini en aza indirmek için yeterince sert olmalıdır. Titreşim oluşumu oldukça tehlikelidir. Titreşim plakaların birbirinden ayrılmasına plakanın altındaki beton yüzeyin zarar görmesine sebep olabilir. Çelik kaplama betonun hasar belirtilerini gizleyebilir.

3.5.2. Elyaf takviyeli beton uygulaması

Beton elyafları betonun içerisine atıldığı zaman hiç bir şekilde topaklanma dağılmama gibi bir sorunla karşılaşmaz. Betonda homojen bir şekilde üç boyutlu olarak dağılarak betonun hem mukavmetini artırır hemde betonda mikro çatlak önleyici olarak görev yapar. Beton dökümü yapıldıktan sonra beton nem kaybettiğe büzülme gerçekleştirir. Bu büzülme sırasında betondaki gerilmeden dolayı beton çatlama başlar ve beton döküldükten sonra bunun için bir çare bulunamaz ancak beton karışıma beton elyafı koyulduğunda betonun içerisindeki dağılımından dolayı betonun gerilmesini alır. Çatlak başlamadan elyaf önünü keser ve sünek daha esnek bir beton zemin elde edilir ve betonun içerisinde elyaf olduğundan dolayı beton segregasyona uğramaz bunun sebebi betonun içerisinde elyaf agregaları tutarak dibe çökmesini

engellemesidir. Yani betonun agregaları dibe çökerse yüzeyde çimento kısmı kalır ve bu da betonun yapısını bozulmasına ve en önemli olarak betonun aşınma ve beton tozmasına sebep olur. Beton elyafı kullanımı ile betondaki mikro çatlaklar oluşmaz, betonun tozmasının önüne geçilir, beton aşınması en aza indirgenir, betonda segregasyonun önlenmesine böylelikle agregaların birbirine bağlanması sağlanır ve sünek bir beton elde edilir. Elyaf katkılı betona çelik lifte ilave edilirse mükemmel bir beton ortaya çıkar (Adamiak, 2012)

3.5.3. Epoksi harç içeren beton uygulaması

Reçine, sertleştirici ve kuvars kumundan oluşan epoksi harcı özel kaplamaların hazırlanmasında veya betonlarda bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Epoksi harçları nemli ortamlarda ve su altında kullanılabilir. Epoksiler betonun donma çözölmeye olan direncini artırır. Beton yüzeyinde pürüzsüz ve geçirimsiz bir tabaka oluşturur. Böylelikle beton aşınma etkisine karşı daha dayanıklı bir hal alır.

3.5.4. Silis dumanlı beton uygulaması

Aşınma erezyonuna karşı dayanıklılık için kullanılan yöntemlerden biridir. Laboratuvar testlerinde uygun miktarda silika dumanı betonun çekme kuvvetini artırır. Silika dumanlı harç ile erezyona uğrayan bölgelere tamir uygulanabilir.

3.5.5. Püskürtme beton uygulaması

Hidrolik yapıların onarımında yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem betonun kalıp kullanılmadan uygulanmasına olanak sağlar ve onarım kısıtlı alanlarda rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Diğer onarım yöntemlerine göre daha ekonomiktir, zamandan ve işçilikten kazanç sağlar. Geleneksel püskürtme betonuna ek olarak, fiberle güçlendirilmiş püskürtme beton, polimer püskürtme beton ve silis duman püskürtme beton gibi modifiye betonlar hava üfleme veya püskürtme beton yöntemi ile uygulanabilir.

3.5.6. Poliüretan ve neopren esaslı kaplama uygulaması

Poliüretan ve neopren esaslı kaplamalar aşınma ve kaviteasyona karşı iyi direnç göstermiştir. Bu gibi esnek kaplamalarla ilgili sorun, beton yüzeylere olan bağlarıdır.

Kaplamanın bir kenarı veya bir kısmı yüzeyden yırtıldıktan sonra, tüm kaplama hidrolik kuvvetle oldukça çabuk soyulabilir.

3.5.7. Lifli beton uygulaması

Agrega, çimento ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek şartıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda liflerin katılmasıyla elde edilen betona lifli beton adı verilir.

Lifli beton, dağılmış geliş güzel yönlendirilmiş lif ihtiva eden betondur. Betonda lif malzemesi olarak kullanılan cam, plastik polipropilen ve çelik gibi malzemelerin ilavesiyle yeni yapılan lif takviyeli bir betonda mukavemet artışı sağlanmaktadır (Adamiak, 2012)

Geleneksel beton, tipik olarak yorulma, kaviteasyon (boşluk, oyuk, çukur), aşınma, çarpma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf bir performans sergiler. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, beton içine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun yukarıda anılan zayıf özellikleri iyileştirilerek beton güçlendirilmiştir.

Dinamik yükleme veya çarpma mukavemetini artırmak, malzemenin dökülme parçalanma ve dağılmasını önlemek için lif ilave edilir.

Yapıdaki çekme, eğilme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı ve zor kesit tesirlerine karşı yapı elemanı, çelik donatı ve lif ile kuvvetlendirilerek dayanımı büyük ölçüde artırılabilir.

Lif düktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır.

Normal donatı ile birlikte liflerin kullanılması halinde bazı yapısal davranış bozukluklarının önüne geçilebilir.

Çelik lifli beton, içerisindeki çelik lifler nedeniyle yük altında geleneksel betonlardan daha farklı davranış gösterir. Genellikle su yapılarında tokluk, darbe dayanımı ve kaviteasyon dayanımında bir artış meydana gelmiştir. Kırılma anında yüksek enerji absorbe etme özelliği sonucu betonun kırılması için yapılması gerekli iş büyümüştür. Su yapılarında, kritik yapılar olarak tanımlanan dolusavak, dolusavak boşaltım kanalı,

dolusavak saptrıcıları, sıçrama eşiği, dipsavak, enerji kırıcı havuz gibi yapılar. Bu yapıların lifli beton ile üretimi aşınmalara karşı alınacak önlemlerdendir (Adamiak, 2012).

4. AŞINMA OLAYI

Aşınma, sürtünen yüzeylerden istenmediği halde malzeme transferi ve kaybı olarak tanımlanabilir. Birbirlerine değen yüzeyler, bağıl hareketleri sırasında zamanla aşınarak harap olurlar. Makine veya yapı elemanlarının ömrüne tesir eder. Bu olay, karmaşık bir karaktere sahip olup, şimdiye kadar yapılan araştırmalar sonunda çeşitli faktörlerin aşınma ile ilişkilerini gösteren tek bir formülün elde edilmesi mümkün olmamıştır (Gökçer, 2013).

Aşınma özeliği metallerde etraflı bir şekilde incelenerek bazı teoriler geliştirilirken, yatak malzemesi olarak bazı polimer malzemelerin de aşınma mekanizması izah edilmeye çalışılmıştır (Gökçer, 2013).

İnşaat mühendisliği yapılarında kullanılan tabii taş ve beton gibi malzemelerde ise aşınma özelliği genellikle belirli aşınma şartlarını temsil eden deney metotları ile incelenmiş ve daha çok malzemenin çeşitli özelliklerinin, bazı ortam şartlarının aşınma özelliğini ne yönde etkilediği araştırılmıştır (Özbolat, 2005).

Ancak, genelde, metallerde çeşitli aşınma tipleri için geliştirilen teorilerin ve aşınmayı belirleyen kanunların bazı yaklaşıklarla taş yapılı cisimlerin aşınmasını açıklamada kullanılabileceğini söylemek pek yanlış olmayacaktır (Özbolat, 2005).

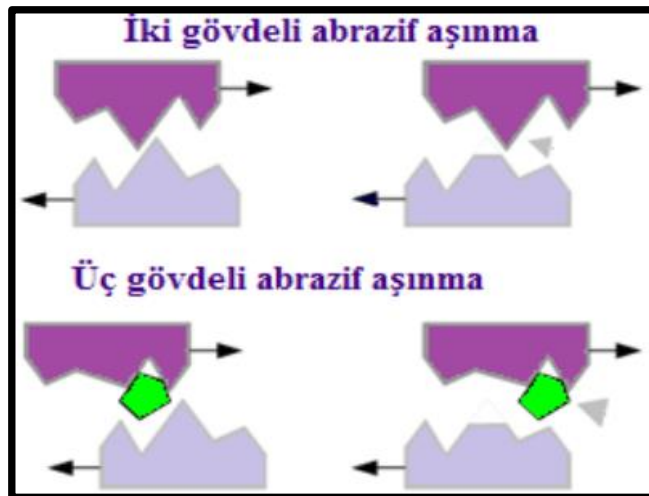
Aşınma etkisini malzemenin kendisinin sertliği, tokluğu, mukavemeti, mikro yapısı, kimyasal bileşimi; aşınma maruz kalacak olan malzemenin yüzeyine temas edecek malzemenin türü, ortamın hızı, sıcaklığı, basıncı ve yüzey düzgünlüğü belirler. Ayrıca beton yüzeylerinin çelikle kaplanması, elyaf takviyeli beton üretimi, reçineli sertleştiricili ve kuvars kumundan oluşan epoksi harcı kullanımı, silis dumanlı beton üretimi, püskürtme beton kullanımı, poliüretan ve neopren esaslı kaplama kullanımı, çelik lifli beton üretimi betonun aşınma direncini kuvvetlendirir.

Aşınma çeşitleri; adezif (yapışma) aşınması, abrazif aşınma, erozyon aşınması, korozyon aşınması, delaminasyon (kavkım) aşınması, yüzeysel yorgunluk aşınması, yorulma (pitting) aşınması ve kavitasyon aşınmasıdır. Aşınma olayının görüldüğü malzemelerde genelde en az iki veya daha fazla aşınma çeşitlerinin etkili olduğu görülür.

4.1. Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma, birbirine göre izafi hareket eden cisimler arasında sürtünen yüzeylerden sert olan yüzeyin yumuşak olan yüzeyi zamanla çevreninde etkisiyle yüzeyde hareket yönünde zımparalanmışçasına bir etki bırakmasına veya sürtünen yüzeyler arasında dışardan gelen yada cisimlerin yüzeyinde var olan sert çıkıntılarının adezif aşınma yoluyla koparak ortama gelen her iki yüzeyinde kazınmasına sebep olan aşınma çeşididir. Aşınmanın gerçekleştiği sırada kopan parçalar ve dışarıdan gelen parçalar sisteme girerler ve aşınma olayını hızlandırırlar. Sürtünen yüzeyleri oluşturan malzemelerin sertliği, mikro yapısı, tane yapısı, yüzeyin pürüzlülüğü, aşındırıcının sertliği, ortamın hızı abrazif aşınmayı direk etkileyen faktörlerdir. Abrazif aşınma, iki gövdeli ve üç gövdeli abrazif aşınma olarak iki çeşittir. Şekil 4.1. de iki ve üç gövdeli aşınma gösterilmiştir.

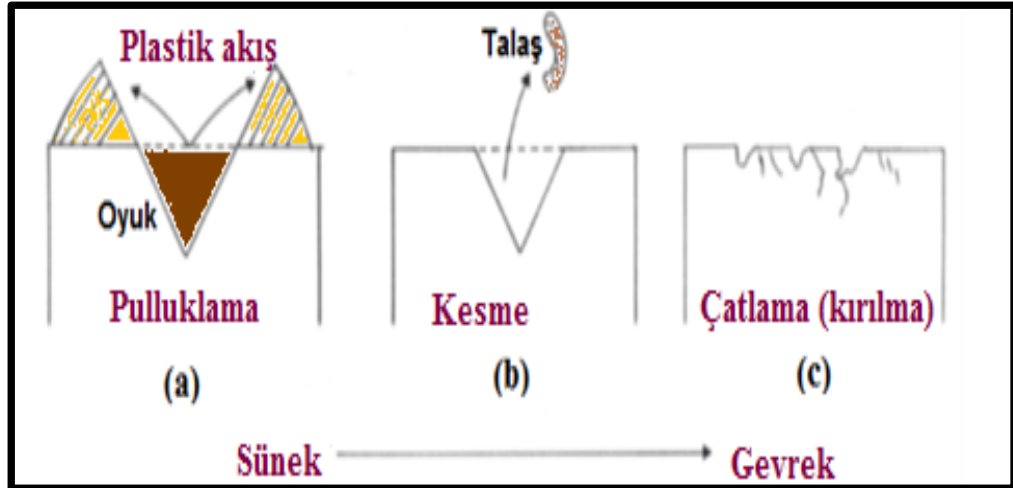
Üç gövdeli abrazyonda sert parçacıklar irtibat halindeki yüzeyler arasında yuvarlanma ya da kayma suretiyle hareket edebilirken iki gövdeli abrazyona iki yüzey arasında hapsolmuş sert çıkıntılar ya da gömülmüş sert parçacıklar yol açar. Şekil 4.1.'de iki ve üç gövdeli abrazyonun şematik hali görülmektedir. Ağırlık kaybının üç gövdeli aşınmada iki gövdeli aşınmaya göre daha az olduğu bilinmektedir. Ayrıca üç gövdeli aşınmada, aşındırma açılarındaki farklılık nedeni ile de aşındırıcıların küçük bir kısmı aşınmaya neden olur. Öğütme, kesme ve talaşlı imalat işlemleri iki gövdeli abrazyona örnek olarak verilebilir. Abrasif aşınma ve parlatma da üç gövdeli abrazyona örnek olarak verilebilir (Topal, 2017)



Şekil 4.1. İki ve üç gövdeli abrazif aşınma (Topal, 2017)

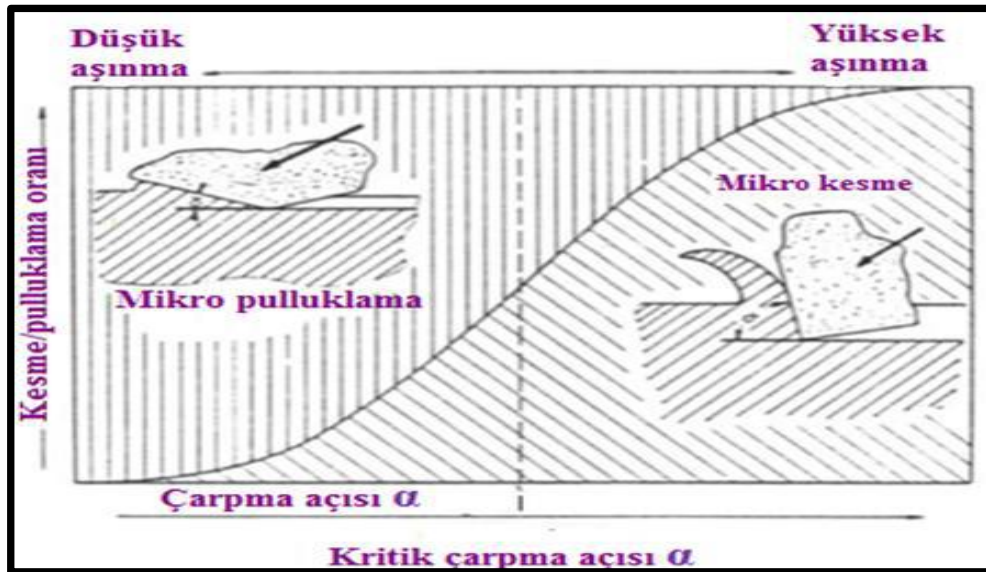
Artan sertlik, azalan deformasyon, sertleşme hızı ve ana fazdan daha sert, tok, elastik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller ile abrasif aşınma direncini arttırmak mümkündür. Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi abrazif aşınma esnasında malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması mevcuttur: pulluklama, mikro kesme ve yüzey çatlama. Pulluklama, aşınma izi bünyesinde önemli ölçüde bir plastik deformasyonun oluşması sonucu meydana gelir ve aşınma oluşunun iki tarafına da malzeme yığılmasına neden olur (Şekil 4.2.a). Bu işlem yüzeyde tamamıyla sünek plastik deformasyon oluşturduğundan, aşınmış malzeme yerinden sökülmez, böylece aşındırıcı parçacığın bir kere geçişi esnasında hacimsel kayıp olmaz. Sadece sınırlı miktarda deformasyona malzeme kırılmadan önce tolerans gösterebildiğinden birçok aşındırıcı parçacığın hareketi sonucu elbette ki hacimsel kayıp gerçekleşir (Topal, 2017).

Mikro kesmede aşınma oluşu için çıkarılan malzeme, talaş parçacıklarının, kırık parçaların v.b. oluşumuyla sonuçlanan kırılma ile uzaklaştırılabilir (Şekil 4.2.b) ve aşınma oluklarının hacmine karşılık gelen bariz bir malzeme kaybı meydana gelir. Literatürde mikro-pulluklamanın mikro-kesmeye oranının aşındırıcının çarpma açısına bağlı olduğu kanıtlanmıştır. Mikro-pulluklamadan mikro-kesmeye geçiş çarpma açısı (α) kritik bir çarpma açısı (α_c) değerine ulaştığında oluşur. Çarpma açısı (α), aşındırıcı parçacığın ön yüzü ile aşınmamış yüzey arasındaki açıyı tanımlar (Şekil 4.3.). Bu kritik açı değeri aşındırıcı parçacık ön yüzü ve aşınmış malzeme arasındaki sürtünmeye bağlı olduğu için mikro talaş oluşumu için büyük oranda farklılık gösterir. Bölgesel yüzey gerilimi kritik bir değere ulaştığında aşınma nispeten gevrek kırılmayla (çatlama) meydana gelir (Şekil 4.2.c). Bu tür bir aşınma bazen aşınmaya dirençli alaşımların daha sert fazlarında (mesela karbürler, metaller arası bileşikler) bölgesel olarak gözlenebilir (Topal, 2017).



Şekil 4.2. Malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması (Topal, 2017).

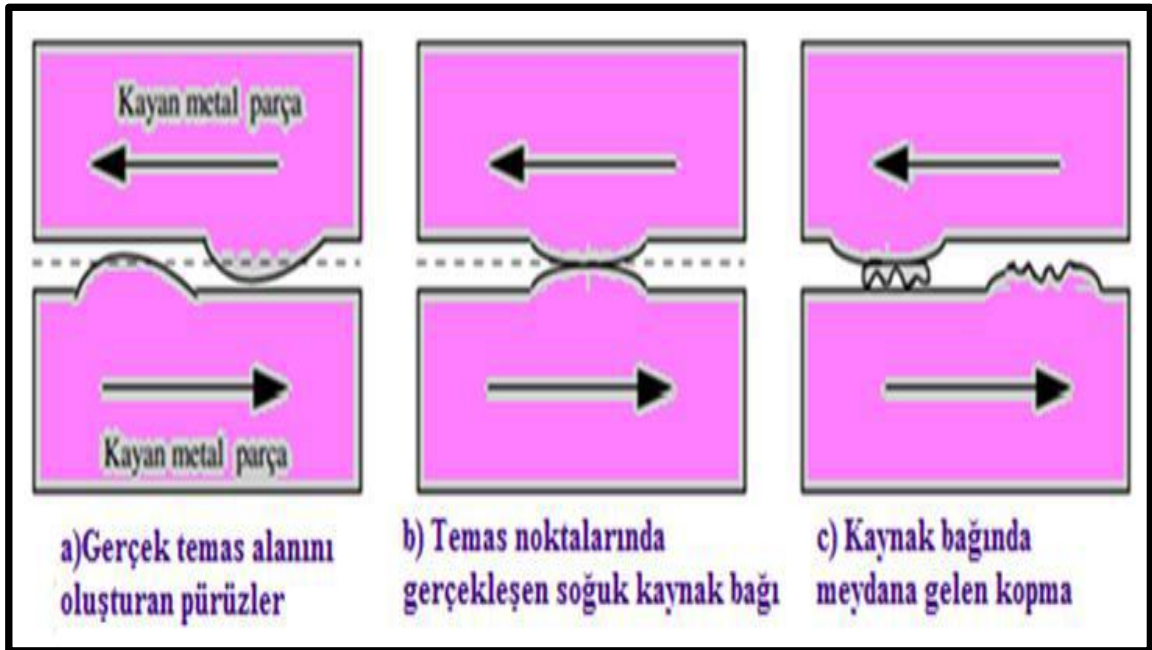
Şekil 4.3.'de çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi gösterilmektedir. Bu şekil, çarpma açısındaki artışın büyük ağırlık kayıplarına sebep olduğunu açıkça göstermektedir. Aşınma mekanizması saf mikro-pulluklamadan mikro-kesmeye doğru aşınmış yüzeyin sertliğinin artması ile değişir. Literatürde çeliklere uygulanan tek nokta çizik testi sonuçları ile batma derecesinin artarken, abrasif aşınma mekanizmasının pulluklamadan takozlama tipine ve daha sonra ise kesme tipine dönüştüğü görülmüştür. Şekil 4.3.'de pulluklama, takozlama ve kesme sonucunda oluşan aşınma izleri görülmektedir (Topal, 2017).



Şekil 4.3. Çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi (Topal, 2017).

4.2. Adhezif (Yapışma) Aşınma

Genellikle aşındırıcı parçacıklar olmadan iki metalik bileşen arasındaki kayma hareketinden doğan ve kayma aşınması olarak da bilinen aşınma türü adezif aşınmadır. Adezif aşınma, temas halinde birbirine göre bağıl hareketi olan yağlamasız metal yüzeylerinde gerçekleşir (Şekil 4.4.a). Temas halindeki malzemelere yük uygulandığı zaman, gerçek temas alanı görünür temas alanından çok daha küçük olduğundan temas noktalarında aşırı gerilmeler meydana gelir. Akma sınırı aşıldığı zaman ise metal-metal temas noktalarında küçük soğuk kaynak bağları oluşur (Şekil 4.4.b). Kaynak bağları oluşturan temas noktaları devam eden hareketin etkisi ile parçalandığı zaman kopan parçacıklar aşınma ürünlerini meydana getirir (Şekil 4.4.c). Kopma (kırılma) çoğu zaman zayıf olan metalde meydana gelir. Temas noktalarında kopmaların devam etmesi ile aşınan kısım kopan parçanın yardımıyla çok daha çabuk aşınır. Kopan parçacıklar buldukları yerden serbestçe düşebilecekleri gibi yüzeyler arasında kalarak abrasif aşınmaya neden olabilirler (Topal, 2017).



Şekil 4.4. Adhezif aşınma (Topal, 2017)

Temas noktalarında yer alan kaynak bağlarının oluşumunda yüzeylerin fiziksel ve kimyasal etkileşimleri büyük oranda rol oynamaktadır. Yüzeyler sürtünme halindeyken etki eden yükün fazlalığı ile buna ilave olarak yüksek sıcaklık (çalışma

koşulları ve temas noktalarında aşırı sıcaklık artışı) kaynak bağlarının oluşmasını kolaylaştırır. Kaynak bağı oluşumu malzeme yüzeylerinin temizliği ölçüsünde kuvvetli olmaktadır. Bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı azaltır. Adhezif aşınma değişik biçimlerde meydana gelebilmektedir. Uygulanan yük yeteri kadar düşük olduğu zaman, kayma ile beraber sürtünme ısınmasının bir sonucu olarak oksit filmi meydana gelir. Oluşan bu oksit filmi hareketli yüzeyler arasında metalik bağ oluşumunu önlediği için düşük aşınma oranı görülür. Bu tür aşınma oksidatif adını alır. Eğer uygulanan yük fazla ise, malzeme çiftlerinin yüzeyleri arasında metalik bağ oluşumu meydana gelir. Bunun neticesinde meydana gelen aşınma miktarı oldukça yüksek olup bu aşınma şiddetli ya da metalik aşınma olarak adlandırılır (Topal, 2017).

Parça kalkması (sürtünme yapışması) olarak adlandırılan bir diğer aşınma türü ise şiddetli adhezif aşınmanın özel bir şeklidir. Parça kalkması (sürtünme yapışması), şiddetli bölgesel plastik deformasyon, kırılma ve önemli ölçüde malzemenin bir temas yüzeyinden diğerine geçmesi olarak betimlenebilir. Bu yüzden temas yüzeylerindeki yoğun plastik deformasyon sürtünme yapışması direnci için önlenmelidir. Adhezif aşınmanın bu türü parça kalkmasıdır, eğer aşınma kalıntısı açıklıktan (hacimden) daha büyükse ve hareket eden ögenin hapsedilmesi sonucunda meydana gelir. Çoğu kez hareketli parçaların çok az bir kısmı parça kalkmasına ve takiben hasara maruz kalır. Sert dolgu, çoğu yağlayıcının kararlı kalamadığı çok yüksek sıcaklıklarda çalışan otomobil egzoz supabı gibi yağlamanın imkânsız olduğu durumlarda, adhezif aşınmayı en aza indirmek için önerilir. Yumuşak ve sert yüzeyler temas halinde çalıştığında aşınma çok hızlı bir şekilde meydana gelir. Yumuşak yüzeyler sert yüzeyler ile sürtündükleri zaman daha hızlı aşınacakları için adhezif aşınma yaşanan parçaların sert dolgu kaynağında yüzeyler arasındaki sertlik değeri farkının çok fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Adhezif aşınma, ortaya çıkan aşınmaların % 15'ini oluşturur. Bu tip bir aşınmada darbeye yer olmadığı için martenzitik sert dolgu alaşımlarının kullanılması güzel bir çözümdür. Manganlı östenitik ve kobalt alaşımları da alternatif olarak kullanılabilir. Çelik hadde merdaneleri, taşıyıcı komponentler, yağlanmamış rulman yüzeyleri, makas ağızları, silindir yatakları gibi parçalar genellikle adhezif aşınmaya maruz kalan parçalardır (Topal, 2017).

4.3. Korozyon Aşınması

Metallerin sürtünen yüzeyleri havadaki oksijen ile kimyasal reaksiyona girip korozyona uğrarlar. Bunların yüzeylerinde oksit tabakaları oluşur. Bu oluşan oksit tabakası sert ve gevrek ise, kaymanın etkisiyle parçalanıp dökülerek abrazyona neden olur. Temiz kalan yüzeyler tekrar korozyona uğrarlar. Bu olayın sürekli tekrarlanması korozif aşınmayı oluşturur. Diğer taraftan, oksit tabakasının yumuşak ve sünek olması halinde bu yağlayıcı etki yapar ve kayma durumunda aşınma hızını yavaşlatır (Özbolet, 2005).

Korozyon aşınmasında en önemli faktör paslanma olayıdır. Bu olaya ortamdaki oksijenin etkisi ile oksitlenme sebep olur. Oksitlenmeden korunmak için yüzey kaplaması yapmak ve etkileşime katılmayacak alaşım malzemeleri seçmek gerekir.

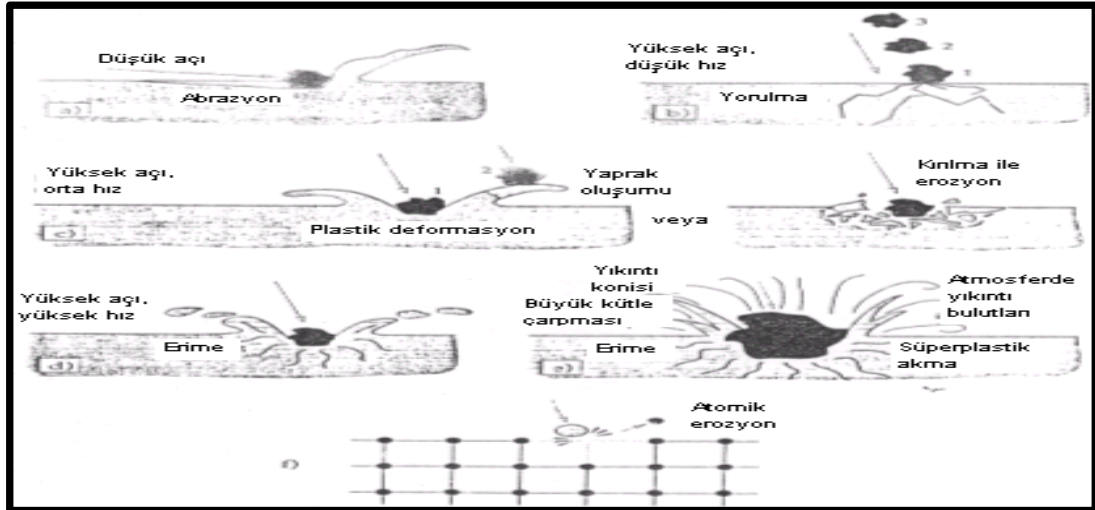
4.4. Yorulma Aşınması

Yuvarlanma hareketinin olduğu durumlarda, tekrarlı yüklemeler altında yüzeydeki malzemenin yorulması sonucu bu tip aşınma oluşur. Yüzeyin altında maksimum kayma gerilmesinin olduğu noktada yorulma nedeniyle çatlaklar meydana gelir. Tekrarlı yüklemelerde malzemenin sürekli mukavemet sınırı geçilirse, bu çatlaklar büyüyerek, yüzeyden pullanma şeklinde parçalar kopar ve yüzeyde çukurcuklar oluşur. Bazı hallerde çatlakların yüzeyden başladığı ve yağlayıcı maddenin çukur teşekkülünde önemli rol oynadığı ileri sürülmektedir (Özbolet, 2005).

4.5. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, bir cismin yüzeyine katı veya sıvı parçacıkların çarpması sonucu oluşur. Erozyon aşınması çok çeşitli yerlerde gözüktür ve tipik örnekleri toz bulutundan geçen bir uçağın pervanelerindeki hasar ve mineral çamurları işleme sistemlerindeki pompa pervanelerindeki aşınmadır. Diğer aşınma şekillerinde de olduğu gibi, mekanik dayanım aşınma direncini garantilemez ve aşınmayı minimize etmek için detaylı bir malzeme karakteristiği çalışması gereklidir (Erdem vd., 2005).

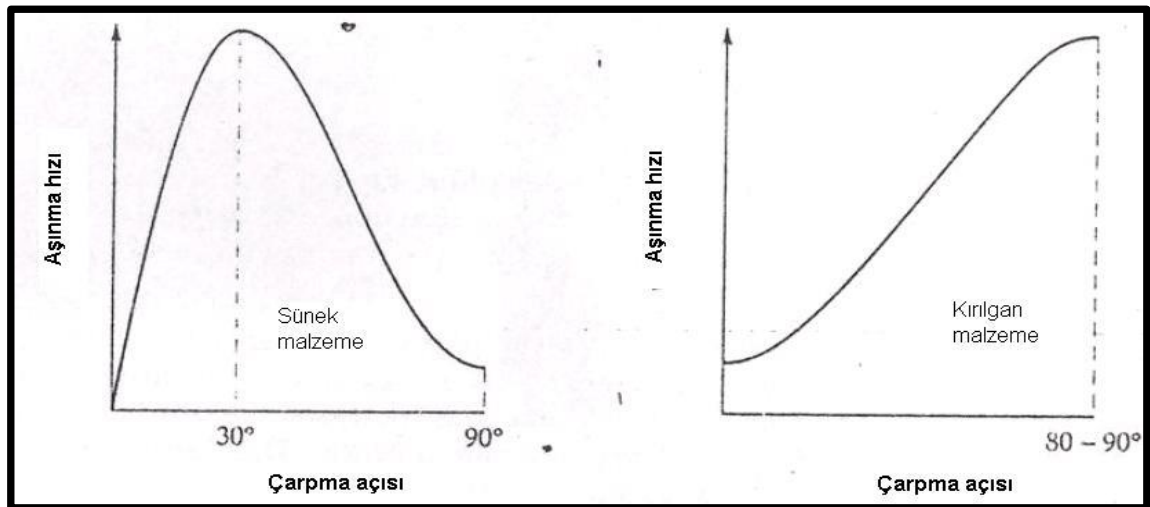
Erozyon aşınması, parçacık malzemesi, çarpma açısı, çarpma hızı ve parçacık boyutu kontrollü birçok aşınma mekanizması içerir. Bilinen erozyon aşınma mekanizmaları Şekil 4.5.'de gösterilmiştir (Erdem vd., 2005).



Şekil 4.5. Bilinen erozyon aşınma mekanizmaları (Erdem vd., 2005)

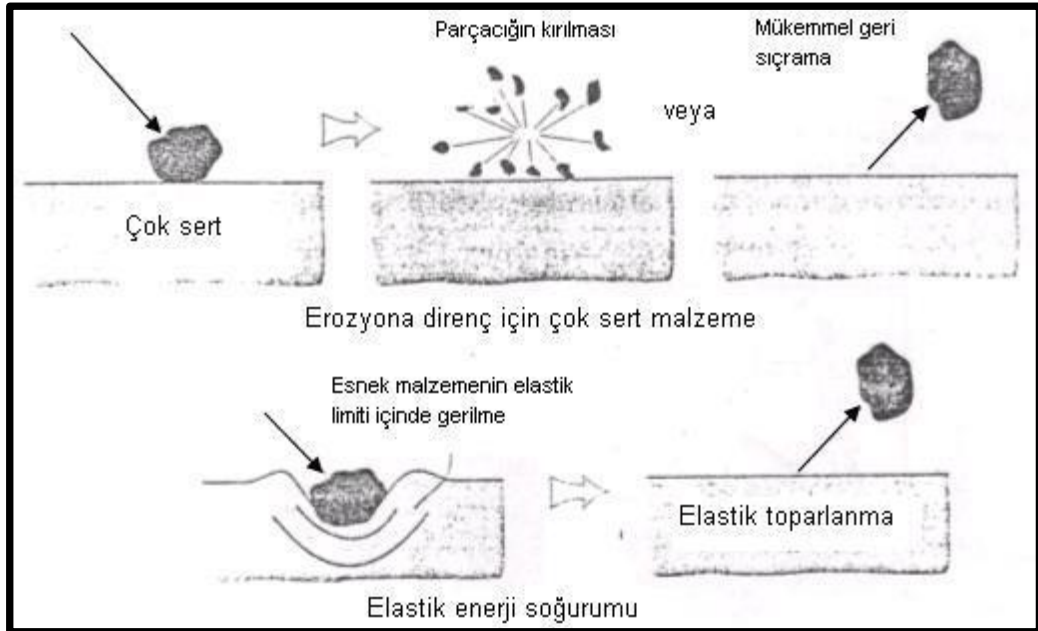
Oldukça düşük sayılabilecek 20° gibi bir açıda, eğer parçacık sert ve yüzey yumuşaksa, çok ciddi aşınma meydana gelebilir. Bu koşullarda, abrazif aşınmaya benzer bir aşınma geçerlidir. Eğer yüzey kırılansa, en yüksek aşınma, 90° 'ye yakın açılarda, yüzey parçalanması şeklinde görülür. Aşınma hızı ile çarpma açısı arasındaki bağlantı, sünek ve kırılğan malzemeler için ayrı ayrı Şekil 4.6.'da verilmiştir (Erdem vd., 2005).

Düşük çarpma açılarında erozyonun maksimum gözüktüğü durumlarda, sünek erozyon aşınma karakteri geçerlidir. Tersine, maksimum aşınma yüksek açılarda görülüyorsa, kırılğan erozyon aşınma karakteri geçerlidir (Erdem vd., 2005).



Şekil 4.6. Sünek ve kırılğan malzemeler için parçacık çarpma açısı ile aşınma hızının ilişkisi (Erdem vd., 2005).

Düşük açılarda, malzeme sertliği ve deformasyon sertleşmesi özelliği, aşınmayı durdurucu etki yapar. Sertlik arttırmak için çeliğe yapılan ısıl işlem, düşük açılarda direnci arttırırken, yüksek açılarda azaltır. Çok yüksek eroziv aşınma direnci için genel bir reçete yoktur. Mevcut olabilecek iki farklı eroziv aşınma önleme mekanizmasından dolayı, yüksek aşınma direnci birden fazla tür malzeme ile sağlanabilir. Kimi durumlarda malzeme çok sert ve tok olabilir, böylece çarpan malzeme yüzeyde bir iz yapamaz. Alternatif olarak, malzeme tok ve çok düşük elastik modüle sahip olabilir, bu durumda parçacıkların kinetik enerjisi zararsız bir şekilde emilir. Bu zıt aşınma koruma mekanizmaları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Çok sert ve çok elastik malzemelerin zıt aşınma koruma mekanizmaları (Erdem vd., 2005).

5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Malzeme

5.1.1. Agregata

Agregata, doğal veya yapay ya da her iki çeşit yoğun mineral maddenin, çeşitli boyutlardaki kırılmış veya kırılmamış tanelerine denir. Doğal – yapay, kum – çakıl ve mineral – organik şekilde gruplandırmak mümkündür. Betonun ana bileşenlerinden olan agregata tane boyutlarına göre iri, karışık ve ince agregata olmak üzere 3 gruba ayrılabilir.

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan 3 farklı agregatardan kalker kökenli kırma taş agregaları (Şekil 5.1.) Eskişehir ÇİMSA hazır beton santralinin silolarından, kuvarsit agregaları (Şekil 5.2.) İstanbul’da kuvarsit ocağı bulunan İsmert İnşaatın sahasından, granit agregaları (Şekil 5.3.) ise Bilecik’te fabrikası bulunan Granitaş adlı firmadan temin edilmiştir. Bu agregaların her biri kırım ve eleme işlemlerin ardından kum, iri ve orta agregata olarak 3 gruba ayrılmıştır.



Şekil 5.1. Kalker kökenli iri tane boyutlu kırma taş agregata



Şekil 5.2. Orta tane boyutlu kuvarsit agregası



Şekil 5.3. İnce tane boyutlu granit agregası

TS EN 933-1 (2012) standardına uygun elek analizi yapılarak bu agregaların beton tasarımında ki tane dağılımları belirlenmiştir ve buna göre beton üretimi yapılmıştır.

5.1.2. Karışım suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki farklı işlevi bulunmaktadır. Birincisi, çimentonun kimyasal reaksiyonunu başlatması ve çimentonun hidrasyonunu tamamlayarak dayanım kazandırmasıdır. İkincisi de agregası ile çimento hamurunun boşluksuz şekilde sıkıştırılıp yapışmasını sağlamak için gerekli olan sudur.

Beton tasarımında kullanılan karışım suyunun içilebilir derecede temiz ve kaliteli olması önemlidir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan su TS EN 1008 (2003) standartlarına uygun olan Bilecik şebeke suyu kullanılmıştır.

5.1.3. Katkı maddeleri

Beton üretiminde kullanılan katkı maddeleri, taze veya sertleşmiş betonun özelliklerini istenilen amaç doğrultusunda değiştirmek için kullanılan, betonun karıştırma işlemi sırasında yada karıştırma işleminden hemen önce karışıma ilave edilen, kimyasal veya puzolanik kökenli maddelerdir.

Yapılan deneysel çalışmada katkı maddesi olarak İKSA İnşaat Katkıları Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen POLYCAR 150 (Şekil 5.4.) tipi hiper akışkanlaştırıcı tercih edilmiştir. Bunun nedeni s/ç oranı düşük baraj betonlarında genellikle işlenebilirliği kolaylaştırmak amacıyla kimyasal katkıların tercih edilmesidir. Beton üretimi aşamasında bütün agrega çeşitlerinde ki numunelerde eşit oranda kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Polycar 150 tipi akışkanlaştırıcı

5.1.4. Çimento

Çimento, kendi başına veya kum, çakıl, kırma taş gibi agregalarla beraber su ile karıştırılıp çimento hamuru haline geldikten sonra hem hava da hem de suda zamanla sertleşerek katı hale dönüşen, hidrolik bağlayıcı bir maddedir. Çimentonun farklı tip ve sınıfları vardır.

Yapılan deneysel çalışmalarda tercih edilen piyasada sıklıkla kullanılan Portland Çimento CEM I 42.5 R (Şekil 5.5.) tipidir. Bilecik'te fabrikası bulunan Sançim tesislerinden temin edilen bu çimentonun genellikle kullanım alanları; yapı kimyasalları üretiminde tamir harcı olarak, kendiliğinden yerleşen harçlarda, ankraj harçlarında, akaryakıt istasyonunda, spor alanlarında, otopark ve havaalanı zeminlerinde, şevli arazi kaplamasında, bahçe ve yol bordürleri imalatında olarak örneklendirilebilir. Çizelge 5.1. de Portland Çimento CEM I 42,5 R fiziksel-kimyasal mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Portland Çimento CEM I 42,5 R fiziksel-kimyasal mekanik özellikleri

| Fiziksel Özellikler | | Kimyasal Bileşim | |
|---|------|--------------------------------|---------|
| Özgül Ağırlık (g/cm ³) | 3,06 | Bileşenler (%) | Çimento |
| Özgül Yüzey (cm ² /g) | 3641 | SiO ₂ | 19,96 |
| 0,090 mm Elek Kalıntısı (%) | 0,1 | Al ₂ O ₃ | 5,03 |
| 0,045 mm Elek Kalıntısı (%) | 4 | Fe ₂ O ₃ | 2,88 |
| Standart Kıvam Su Miktarı (%) | 29,6 | CaO | 63,6 |
| Priz Başlama Süresi (Dk) | 190 | MgO | 1,17 |
| Priz Sona Erme Süresi (Dk) | 260 | K ₂ O | 0,8 |
| Genleşme (Le Chatelier) (mm) | 1 | Na ₂ O | 0,27 |
| Mekanik özellikleri | | SO ₃ | 2,79 |
| Basınç Dayanımı N/mm² | | Cl ⁻ | 0,005 |
| 2 Gün | 21,6 | TiO ₂ | |
| 7 Gün | 42,7 | Mn ₂ O ₂ | |
| 28 Gün | 61,5 | Kızdırma Kaybı | 3,02 |



Şekil 5.5. Portland çimentosu CEM I 42,5 R

5.2. Yöntem

5.2.1. Beton numunelerinin tasarımı ve yapılışı

Yapılan çalışmada, karışım oranları belirlenmiş beton numuneleri 40 dm³ hacmindeki betonyerde karıştırılarak hazırlanmış olup çökme ve yayılma deneylerinin yapılmasının ardından kalıplara tokmak ve şiş yardımıyla hava boşlukları kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. 24 saat boyunca oda sıcaklığında kalıplarda bekletilen numuneler hava kompresörü yardımıyla kalıptan çıkartılıp, sıcaklığı 20 ± 2 °C olan kirece doymuş su içerisinde 7, 28 ve 90 gün süreyle kür edilmiştir. Beton numunelerinin mekanik, kalıcılık ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için 70mm x 70mm x 70mm'lik küp, 150mm x 150mm x 150mm'lik küp ve 100mm yüksekliğinde 300mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir.

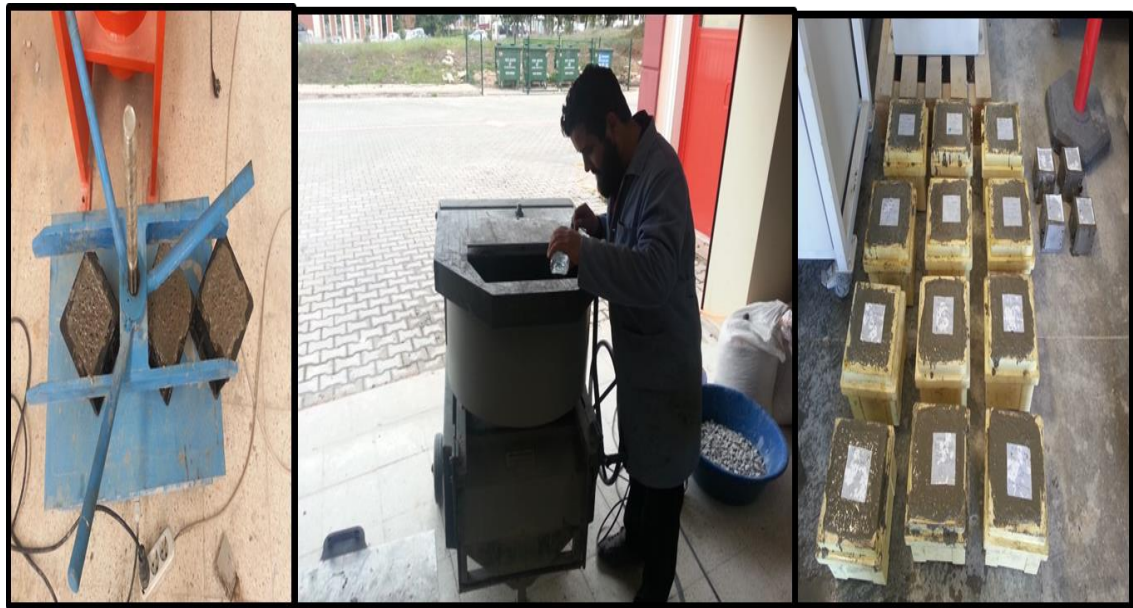
Çalışmayla alakalı bütün agrega ve beton deneyleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. Çizelge 5.2. de beton numunelerinin kısaltması ve içeriği tanımlanmıştır. Bundan sonra ki deney sonuçlarında isimlendirme kullanılmıştır. 1 m³ betonun agrega çeşitliliğine göre kullanımı Çizelge 5.3. de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 5.6. de beton üretimine ait görüntüler bulunmaktadır.

Çizelge 5.2. Numune kısaltmalarının gösterimi

| Numune Adlandırma | |
|-------------------|--|
| Kal (referans) | tamamı kalker içerikli numune |
| %50 Kal - %50 Kuv | referans numunesinin iri agregalarının yarısı kalker yarısı kuvarsit içerikli numune |
| %100 Kuv | referans numunesinin iri agregalarının tamamı kuvarsit içerikli numune |
| %50 Kuv - %50 Gra | referans numunesinin iri agregalarının yarısı kuvarsit yarısı granit içerikli numune |
| %50 Gra - %50 Kal | referans numunesinin iri agregalarının yarısı granit yarısı kalker içerikli numune |
| Kuv | tamamı kuvarsit içerikli numune |
| Gra | tamamı granit içerikli numune |
| %100 Gra | referans numunesinin iri agregalarının tamamı granit içerikli numune |

Çizelge 5.3. Numunelerin 1 m³ lük betonda ki karışım miktarı

| 1 m ³ karışım miktarı | Çimento (kg) | Su (l) | 0 mm - 4mm (kg) | 4 mm - 16 mm (kg) | 16 mm - 32 mm (kg) | Akışkanlaştırıcı (kg) |
|----------------------------------|--------------|--------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Kal (referans) | 355 | 170 | 807 Kal | 472 Kal | 688 kg Kal | 0.92 |
| %50 Kal - %50 Kuv | 355 | 170 | 807 Kal | 472 Kal | 344 Kal + 344 Kuv | 0.92 |
| %100 Kuv | 355 | 170 | 807 Kal | 472 Kal | 688 Kuv | 0.92 |
| %50 Kuv - %50 Gra | 355 | 170 | 807 Kal | 472 Kal | 344 Kuv + 344 Gra | 0.92 |
| %50 Gra - %50 Kal | 355 | 170 | 807 Kal | 472 Kal | 344 Gra + 344 Kal | 0.92 |
| Kuv | 355 | 170 | 819 Kuv | 364 Kuv | 637 Kuv | 0.92 |
| Gra | 355 | 170 | 753 Gra | 471 Gra | 660 Gra | 0.92 |
| %100 Gra | 355 | 170 | 807 Kal | 472 Kal | 688 Gra | 0.92 |

**Şekil 5.6.** Beton üretimine ait görüntüler

5.2.2. Elek analizi deneyi

Yapılan çalışmada beton tasarımı için agregaların tane dağılımını belirlemek üzere elek analizi deneyi TS EN 933-1 (2012) standardına göre yapılmıştır. Elek analizi deneyi kırım işlemi yapılan agregaların büyükten küçüğe doğru elenerek belirli tane büyüklüğüne göre ayrılması işlemidir. Beton üretimi için kullanılan elekler 31.5mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm ve 0.25mm boyutlarındadır. 3 farklı agrega grupları kırım işlemlerinin ardından 105°C ± 5°C'de etüvde 24 saat bekletildikten sonra

sarsma makinasına konularak elek analizi deneyi yapılmıştır. Elek analizi deney düzeneği ve vibrasyon masası Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Elek analizi deney düzeneği ve vibrasyon masası

5.2.3. Agrega birim ağırlık deneyi

Deneyin amacı agreganın gevşek ve sıkışık olarak kaplayacağı hacmi belirlemektir. Agreganın kap içindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle hesaplanır, birimi kg/m^3 olarak kullanılır. Agreganın kompositesi ve işlenme durumu bu deneyle saptanmaktadır. Yapılan deneylere ait fotoğraf Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Agrega birim ağırlık deneyi

5.2.3.1. Gevşek birim ağırlık deneyi

Agregayı tam olarak temsil edecek şekilde malzeme alınır ve etüvde $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de 24 saat bekletilir. Deney numunesi tane çapına göre önerilen miktar kadar alınır. Deneyde kullanılmaya karar verilmiş 3 dm^3 (V) lük kabın ağırlığı tartılır ve (W_1) sonuç not alınır. Agregaya deney kabının üst yüzeyinden yaklaşık 3-5cm yüksekliğinden ölçü kabı bir miktar taşacak şekilde doldurulur ardından şişleme çubuğuyla kabın üst yüzeyi dikkatlice yüzey sıfırlanacak şekilde sıyırılır. Sıyırılma işleminden sonra içi gevşek şekilde doldurulmuş deney kabı tekrar tartılır ve (W_2) sonuç not alınır. Son ağırlığın (W_2) ilk ağırlığına (W_1) olan farkın deneyde kullanılan kabın hacmine (3dm^3) bölünmesiyle agreganın gevşek birim hacim ağırlığı bulunur. Gevşek birim hacim ağırlığı aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 5.1.) ile hesaplanır.

$$B_g = (W_2 - W_1)/V \quad (5.1.)$$

Eşitlikte;

B_g = Gevşek birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

W_2 = Gevşek agregaya ile dolu hacmi belli olan ölçü kabının ağırlığı (gr)

W_1 = Hacmi belli olan ölçü kabının boş ağırlığı (gr)

V = Hacmi belli olan ölçü kabının iç hacmi (cm^3)

5.2.3.2. Sıkışık birim ağırlık deneyi

Gevşek birim ağırlık deneyinde olduğu gibi agregayı temsil eden malzeme alınıp etüvde 24 saat bekletildikten sonra deneyde kullanılacak kabın boş ağırlığı tartılarak (W_1) not alınır. 3 dm^3 lük kabın önce 1/3 ü doldurulur ve şişleme çubuğuyla agreganın yüzeye eşit olarak yayılmasını sağlayarak, agregaya zarar vermeden ve kabın tabanına değmeyecek şekilde 25 defa şişleme yapılır. Bu işlem kabın 2/3 ünde ve 3/3 ünde ayrı ayrı 3 seferde yapılır. Her bölümün şişmesi bir önceki bölüme kadar şişin girmesi şeklinde uygulanır. Şişleme işleminin ardından yüzey şişleme çubuğuyla sıyırılır. Sıkışık agregayla doldurulmuş kabın ağırlığı tartılarak (W_2) not alınır. Sıkışık birim hacim ağırlığı aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 5.2.) ile hesaplanır.

$$B_s = (W_2 - W_1)/V \quad (5.2.)$$

Eşitlikte;

$B_s =$ Sıkışık birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

$W_2 =$ Sıkışık agregaya ile dolu hacmi belli olan ölçü kabının ağırlığı (gr)

$W_1 =$ Hacmi belli olan ölçü kabının boş ağırlığı (gr)

$V =$ Hacmi belli olan ölçü kabının iç hacmi (cm^3)

5.2.4. Agreganın özgül ağırlık deneyi

Beton karışım hesabının yapılması için gerekli olan unsurlardan biri de kullanılan agregaların özgül ağırlıklarının belirlenmesidir. Bu amaçla agreganın büyüklüklerine göre iri agregaların özgül ağırlık tayini deneyi ve ince agregaların özgül ağırlık tayini deneyi olmak üzere iki farklı deney yapılır.

5.2.4.1. İri agregaların özgül ağırlık tayini deneyi

Beton tasarımında kullanılan farklı çeşitteki iri agregaların (31,5 mm – 63 mm aralığında ki tane büyüklüğüne sahip agregalar) özgül ağırlıkları yapılan deneyle tespit edilmiştir. Eleme ve yıkama işlemi gerçekleştirilen numuneler kurumaya bırakılır. Kuruyan agregalar tartılır (x) ve not alınır. Aynı numuneleri tel sepete yerleştirilir ve tel sepet, suyun seviyesi, sepetin üst kısmından en az 50mm yukarıda olacak şekilde oda sıcaklığında ki suya daldırılır. Arşimet terazisindeki değer sabit kalana kadar beklenir ve sonuç (z) not alınır. Ardından agreganın numuneleri çıkartılır yüzeyindeki su tanecikleri silinip tekrar tartılır (y) sonuç not alınır. Agregaların özgül ağırlıkları aşağıdaki eşitlikler (Eşitlik 5.3. - 5.4. – 5.5.) yardımı ile tayin edilir. Yapılan deneye ait fotoğrafa Şekil 5.9. da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. İri agregaların özgül ağırlık tayini deney cihazı

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = x / y-z \quad (5.3)$$

$$\text{Doygun Esasa Göre Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = y / y-z \quad (5.4)$$

$$\text{Görünür Özgül Ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = x / x - z \quad (5.5)$$

Eşitliklerde;

x = Kuru ağırlık (gr)

y = Doygun yüzey kuru ağırlık (gr)

z = Sudaki ağırlık (gr)

5.2.4.2. İnce agregaların özgül ağırlık tayini deneyi

Beton tasarımında kullanılan ince agregaya (4 mm – 31,5 mm aralığında ki tane büyüklüğüne sahip olan agregalar) çeşitlerinin özgül ağırlıkları TS EN 1097 – 6 standardı ile belirlenmiştir. Eleme ve yıkama işlemi gerçekleştirilen numuneler kurumaya bırakılır. Hazırlanan deney numunesi piknometre de hazırlanan (22 ± 3) °C sıcaklığında ki suya batırılır ve hapsolmuş hava hafifçe sallanarak deney ortamından uzaklaştırılır. Agregalar 24 saat piknometre içinde bekletilir. Gerekli işlemlerin ardından ince agregaların özgül ağırlıkları aşağıdaki eşitlikler (Eşitlik 5.6. – 5.7. – 5.8. – 5.9.) yardımı ile tayin edilir.

$$\text{Hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = Z / ((V-W) - (Y-X)) \quad (5.6)$$

$$\text{Doygun esasa göre hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = (X-A) / ((W-V) - (Y-X)) \quad (5.7)$$

$$\text{Görünür özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = Z / ((W-Y) + Z) \quad (5.8)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = ((X-V) - Z) / Z \quad (5.9)$$

Eşitliklerde;

V = Piknometre ağırlığı (gr)

W = Piknometre ağırlığı + su ağırlığı (gr)

X = Piknometre ağırlığı + yüzey kuru suya doygun numune ağırlığı (gr)

Y = Piknometre ağırlığı + yüzey kuru suya doygun numune ağırlığı + su ağırlığı (gr)

Z = Kuru numune ağırlığı (gr)

5.2.5. Los Angeles deneyi

Beton tasarımında kullanılan agregaların aşınma değerlerinin belirlenmesi amacıyla TS EN 1097-2 (2010) standartlarına uygun olarak Los Angeles deneyi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında amaç aşınma dayanımı yüksek beton üretimi gerçekleştirmektir. Bu deney vesilesiyle agreganın aşınmasının beton aşınmasına karşı ilişkisi araştırılmaktadır.

Öncelikle agreganın yığınının tam anlamıyla yansıtan 15 kg agreganın 10 mm ile 14 mm arasındaki göz açıklığına sahip elekler arasında kalan 5 kg'lık numune Los Angeles deney aletine konular ve ardından 31 – 33 devir / dakika arasında 500 devir yapan deney işlemi başlatılır. Makinenin devir işlemi bitmesiyle birlikte tanburun içindeki agregalar 1.6 mm'lik elekten elenir. Eleğin üstünde kalan değer tartılır. Deney düzeneğine sokulan 5 kg'lık agreganın ile oranlanarak aşınma değeri bulunur (Eşitlik 5.10).

$$LA = (5000 - m) / 5000 \quad (5.10)$$

Eşitlikte;

LA = Los Angeles katsayısı

m = 1.6 mm göz açıklığına sahip elek üstündeki kalan agreganın ağırlığı (g)

TS EN 1097-2 (2010) standartlarına göre betonda kullanılan agregaların aşınması %50'den küçük olmalıdır. Fakat daha fazla aşınma ile karşılaşabilecek yapılar

(yol, baraj) için üretilecek betonun agregalarının aşınma miktarı %30'dan küçük olmalıdır. Kullanılan Los Angeles deney aleti Şekil 5.10.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Los Angeles deney aleti

5.2.6. Taze betonda kıvam tayini deneyleri

Üretilecek olan beton numunelerin işlenebilirliğini belirlemek amacıyla beton daha taze halindeyken yapılan; çökme hunisi metodu (TS EN 12350-2, ASTM C 143), vebe metodu (TS EN 12350-3, BS 1881), sıkıştırma faktörü metodu (TS 2872, BS 1881-2), sıkıştırma derecesi metodu (TS 12350-4, BS 1881-2) ve yayılma tablası (TS EN 12350-5) gibi çeşitleri bulunan deneylerdir.

Yapmış olduğumuz çalışmalarda çökme hunisi metodu ve yayılma tablası deneyleri yardımı ile taze betonun kıvam sınıfları belirlenmiştir.

5.2.6.1. Çökme deneyi

Bu deneyde taze betonun işlenebilirliğini çökme hunisi metodunun yardımı ile belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu metoda göre karışım işlemi tamamlanmış taze beton, boyutları standart olan kesik çökme hunisinin (taban yüzey çapı: 200 ± 2 mm, üst yüzey çapı: 100 ± 2 mm ve yükseklik: 300 ± 2 mm) içerisine doldurulur. Bu doldurma işlemi huninin 1/3'erlik hacmine 3 kez tekrarlanıp her defasında 25 kez şişleme işlemiyle sıkıştırılması sağlanarak tamamlanır. Çökme hunisinin yanda bulunan tutma yerlerinden

tutularak yukarı yönlü çekilmesinin ardından, taze beton kütleindeki çökme boyu betonun kıvam boyu olarak tespit edilir. Aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak milimetre cinsinden betonun işlenebilirliğini verir. Bu deney TS EN 12350-2, ASTM C 143 standartlarına uygun olarak yapılmış olup Şekil 5.11’de gösterilmiştir.

Taze betondaki çökme değerinin TS EN 206-1’e göre sınıflaması Çizelge 5.4. de gösterilmiştir.

Bu deney metodu, çökme değeri 10 mm ile 200 mm arasındaki betonların kıvam değişimlerine duyarlıdır. Bu değerler dışındaki çökme değerlerinin ölçülmesine uygun değildir. Bu değerlerin dışında kalan değerlerin ölçülmesi için diğer kıvam tayini deneylerinden uygun olanı tercih edilmelidir.

Agrega tane büyüklüğü açısından da üretimi gerçekleştirilen taze betonda ki en büyük tane büyüklüğü 40 mm’den daha fazla olan betonlarda çökme hunisi metodu uygun değildir.

Çizelge 5.4. Taze betonun çökme değerleri sınıflaması (TS EN 206-1)

| Sınıf | Çökme (mm)* | Tolerans (mm) |
|---|-------------|---------------|
| S1 | 10-40 | ±10 |
| S2 | 50-90 | ±20 |
| S3 | 100-150 | ±30 |
| S4 | 160-210 | ±30 |
| S5 | ≥220 | ±30 |
| * Çökme ölçümü, en yakın 10 mm'ye yuvarlatılmalıdır | | |



Şekil 5.11. Çökme hunisi deneyi

5.2.6.2. Yayılma tablası deneyi

Bu deneyde taze betonun işlenebilirliğini yayılma tablası adı verilen bir tablanın, 15 defa düşme hareketi yaptırılarak üzerindeki taze betonun yayılmasını sağlamak ve yayılan taze betonun yayılma mesafesinin bir birine dik iki eksenli yüzeylerin yayılmalarını ölçerek belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu yayılma tablası deney metodu, ince agregasız taze beton ve en büyük tane çapı 63 mm'den daha büyük olan taze betonlarda tercih edilmez. Bu metoda göre yayılma değeri 340 mm ile 600 mm arasında olan taze betonlar için en uygun kıvam tayini deneyidir. Bu değerler dışında ki kıvama sahip taze betonların kıvam tayini belirlenmesi için uygun olan diğer kıvam tayini deneyleri tercih edilmelidir. Bu deney TS EN 12350-5 standartlarına uygun olarak yapılmış olup Şekil 5.12.'de gösterilmiştir.

Yayılma tabası deneyinin TS EN 206-1'e göre yayılma sınıfları Çizelge 5.5. de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Taze Betonun Yayılma sınıfları (TS EN 206-1)

| Sınıf | Yayılma çapı (mm) | Tolerans |
|-------|-------------------|----------|
| F1 | ≤340 | ±30 |
| F2 | 350-410 | |
| F3 | 420-480 | |
| F4 | 490-550 | |
| F5 | 560-620 | |
| F6 | ≥630 | |

**Şekil 5.12.** Yayılma tablası deneyi

5.2.7. Betonda birim ağırlık deneyleri

Betonun yoğunluğunu belirlemek amacıyla başvurulan bu deneyler taze betonda TS EN 12350-6 (2010) standartlarına ve sertleşmiş betonda TS EN 12390-7 (2010) standartlarına uygun olarak ayrı ayrı deney işlemi gerçekleştirilir.

5.2.7.1. Taze beton birim ağırlık deneyi

Taze betonda karışım işleminin sona ermesinin ardından hacmi ve kütlesi belirli olan kap içerisine taze betonun en az iki tabaka halinde 25'er kez şişlenerek sıkıştırılıp

yerleştirilip yeni kütlelerin kaydedilip taze betonun yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla başvuru olan deney yöntemidir.

5.2.7.2. Sertleşmiş beton birim ağırlık deneyi

Sertleşmiş betonun kütesinin hacmine oranıyla ortaya çıkan yoğunluk sertleşmiş betonun birim ağırlığını verir. Elde edilen bu yoğunluk betonarme hesaplarda kullanılan yapı malzemesinin öz ağırlığını ve sertleşmiş betonların yoğunluklarına göre sınıflandırılmasını sağlar.

5.2.8. Ultrases geçiş hızı deneyi

Üretilen beton numunelerin sertleşmiş halde, içerisinden geçen ultrasonik ses dalgalarının geçiş hızının belirlenmesi için yapılan bu deney TS EN 12504-4 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Ölçülen ultrases geçiş hızı betonun, mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının tespiti gibi bazı özelliklerin belirlenmesinde kullanılır. Bu deneyin yapılmasında ki asıl amaç betonun kalite kontrolünün yapılmasıdır.

Ultrases geçiş hızı deneyi betonun dökümünün gerçekleştiği yerde veya laboratuvar ortamında kolayca yapılabilir ve elde edilen değerler betonun boyutundan ve şeklinden etkilenmemektedir.

Ultrases geçiş hızı eşitlik 5.10.'da ki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$V=L/T \quad \text{(Eşitlik 5.10.)}$$

Eşitlikte;

L: Ses hızı, (km/s)

T: Ses geçiş süresi, (s)

L: Ölçü boyu, (km)

Ultrases deney sonuçlarının betonun kalite kontrolü açısından değerlendirilmesi ise Çizelge 5.6. da ki standartlara göre yapılmaktadır.

Çizelge 5.6. Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi (Şimşek, 2010)

| Ses hızı (V) km/s | Beton kalitesi |
|-------------------|----------------|
| > 4.5 | mükemmel |
| 3.5-4.5 | iyi |
| 3.0-3.5 | şüpheli |
| 2.0-3.0 | zayıf |
| < 2.0 | çok zayıf |

Ultrases geçiş hızı deney cihazı ve deneye tabi tutulan sertleşmiş beton numune Şekil 5.13.'de gösterilmiştir. Bu deney 7, 28 ve 90 gün kür havuzunda bekletilen 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarına sahip bütün numunelere uygulanmıştır.



Şekil 5.13. Ultrases geçiş hızı deney cihazı ve deney uygulanan sertleşmiş beton numunesi

5.2.9. Beton basınç dayanımı deneyi

7, 28 ve 90 gün boyunca 20 °C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilen 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarına sahip küp şekilli beton numunelerin basınç

dayanımlarını belirlemek amacıyla beton basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. Bu deney TS EN 12390-3 (2012) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Biraz daha ayrıntıya girecek olursak deney presi, yükün uygulanacağı biri altta diğeri üst kısmında oynak olan iki bloktan oluşmaktadır. Üstteki bloğun oynak olması, yükün numuneye tam iletilmesini sağlar. Numune bu iki başlık arasına yerleştirildikten sonra, numuneye yük verilir. Yük uygulama işlemi numune kırılıncaya kadar devam ettirilir ve kırılma yükü kaydedilir. Bu preslerin hidrolik sistemle çalışanlarında standart olarak saniyede 5 kgf/cm² hızla yük uygulanır.

Şekil 5.14.'da görüldüğü üzere Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi inşaat mühendisliği laboratuvarında bulunan çevik makinanın üretimi olan beton basınç dayanım cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.14. Beton basınç dayanım deneyi cihazı ve küp numune

Bu deneyden elde edilen sonuçlara göre sınıflandırılan karakteristik basınç dayanımına göre beton sınıfları Çizelge 5.7.'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Karakteristik basınç dayanımına göre beton sınıfları

| Beton sınıfı | 28 günlük basınç dayanımı MPa | |
|--------------|---|--|
| | 150 mm x 300 mm boyutundaki silindir dayanımı | 150 mm x 150 mm boyutundaki küp dayanımı |
| C8/10 | 8 | 10 |
| C12/15 | 12 | 15 |
| C16/20 | 16 | 20 |
| C20/25 | 20 | 25 |
| C25/30 | 25 | 30 |
| C30/37 | 30 | 37 |
| C35/45 | 35 | 45 |
| C40/50 | 40 | 50 |
| C45/55 | 45 | 55 |
| C50/60 | 50 | 60 |
| C55/67 | 55 | 67 |
| C60/75 | 60 | 75 |
| C70/85 | 70 | 85 |
| C80/95 | 80 | 95 |
| C90/105 | 90 | 105 |
| C100/115 | 100 | 115 |

5.2.10. Beton aşınma deneyleri

Üretilen betonların aşınma değerlerinin ölçülmesi için TS 2824 EN 1338/DIN 52108 (2005) standartlarına uygun böhme aşınma deneyi ve ASTM C 1138 standartlarına uygun su altında bilyalı aşınma deneyi 7, 28 ve 90 gün kür havuzunda bekletilen numunelere uygulanmıştır.

5.2.10.1. Böhme aşınma deneyi

70 mm x 70 mm x 70 mm küp şeklindeki boyutlarda üretilen 8 tip numuneden 16 tanesi kür havuzunda 28 ve 90 gün boyunca bekletilen beton numuneler, TS 2824 EN 1338/DIN 52108 (2005) standartlarına uygun olarak Şekil 5.15. de gösterilen böhme aşınma deney cihazında aşınmaya maruz bırakılmıştır.



Şekil 5.15. Böhme aşınma deneyinin 22 tam devir sonrası bitişi

Deneye başlamadan önce küp numunelerin hacim ve kütlesi kayıt altına alınır. Hacim ve kütlesi belirli olan numuneler, böhme aşınma deney cihazının üstünde bulunan numune sabitleme bölümüne bırakılır. Deney cihazı üzerine aşındırıcı serpiştirilir. Numunenin üzerine 294 N'luk aşındırma kuvveti uygulayan ağırlık yerleştirilerek her biri 22 tam dönüşten meydana gelen 16 tekrar yapılarak deney tamamlanır. Aşındırıcı madde her deney öncesi değiştirilir. Deneyin sona ermesi ile birlikte numunelerin son hacim ve kütleleri belirlenerek not edilir ve eşitlik 5.11. yardımıyla aşınma yüzdesi hesaplanır.

$$\Delta = [(d_1 - d_2) / d_1] \times 100 \quad (5.11)$$

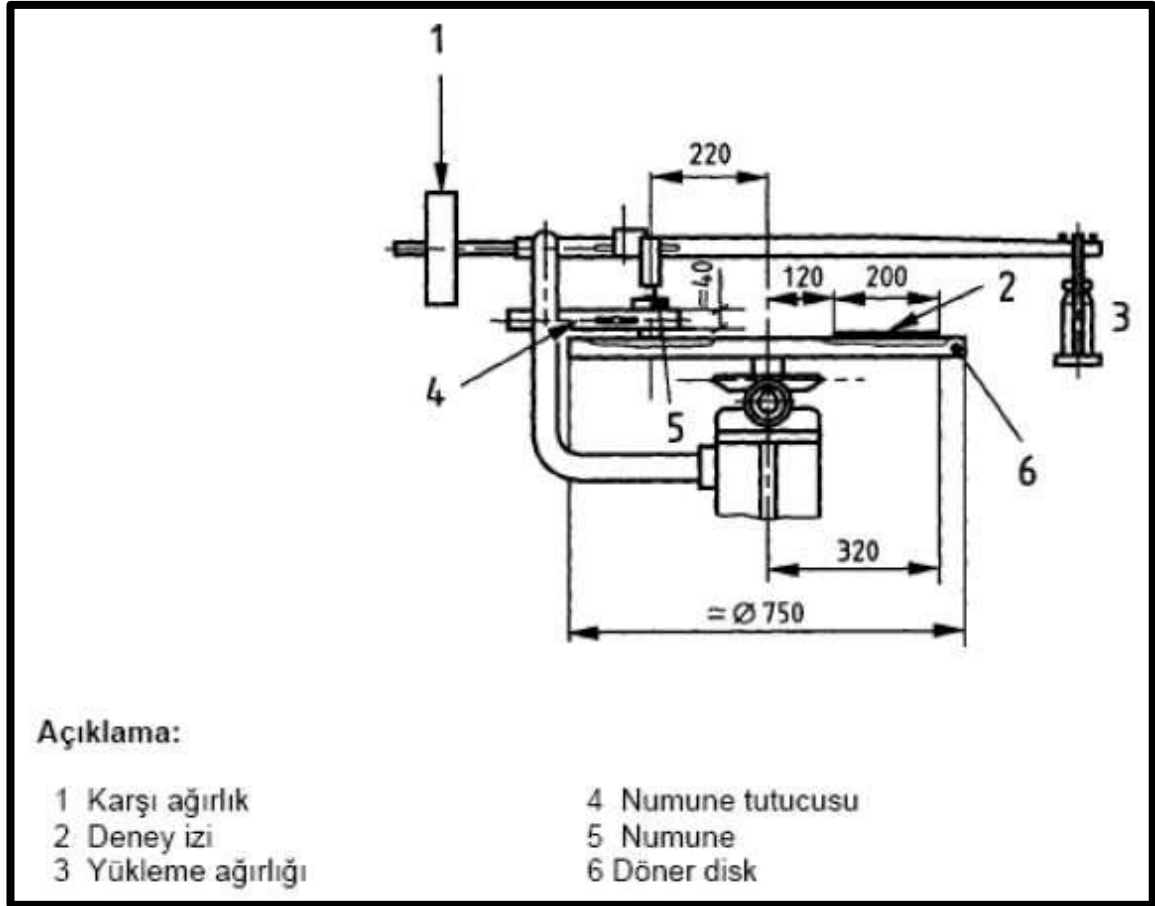
Eşitlikte;

Δ = Hacimsel / kütleli değişim (%)

d_1 = İlk hacim / ilk kütle (cm³/gr)

d_2 = Son hacim / son kütle (cm³/gr)

Böhme aşınma deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 5.16. da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Böhme aşınma deney cihazının şematik gösterimi (TS EN 13892-3, 2015)

5.2.10.2. Su altında bilyalı aşınma deneyi

Bu deney ASTM C 1138 standartlarına uygun olarak Anadolu üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Su altında bilyalı aşınma deneyinde ki amaç sediment tanelerinin aşınmaya etkisini incelemektir. Deneyde sediment etkisini çelik bilyeler sağlamaktadır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 5.17. de, deney cihazına ait fotoğraflar ile numuneler ise Şekil 5.18. ve Şekil 5.19 da gösterilmiştir.

Bu deney cihazı Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi desteğiyle gerçekleştirilen ‘Barajlarda Aşınma Sorunlarının Araştırılması ve İyileştirilmesi (Porsuk Barajı Örneği)’ başlıklı araştırma projesi ile özel olarak tasarlanıp üretilmiştir (Bayazıt, 2018).

Deneyin yapılış aşamaları sırasıyla şu şekildedir.

Deney cihazına uygun 300 mm çapında 100 mm kalınlığında silindirik şekle sahip olan beton numuneleri üretilerek 28 ve 90 günlük kür koşullarında bekletilir. Günü gelen numune yüzey kuru suya doymun ağırlığı kaydedilir.

Ardından deney düzeneğine yerleştirilir ve standartta belirlenen yüksekliğe kadar su doldurulur.

Aşınma etkisinin gözlemlenmesi için değişik boyutlara sahip çelik bilyeler beton numunesinin üzerine yavaşça bırakılır ve deney başlatılır.

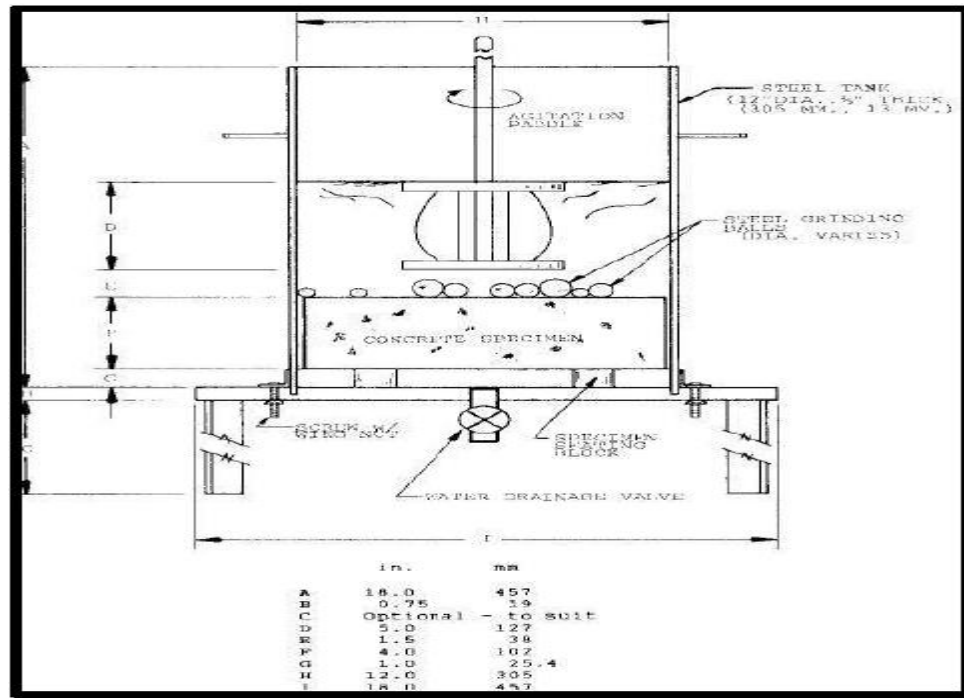
Deneyin başlangıcından itibaren 72. saatin sonunda deney durdurulur. Deney düzeneğinde bulunan beton numunesi alınır ve ağırlığı kaydedilir. Böylelikle ağırlıkça aşınma kaybının ortaya çıkması sağlanır (Eşitlik 5.12).

$$W = [(W_{\text{son}} - W_{\text{ilk}}) / W_{\text{ilk}}] \times 100 \quad (5.12.)$$

W = Yüzdece ağırlık kaybı

W_{ilk} = Numunenin ilk ağırlığı (gr)

W_{su} = Numunenin aşınmadan sonraki son ağırlığı (gr)



Şekil 5.17. Su altında bilyalı aşınma cihazının şematik gösterimi



Şekil 5.18. Su altında bilyalı aşınma deney cihazı



Şekil 5.19. Su altında bilyalı aşınma deney numunesi ve diğer numuneler

6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Bu bölümde tez çalışması kapsamında yer alan agrega deneyleri, taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçlarına yer verilmiş ve ayrıca bu sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

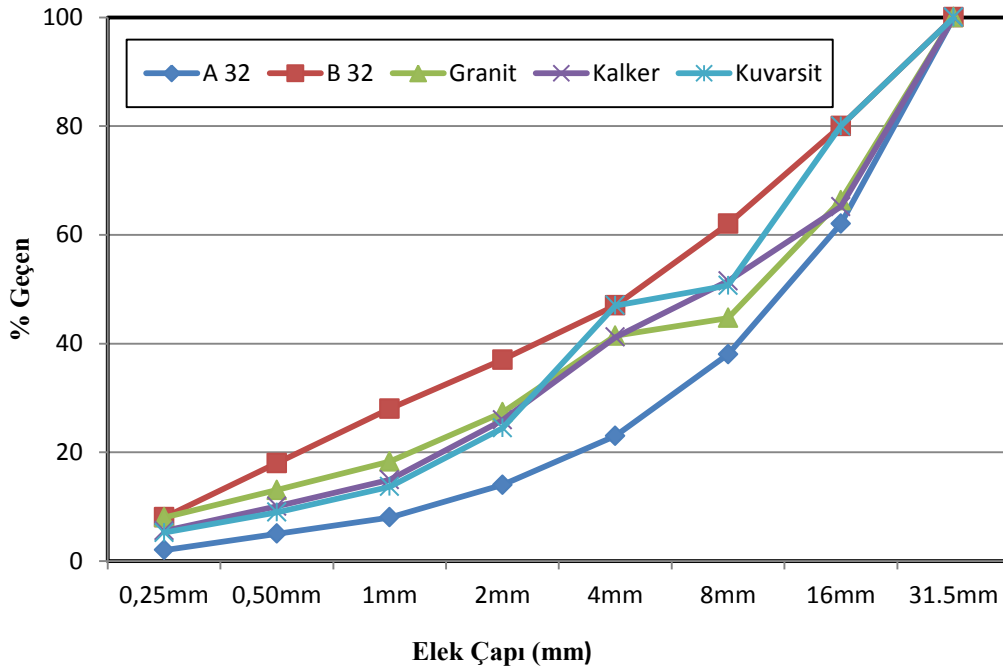
6.1. Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deney Sonuçları

Tez çalışması için beton üretiminde üç farklı agrega tercih edilmiştir. Bunlar, granit, kuvarsit ve kalkerdir. Bu agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi deneyleri, agrega birim ağırlık deneyleri, agrega özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

6.1.1. Elek analizi deney sonuçları

Beton üretiminde kullanılan kalker, granit ve kuvarsit agregaların TS EN 933-1 standartlarına uygun şekilde elek analizi deneyi yapılmıştır. Betonun yeterli işlenebilirliğe sahip olması için agregaların granülometri eğrisi A32 – B32 referans eğrileri aralığında olmasına dikkat edilmiştir.

Çalışmaya ait sonuçlar Şekil 6.1.de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Granit, kuvarsit ve kalker agregaların granülometri eğrisi

6.1.2. Agregada birim ağırlık deney sonuçları

Beton üretiminde kullanılan kalker, kuvarsit ve granit agregaların sıkışık ve gevşek birim ağırlık deney sonuçları Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir. Bu deney TS 706 EN 12620 (2009) standartlarına göre yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde gevşek birim ağırlık ve sıkışık birim ağırlık deneylerinde, iri, ince ve orta tane boyutlarına sahip agregaların birim ağırlığı büyükten küçüğe doğru sırasıyla, kalker, granit ve kuvarsittir. Aynı agregada türünün taneleri arasındaki birim ağırlık değerlerinin farklı olması boşluklu yapı ile açıklanır. Yani iri agregaların gevşek halde veya sıkışık halde de olsa taneler arasında boşluk kaldığından birim ağırlıkları düşük çıkar. İnce agregaların ise taneler arası boşluk oranı azdır ve sıkıştırma ile daha da azalarak birim ağırlık artışına sebep olur.

Çizelge 6.1. Kalker, granit ve kuvarsit agregaların gevşek ve sıkışık birim ağırlık sonuçları

| Agregada Türü | | Birim ağırlık (g/cm ³) | | |
|---------------|---------|-------------------------------------|------|------|
| | | İnce | Orta | İri |
| Kalker | Gevşek | 1,76 | 1,42 | 1,38 |
| | Sıkışık | 1,86 | 1,53 | 1,49 |
| Granit | Gevşek | 1,44 | 1,25 | 1,29 |
| | Sıkışık | 1,68 | 1,36 | 1,39 |
| Kuvarsit | Gevşek | 1,34 | 1,27 | 1,25 |
| | Sıkışık | 1,56 | 1,37 | 1,35 |

6.1.3. Agregada özgül ağırlık deney sonuçları

Beton üretiminde kullanılan kalker, kuvarsit ve granit agregaların, iri ve ince agregada tane büyüklüğüne sahip sınıfları için ayrı ayrı özgül ağırlık değerleri bulunmuştur. TS EN 1097-3 (1999) standartlarına göre yapılan bu deneyin sonuçları Çizelge 6.2. de gösterilmiştir.

Elde edilen deney sonuçlarına göre iri taneler için özgül ağırlık ve ince taneler için özgül ağırlık değerleri büyükten küçüğe doğru sırayla, kalker, granit ve kuvarsittir. Bu deneyde de özgül ağırlığın ince agreganın daha az boşluklu yapı oluşturmasından kaynaklı az da olsa değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 6.2. İri ve ince tane boyutlu agregaların özgül ağırlıkları

| Agrega | İri özgül ağırlık | İnce özgül ağırlık |
|---------|-------------------|--------------------|
| Kalker | 2,797 | 2,801 |
| Granit | 2,665 | 2,671 |
| Kuarsit | 2,578 | 2,583 |

6.1.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları

Beton üretiminde kullanılan agregaların aşınma değerleri Los Angeles deneyi yapılarak tespit edilmektedir (TS EN 1097-2, 2010). Aşınmanın fazla olduğu ortamlarda kullanılan betonların agregası içeriği de kırılma, ufalanma ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır. Standartlara göre beton üretiminde kullanılan agregaların aşınma oranı en çok %50 olduğu belirtilmiştir. Fakat karayolu, dolu savak, hava limanı gibi aşınma durumunun önem arz ettiği yerlerde bu oranın %30'u geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Üretilen beton numunelerinde kullanılacak olan agregaların aşınma oranları Los Angeles deneyi sayesinde tespit edilmiş olup Çizelge 6.3. de elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Yapılan bu deneyden elde edilen sonuçlara göre aşınma direnci en yüksek olan agregası türü granittir, graniti sırası ile kuvarsit ve kalker izlemektedir.

Çizelge 6.3. Kalker, granit ve kuvarsit agregaların aşınma oranları

| Agrega | Aşınma Oranı |
|---------|--------------|
| Kalker | % 16,92 |
| Granit | % 12,85 |
| Kuarsit | % 14,43 |

6.2. Taze Beton Deneyleri

Beton tasarımı tamamlanıp döküm işleminin hemen ardından beton daha taze haldeyken yapılan deneylerin sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Bu deneyler, işlenebilirlik deneyleri ve taze beton birim ağırlık deneyidir.

6.2.1. İşlenebilirlik deneylerinin sonuçları

Bu bölümde hazırlanan taze betonun kalıplara yerleştirilmeden önce yapılan çökme (slump) deneyi ve yayılma tablası deneyi sonuçları Çizelge 6.4. de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde 8 farklı tip olarak üretilen numunelerin çökme

ve yayılma değerleri birbirine yakın olmakla birlikte en az çöken ve yayılan içeriği tamamen kuvarsitten oluşan numune, en fazla çöken ve yayılan içeriği yarı yarıya kuvarsit ve granitten oluşan numunedir. Aynı zamanda bu deney sonuçları incelendiğinde işlenebilirliği en zor olan numune tamamen kuvarsitten oluşan numunedir. İşlenebilirliği en kolay olan numune ise içeriği yarı yarıya kuvarsit ve granit olan numunedir.

Çizelge 6.4. Üretilen taze betonların slump ve yayılma sonuçları

| | Çökme (cm) | Yayılma (cm) |
|-------------------|-------------------|---------------------|
| Kal (referans) | 12 | 39-44 |
| %50 Kal - %50 Kuv | 11 | 39-41 |
| %100 Kuv | 12 | 38-45 |
| %50 Kuv %50 Gra | 13 | 40-46 |
| %50 Gra - %50 kal | 11 | 38-42 |
| Kuv | 9 | 35-39 |
| Gra | 12 | 40-45 |
| %100 Gra | 12 | 40-44 |

6.2.2. Taze beton birim ağırlık deney sonuçları

Hazırlanan taze betonun hacmi belli olan kalıplara yerleştirilmesinin ardından kütlesi kaydedilerek hacmine oranlanmasıyla taze betonun birim ağırlığı ortaya çıkar. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5. de gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre 8 farklı çeşit olarak üretilen numunelerin taze yoğunluk değerleri bir birine yakın olmakla birlikte taze yoğunluğu en fazla olan içeriği tamamen kalkerden oluşan numune, taze yoğunluğu en az olan numune ise içeriği tamamen kuvarsitten oluşan numunedir.

Taze ağırlığı en az olan numune içeriği tamamen kuvarsitten olan numunedir. Bu sonuca göre aynı numunenin slump ve yayılma değerlerine baktığımızda işlenebilirliğinin zor olduğu görülmektedir. Yani zor işlenmeye sahip olduğu boşluklu yapı oluşturabileceği için taze birim ağırlığının düşük olmasına sebep olur. Böylelikle taze beton birim ağırlık deneyi ile slump ve yayılma deneyleri birbirine katkı sağlayan deneylerdir.

Çizelge 6.5. Beton numunelerin taze birim ağırlık değerleri

| | Taze Ağırlık (g/cm ³) |
|---------------------|-----------------------------------|
| Kal (referans) | 2,19 |
| % 50 Kal - % 50 Kuv | 2,17 |
| % 100 Kuv | 2,16 |
| % 50 Kuv - % 50Gra | 2,17 |
| % 50 Gra - % 50Kal | 2,17 |
| Kuv | 2,12 |
| Gra | 2,17 |
| % 100 Gra | 2,17 |

6.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Hazırlanan beton numunelerin gerekli bekleme sürelerini kür havuzunda geçirdikten sonra beton sert halinde iken yapılan deneylerin sonuçları bu bölümde verilmiştir. Bu deneyler sertleşmiş beton birim ağırlık deneyleri, ultrases geçiş hızı deneyleri, basınç dayanımı deneyleri, böhme aşınma deneyleri ve su altı bilyalı aşınma deneyleridir.

6.3.1. Sertleşmiş beton birim ağırlık deney sonuçları

Hacmi bilinen sertleşmiş beton numunesi kalıptan çıkarılmasının ardından hacmine oranlanmasıyla elde edilen birim ağırlık sonuçları Çizelge 6.6. da gösterilmiştir. Çizelgeden ortaya çıkan değerlere göre değerler bir birine yakın olmakla birlikte sertleşmiş beton yoğunluğunun en fazla olduğu numune içeriği tamamen kalker olan numune, sertleşmiş beton yoğunluğu en az olan numune ise içeriği tamamen kuvarsit olan numunedir.

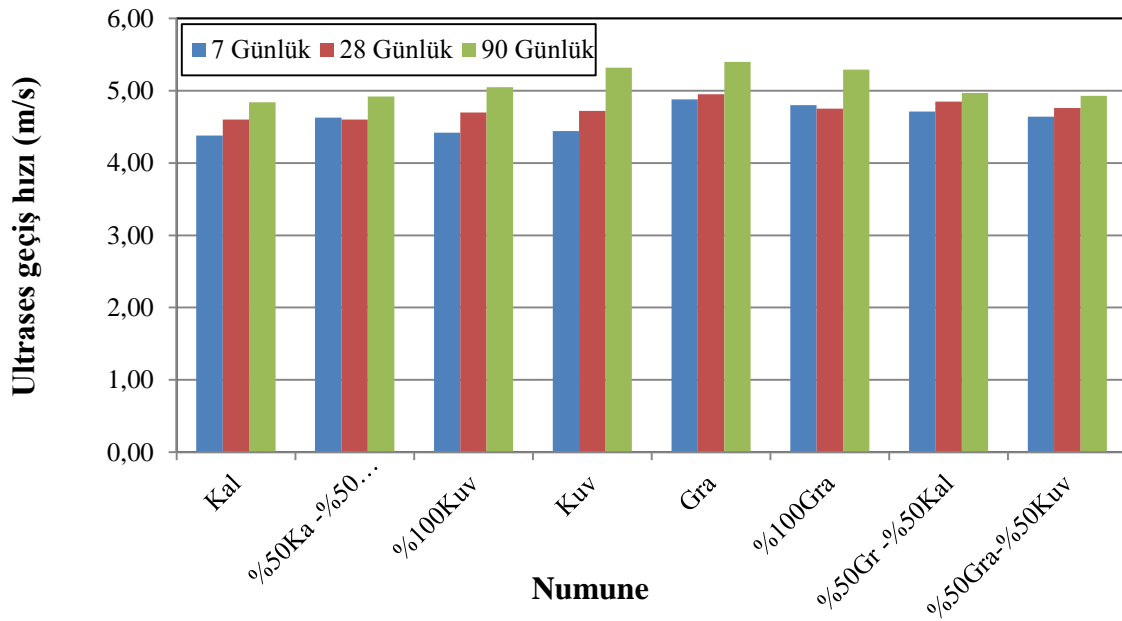
Taze beton birim ağırlık deney sonuçları ile sertleşmiş beton birim ağırlık deneyleri arasında karşılaştırma yapıldığında içeriğinin kuvarsitten oluştuğu numunenin sertleşmiş beton birim ağırlığının taze beton birim ağırlığında olduğu gibi en düşük çıkması, referans numunesinin de her iki deneyde de en yüksek çıkması doğaldır.

Çizelge 6.6. Sertleşmiş beton numunelerin birim ağırlık deney sonuçları

| | Sertleşmiş Birim Ağırlık (g/cm ³) |
|-------------------|---|
| Kal (referans) | 2,51 |
| %50 Kal - %50 Kuv | 2,47 |
| %100 Kuv | 2,46 |
| %50 Kuv - %50 Gra | 2,48 |
| %50 Gra - %50 Kal | 2,48 |
| Kuv | 2,4 |
| Gra | 2,44 |
| %100 Gra | 2,47 |

6.3.2. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

7, 28 ve 90 gün kür havuzunda bekletilen 8 farklı tipten toplam 48 adet 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındaki numunelere bu deney uygulanmıştır. Sonuçlar Şekil 6.2.'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre içeriğinin tamamının granit olduğu numune daha yüksek değerler vermiştir. Buda tamamının granit içerikli agregadan oluşan numunenin diğerlerine göre daha az boşluklu yapıya sahip olduğunu ve dayanımının daha fazla olabileceği yansıtmaktadır.

**Şekil 6.2.** Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

6.3.3. Basınç dayanım deney sonuçları

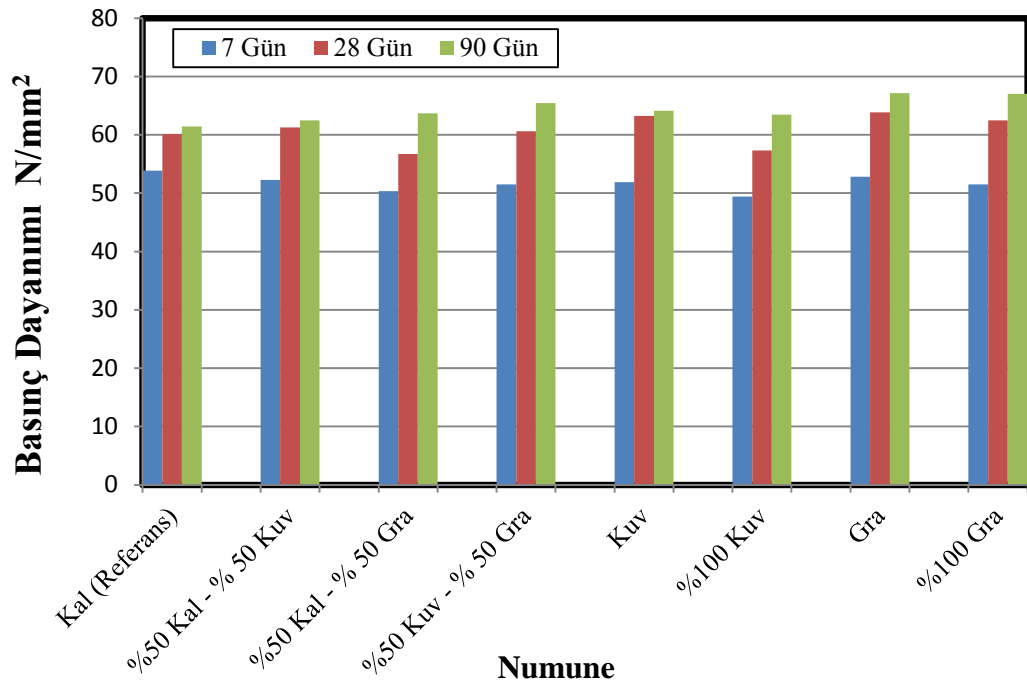
150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarında ki 8 farklı içeriğe sahip, 7, 28 ve 90 gün boyunca kür havuzunda bekletilen küp şeklindeki beton numunelerinin basınç dayanım deney sonuçları Şekil 6.3.'de gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde erken dayanımı en yüksek olan numune içeriği tamamen kalkerden oluşan numunedir. Diğerleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla içeriği tamamen granit olan numune, iri agregaların yarıya olduğu kalker – kuvarsit karışımı numune, içeriği tamamen kuvarsitten oluşan numune, iri agregalarının tamamı granitten oluşan numune, iri agregaların yarı yarıya olduğu kuvarsit – granit karışımı numune, iri agregaların yarı yarıya olduğu kalker – granit karışımı numune ve iri agregalarının tamamının kuvarsit olduğu numunedir.

Beton numunelerinin 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra ortaya çıkan basınç dayanımlarına göre kıyaslama yapıldığında en yüksek dayanıma ulaşan numune içeriği tamamen granit olan numunedir. Diğer numuneler büyükten küçüğe doğru içeriği tamamen kuvarsitten oluşan numune, iri agregaların tamamı granitten oluşan numune, iri agregaların yarı yarıya olduğu kalker – kuvarsit karışımı numune, iri agregaların yarı yarıya olduğu kuvarsit – granit karışımı numune, içeriği tamamen kalkerden oluşan numune ve iri agregaların tamamının kuvarsitten olduğu numunedir.

Beton numunelerin 90 gün kür havuzunda bekletildikten sonra ortaya çıkan basınç dayanımlarına göre kıyaslama yapıldığında en yüksek dayanıma ulaşan numune içeriği tamamen granitten oluşan numunedir. Diğer numuneler büyükten küçüğe doğru, iri agregalarının tamamının granit olduğu numune, iri agregalarının yarı yarıya olduğu kuvarsit – granit karışımı numune, içeriğinin tamamen kuvarsit olduğu numune, iri agregaların yarı yarıya olduğu kalker – granit karışımı numune, iri agregaların tamamının kuvarsit olduğu numune, iri agregaların yarı yarıya olduğu kalker – kuvarsit karışımı numune ve içeriğinin tamamen kalkerden olduğu numunedir.

Genel değerlendirme yaparsak basınç dayanımı erken yaşta (7 gün) kalker içerikli numunenin en yüksek olması ilerleyen zamanlarda aynı etkiyi göstermemiştir. Elimizde ki agregaları kıyaslırsak dayanımı yüksek beton üretimi granit kullanılarak olur. Şekil 6.4.'de basınç dayanım testi sonrası numunenin durumu gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Agregaların basınç dayanımı

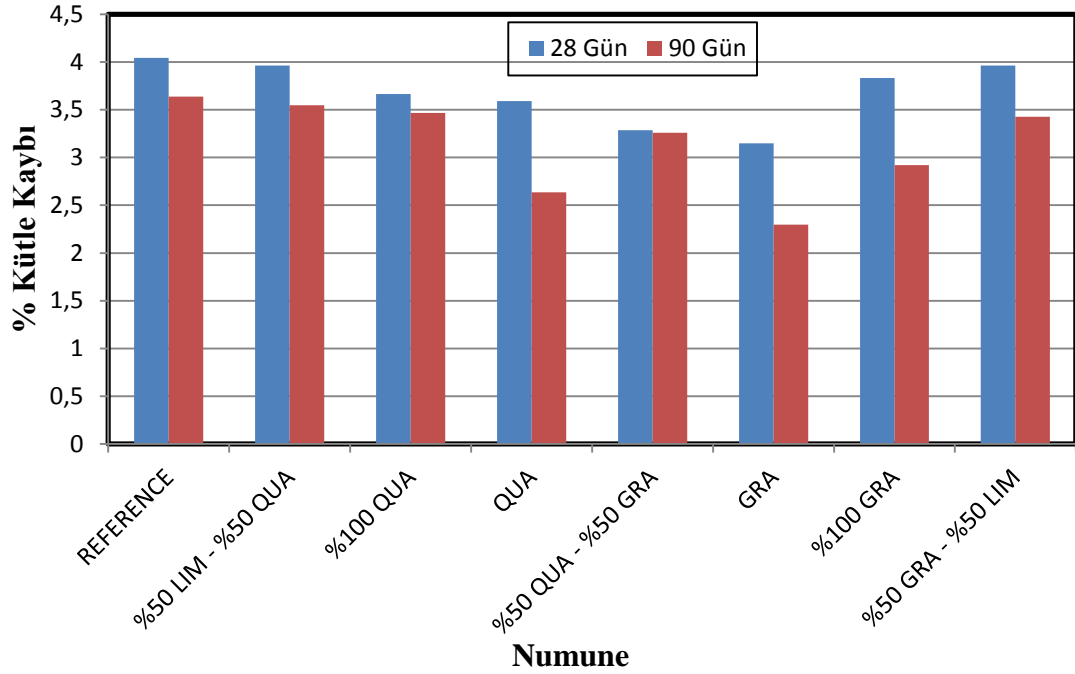


Şekil 6.4. Basınç dayanım deney sonrası numunelerden görünüm

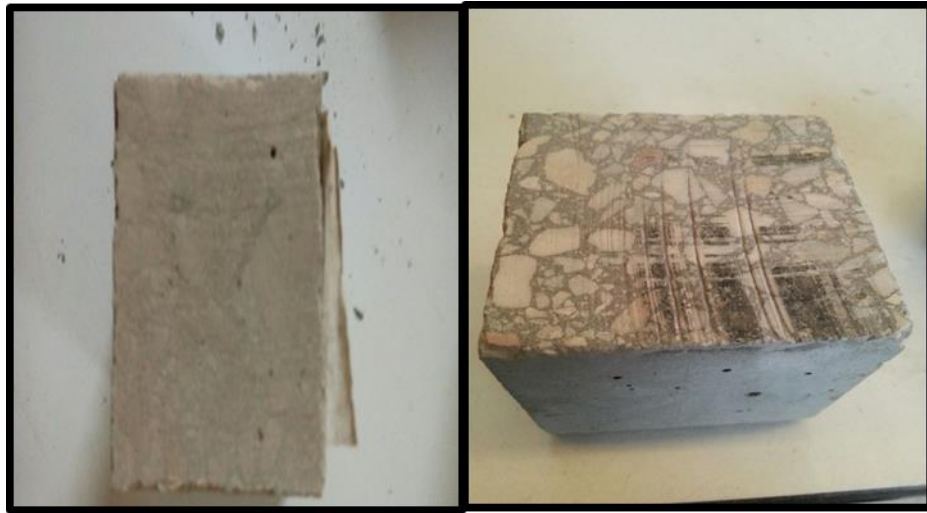
6.3.4. Böhme aşınma deney sonuçları

70 mm x 70 mm x 70 mm boyutlarında ki 8 farklı agrega içerikli küp numunelerin 28 ve 90 gün boyunca kür havuzunda bekletilmesinin ardından uygulanan böhme aşınma deney sonuçları Şekil 6.5.'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre aşınma direnci en fazla olan önceki bahsettiğimiz basınç dayanım ve Los Angeles aşınma değerlerinde de olduğu gibi içeriği tamamen granit olan numunedir. Yani dayanımı yüksek olan betondan, aşınma direnci yüksek olan agregadan oluşan numunelerin

aşınma direncinin de yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aşınma öncesi ve sonrası numune görüntüsü Şekil 6.6. da gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Böhme aşınma deneyi

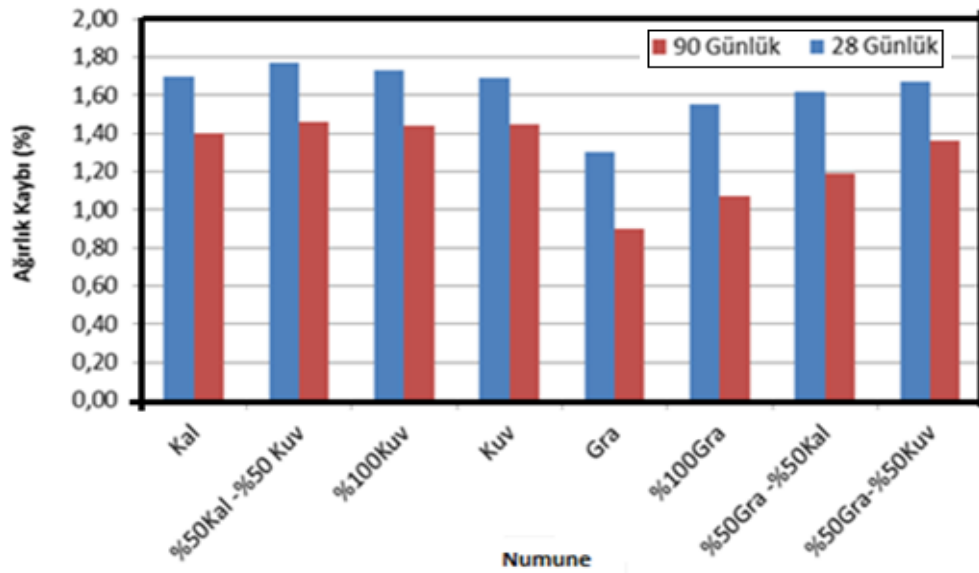


Şekil 6.6. Böhme aşınma deneyi öncesi ve sonrası

6.3.5. Su altında bilyalı aşınma deney sonuçları

Boyutları 300 mm çapında 100 mm kalınlığında olan 8 farklı tip agrega çeşitliliği ve büyüklüğüne sahip 16 adet numune 28 ve 90 günlük kür havuzunda bekletilmesinin ardından uygulanan 72 saatlik su altında bilyalı aşınma deney sonuçları

Şekil 6.7. de verilmiştir. Bu sonuçlara göre aşınma direnci en fazla olan önceki bahsettiğimiz Los Angeles deneyi aşınma değerlerinde, basınç dayanımı deneyi değerlerinde ve böhme aşınma deneyi değerlerinde de olduğu gibi içeriği tamamen granit olan numunedir. Ayrıca Şekil 6.8. de su altında bilyalı aşınma deneyine maruz kalmış numunenin öncesi ve sonrası gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Su altında bilyalı aşınma deneyi



Şekil 6.7. Su altında bilyalı aşınma deneyine maruz kalan numunenin sonraki ve önceki hali

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yapmış olduğumuz deneyler sonucunda bazı fikirler ortaya çıkmıştır. Bunlar;

- Mühendislik demek hem ekonomik ömrü uzun yapılar yapmak ve bunu olabildiğince mali açıdan ucuza bitirmektir. Bu nedenle baraj yapılacak bölgelerde konum ulaşım açısından ulaşılması kolay aşınma direnci yüksek agrega tercih edilmelidir.

- Deney sonuçları detaylı incelendiğinde basınç dayanımı ile böhme aşınma deneyi arasında bir bağlantı olduğu görülmektedir. Yani basınç dayanımı yüksek olan numunelerin aşınma olayı az olmaktadır.

- Beton işlenebilirliği açısından bakıldığında elde edilen deney sonuçlarında kuvarsit agregası ince agrega olarak kullanıldığında diğer agregalara göre olumsuz sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- Basınç dayanımı ve aşınma olayı da agreganın aşınma direnciyle bağlantılı olduğu gözlemlenmiştir. Agregalardan aşınmaya karşı en fazla dirençli olan agrega aynı zamanda beton içinde de aynı etkiyi göstermekte ve basınç dayanımı da yüksek çıkmaktadır.

- Beton tasarımında seçilen agreganın iri tanelerinin aşınma direnci daha yüksek iri taneli agrega ile değişimi betonun aşınma direncini ve dayanımı arttırmaktadır.

- Sonuç olarak gerek böhme gerek su altında bilyalı aşınma deneyleri sonucunda granit agregası kullanımının betonun aşınma direncini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Bu bağlamda dolu savak, boşaltım yapısı ve enerji kırıcı baraj elemanlarında kalker agregası yerine granit agregası kullanımı önerilmektedir.

- Bu tez çalışmasının devamı niteliğinde farklı agrega türleri denenebilir. Baraj betonlarının ıslanma – kuruma ve donma – çözülmenin aşınmaya karşı davranışı incelenebilir.

KAYNAKLAR (APA FORMATI)

- Adamiak, M. (2012). *Abrasion Resistance of Material*. *Intech*,. 22-24-26-33-189 Rijeka.
- ASTM C1138. (1997). *Standart test method for abrasion resistance of concrete (Underwater Method)*. ASTM International. West Conshohocken.
- Aydın, E. (2012) . *Çeşitli Mineral Katkıların Betonda Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi. Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aygörmez, Y. (2018). *Kolemanit Atığı ve Silis Dumanı Katkılı Meakaolin Tabanlı Geopolimer Harcın Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baradan, B., Aydın S. (2013) *Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık)*. 2013 Beton Kongresi, İstanbul.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H, (2002). *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir.
- Bayazıt, Y. (2018). *Dolusavak Aşınma Sorunlarına Deneysel Yöntemlerle Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi: Porsuk Barajı Örneği* . Doktora Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Berkün, M. (2007). *Su Yapıları Barajlar, Savaklar ve Su Kuvveti Tesisleri*. Birsen Yayınevi, 35-36-60-113-117-120-122. İstanbul.
- Çakır, Ö. (2007). *Alkali – Agregat Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çelik, K. (2005). *Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Tralı Çimentolarla Üretilen Aynı Mukavemet Sınıfındaki Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdem, V., Arısoy, C., Başman, G., Şeşen, M., (2005). *SAE 1060 Çeliğinin Erozyon Aşınma Özelliklerinin Aşınmaya Dirençli Ticari Çelik Plakalarla Karşılaştırılması*. 12. Uluslararası Metalurji - Malzeme Kongresi, Sıra No: 137 Yayın No: OK – s 020, İstanbul.
- Gökçer, B. (2013). *Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkılı Çimento Harçlarının Aşınma, Yüksek Sıcaklık ve Donma – Çözülme Davranışlarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karakaş, S. (2013). *Harşit Çayı Vadisi Agregalarının Alkali Silika Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Karakurt, C. (2008). *Çimento Üretiminde Doğal Zeolit ve Volkanik Tüflerin Endüstriyel Atıklarla Birlikte Kullanılmasının Beton Performansı Üzerine Etkileri*. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kurt, B. E. (2007). *Silis Dumanının Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mercan, N. (2007). *Uçucu Kül Katkısıyla Üretilen Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özbolat, M. (2005). *Sert Agregaya İle Üretilen Parketaş Üst Tabakasının Aşınmaya Karşı Dayanımının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şimşek, O. (2009). *Beton ve Beton Teknolojisi*. Seçkin Yayınevi, 21-22-99-100-104. Ankara.
- Şimşek, O. (2010). Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri. *Seçkin Yayınevi*, 354-390. Ankara.
- Özcan, A. (2018). *Ferrokrom Cürufu ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılarak Üretilen Geopolimer Betonların Asit, Tuz ve Sülfat Etkilerine Karşı Dayanıklılığınının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş., Sönmez, R. (2003). *Agrega Türünün Betonun Donma – Çözülme Dayanıklılığına Etkisi*. III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Topal, A. (2017). *Plazma Transfer Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak AISI1020 Çelik Yüzeylerinin Hardox450+FeW İle Kaplanması Ve Aşınma Dirençlerinin Tespit Edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- TS 500. (2000). *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. TSE, Ankara.
- TS EN 206-1. (2002). *Beton, özellik, performans, imalat, uygunluk*. TS, Ankara
- TS EN 12350-2. (2010). *Beton - Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi*. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-3. (2010). *Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 3: Vebe deneyi*. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-5. (2010). *Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi*. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-6. (2010). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk*. TSE, Ankara.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- TS EN 12390-3. (2012). *Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanım tayini*. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7. (2010). *Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğu tayini*. TSE, Ankara.
- TS EN 12504-4. (2012). *Beton deneyleri – Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızı tayini*. TSE, Ankara.
- TS EN 13892-3. (2015). *Şap malzemeleri – Deney yöntemleri – Bölüm 3: Aşınma direncinin tayini – Böhme*. TSE, Ankara.
- TS EN 1097-2. (2010). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar*. TSE, Ankara
- TS EN 1097-6. (2002). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler*. TSE, Ankara.
- TS EN 933-1. (2012). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini – Eleme metodu*. TSE, Ankara.
- TS EN 706 EN 12620. (2009). *Beton agregaları*. TSE, Ankara
- TS 2824 EN 1338/DIN 52108. (2005). *Zemin döşemesi için beton kaplama blokları gerekli şartlar ve deney metotları*. Türk Standartı, Ankara.
- URL-1 Akbulut, U. (2012). *Çimento ve Betonun Tarih İçinde Gelişimi*. <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2012/12/cimeto.pdf> (05.05.2019)
- URL-2 Topcu, A. (2014). *Betonarmenin 1756 – 2014 Tarihleri Arası Tarihçesi* http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Tarih/BeTarihi.pdf (11.05.2019).
- URL-3 Yazıcı, H., (2014). *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite) – 2* http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/YM2/YM-II%20341_BETONARME_YAPILARDA_KALICILIK-2.pdf (15.06.2019).
- Ustabaş, İ. (2008). *Sülfat etkisine maruz mineral katkılı beton ve harçların performansının incelenmesi*”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Wang, D., Zhou, X., Meng, Y., Chen, Z. (2017). Durability of concrete containing fly ash and silica fume against combined freezing-thawing and sulfate attack “, Construction and Building Materials.
- Yalçın, H., Gürü, M. (2006). *Çimento ve Beton*. Palme Yayıncılık, 110-140. Ankara.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

Yiğitbaşıoğlu, H. (1996). *Türkiye'deki Barajlar*. Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafya Araştırma ve Uygulama Merkezi, Ankara.

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Enes BAYAR
Doğum Yeri ve Tarihi : Giresun – 14.06.1991

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : İnşaat Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Yalova Etik Yapı Denetim, Serbest Şantiye Şefliği

İletişim

E-Posta Adresi : g28_enes_77@hotmail.com

Akademik Çalışmaları

- Bayar E., Karakurt C., Bayazıt Y. “Abrasion Resistance Of Hydraulic Concrete Structures”, 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering, İzmir 24-27 Nisan 2017.
- Karakurt C., Bayar E., ” Mineral Katkılı Betonların Farklı Kür Ortamlarındaki Mekanik Davranışı” IMCOFE 2015 International Multidisciplinary Congree of Eurasia, Üsküp 1-3 Eylül 2015.

Tarih:20/08/2019