

HAFİF BETONDA TUZ ETKİSİ
(MgCl₂ , NaCl)

Mahyar SHOAEI

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. Rüstem GÜL
2013
Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF BETONDA TUZ ETKİSİ (MgCl₂, NaCl)

Mahyar SHOAEI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ERZURUM

2013

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

HAFİF BETONDA TUZ ETKİSİ ($MgCl_2$, $NaCl$)

Prof. Dr. Rüstem GÜL danışmanlığında, Mahyar SHOAEI tarafından hazırlanan bu çalışma 08/01/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği /oy çokluğu (.3/.3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rüstem GÜL

İmza:

Üye : Prof. Dr. Ensar OĞUZ

İmza:

Üye : Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU

Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans tezi

HAFİF BETONDA TUZ ETKİSİ (MgCl₂, NaCl)

Mahyar SHOAEI

Atatürk Üniversitesi
Fen bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rüstem GÜL

Bu çalışma ile Magnezyum klorür (MgCl₂) ve Sodyum klorür (NaCl) tuzlarının hafif betonun bazı özelliklerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bunun için ham perlit agregası kullanılarak 10x20 cm boyutlarında toplam 360 adet beton numunesi üretildi. Beton numunelerin 90 adedine çimento ağırlığına göre %10 silis dumanı (SD) ve 90 adedine %20 Uçucu kül (UK) ilave edildi. Elde edilen numuneler; (%3.5 ve %5) MgCl₂ ve NaCl ve (%1.75 MgCl₂ + %1.75 NaCl) karışık çözeltide 28, 56 ve 90 gün bekletildi.

Numuneler önce 28 gün standart kür havuzunda bekletilmiştir ve sonra MgCl₂ ve NaCl'li ortamlarda bırakılmıştır. Bu tuzların hafif beton üzerinde etkileri incelemek için, TS 500, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39' göre basınç dayanımı (BD), ultra ses, Birim hacim ağırlığı (BHA) ve su emme (SE) deneyleri 3'er tane beton numuneler üzerinde yapılmıştır ve sonuçların ortalanması kayıt altına alınmıştır. Basınç dayanımı, BHA, su emme ve ultra ses deneyleri 28, 56 ve 90 gün içinde yapılmış olup ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan MgCl₂ çözeltisinin %10 SD ve %20 UK ilaveli numuneler üzerinde etkisinin şahit numunelere göre daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca %3.5, %5 NaCl ve karışık (%1.75MgCl₂+%1.75NaCl) çözeltisinin beton üzerinde çok az etkisi görülmüştür. MgCl₂ çözeltisindeki %20'lik UK numuneleri daha çok su emebildiğinden dolayı zaman geçtikçe daha çok MgCl₂ beton içine nüfuz etmesine neden olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre 90 gün içinde %5 Magnezyum klorür çözeltisinde, sırayla en fazla mineral katkısız numuneler, sonra %20 uçucu küllü numuneler ve en az %10 silis dumanlı numuneler etkilenmiştir.

2013, 105 sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton, Magnezyum klorür, Sodyum klorür, Silis dumanı, Uçucu kül, Basınç dayanımı, su emme ve ultra ses.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF SALT IN LIGHT WEIGHT CONCRETE (MgCl₂, NaCl)

Mahyar SHOAEI

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

Supervisor: Prof. Dr. Rüstem GÜL

The purpose of this thesis is to study the effect of Sodium Chloride and Magnesium Chloride in light weight concrete. In this thesis, the samples with perlit made in cylindrical molds of 10 by 20 cm and 360 species were totally produced. In 90 cases of concrete species %10 the weight of micro silica fume cement, and in 90 of the species fly ash increased. The obtained species in %3.5 and %5 Sodium Chloride and %3.5 and %5 Magnesium Chloride solutions and in the mixture of %1.75+%1.75 of the above salts were placed in 28, 90, 56 days.

Before all, the species have been placed in standard pond for 28 days; and later in the mentioned solutions. To study the effects of the salts on light concrete on the base of TS 500, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39 standards, testing the pressure resistance, ultra sound, unit weight and water absorption accomplished on three species of the concrete and the results have been recorded. Of the results gained, in Magnesium Chloride solutions, the standard species have got more effects, comparing to micro silica fume %10 species and fly ash %20. Also NaCl solution and mixture of these two salts have not had much effect on concrete. As the species of 20% fly ash absorb more solutions; as a result, more Magnesium Chloride penetrates into the concrete. Of the results gained in 90 days, in Magnesium Chloride, the standard species have been affected the most; meanwhile the species with fly ash %20, and the species of micro silica fume %10 have been affected the least respectively.

2013, 105 pages

Keywords: Concrete, Magnesium Chloride, Sodium Chloride, Micro Silica Fume, Fly ash, Pressure resistance, Water absorption, Ultra sound.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belli aşamalardan geçerek bu hale gelmesi çok güzeldir. Bu bir mühendisin gurur duyması gereken bir eğitimdir. Bu eğitimim ve araştırmam tek başına olmuş bir çalışma değildir. Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. **Rüstem GÜL**'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yapmış olduğum çalışmadaki kimyasal olay ve işlemlerin yorumlanması ve tezimin değerlendirilmesi için yapmış olduğu katkı ve yardımlardan dolayı arkadaşım Sayın İnş. Müh. **Ali KHANJARKHANI** ve laboratuvarın sorumlusu **İlhami AYHAN** beye de teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen **annem** ve **babam**'a sonsuz teşekkür ederim.

Mahyar SHOAEI

Ekim 2013

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | x |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 4 |
| 2.1. Daha önceki çalışmalar..... | 4 |
| 2.2. Betonun tanımı..... | 10 |
| 2.2.1. Hafif beton ve çeşitleri..... | 11 |
| 2.3. Betonun karışım suyu..... | 15 |
| 2.4. Çimento..... | 18 |
| 2.5. Agregas..... | 20 |
| 2.5.1. Perlit..... | 21 |
| 2.5.2. Rezervler..... | 22 |
| 2.5.3. Perlitin kullanılmasının betonun özellikleri üzerinde etkisi..... | 23 |
| 2.5.3.a. Perlit agregalı betonların birim hacim ağırlıkları..... | 23 |
| 2.5.3.b. Perlit agregalı betonların elastisite modülü..... | 24 |
| 2.5.3.c. Perlit agregalı betonların su emmesi..... | 24 |
| 2.5.3.d. Perlit ile üretilen hafif betonların ısı iletkenlik ve yalıtımları..... | 24 |
| 2.5.3.e. Perlit agregası ile üretilen hafif betonların rötre ve sünme değerleri..... | 25 |
| 2.5.3.f. Perlit agregalı betonların basınç ve çekme dayanımı..... | 25 |
| 2.6. Katkı maddeler..... | 25 |
| 2.7. Betonda aranan özellikler..... | 27 |
| 2.7.1. Beton basınç dayanımı..... | 27 |
| 2.7.2. Beton dayanımını oluşturan etkiler..... | 30 |
| 2.7.3. Betonun işlenebilme özelliği..... | 31 |
| 2.8. Agregas tane boyutu..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.9. Betonda iç ve dış etkenlere bozulması | 34 |
| 2.9.1. Fiziksel etkenler | 34 |
| 2.9.1.a. Aşınma, erozyon ve kavitasyon..... | 34 |
| 2.9.1.b. Betonda donma-çözülme..... | 36 |
| 2.9.1.c. Yüksek sıcaklığın betona etkisi | 37 |
| 2.9.2. Kimyasal etkenler..... | 38 |
| 2.9.2.a. Betona asitlerin etkisi | 39 |
| 2.9.2.b. Sülfatların betona etkisi..... | 39 |
| 2.9.2.c. Beton yollarda kullanılan tuzların etkisi..... | 40 |
| 2.10. Magnezyum | 42 |
| 2.10.1. Magnezyumun tarihçesi | 42 |
| 2.10.2. Magnezyum bileşenleri | 43 |
| 2.10.3. Magnezyumun elde edilmesi..... | 44 |
| 2.10.4. Bazı önemli Magnezyum mineralleri | 46 |
| 2.11. Sodyum klorür | 46 |
| 2.11.1. Sodyum ve sodyum klorür tarihçesi..... | 46 |
| 2.11.2. Sodyum klorür bileşenleri | 47 |
| 2.11.2.a. Sodyum..... | 47 |
| 2.11.2.b. Klor..... | 48 |
| 2.12. Deniz suyundaki tuzluluk..... | 50 |
| 2.13. Süper akışkanlaştırıcı | 51 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 53 |
| 3.1. Materyal..... | 53 |
| 3.1.1. Çimento | 53 |
| 3.1.2. Perlit agregası | 54 |
| 3.1.3. Magnezyum klorür çözeltisi | 56 |
| 3.1.4. Sodyum klorür çözeltisi..... | 56 |
| 3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı | 57 |
| 3.1.6. Karışım suyu..... | 57 |
| 3.1.7. Silis dumanı..... | 57 |
| 3.1.8. Uçucu kül | 58 |
| 3.1.9. Diğer malzemeler | 59 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.10. Aletler..... | 60 |
| 3.1.10.a. Elekler..... | 60 |
| 3.1.10.b. Betonyer | 60 |
| 3.1.10.c. Kalıplar | 61 |
| 3.1.10.d. Ultrases hızı..... | 62 |
| 3.1.10.e. Etüv..... | 62 |
| 3.1.10.f. Press cihazı..... | 63 |
| 3.1.10.g. Su kürü uygulaması | 64 |
| 3.2. Yöntem | 65 |
| 3.2.1. Karışımdaki agrega boyutu ve oranları | 65 |
| 3.2.2. Beton karışım hesapları | 66 |
| 3.2.3. Karışım oranları..... | 67 |
| 3.2.3.a. Piknometre..... | 68 |
| 3.2.4. Betonun karıştırılması ve kalıplanması | 71 |
| 3.2.5. Betonun bakımı | 72 |
| 3.2.6. Sertleşmiş betonun bazı fiziksel özellikleri..... | 72 |
| 3.2.6.a. Sertleşmiş betonun birim ağırlığı | 72 |
| 3.2.6.b. Beton basınç dayanımının elde edilmesi | 73 |
| 3.2.6.c. Kılcal ve hacimsel geçirimsizlik..... | 73 |
| 3.2.6.d. Ultrases hızı'nın tayini | 74 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA..... | 75 |
| 4.1. Agrega deneyleri ile ilgili bulgular ve tartışma..... | 75 |
| 4.2. Taze beton deneyleri ile ilgili bulgular ve tartışma..... | 76 |
| 4.3. Sertleşmiş beton deneyleri ile ilgili bulgular ve tartışma | 76 |
| 4.3.1. Basınç dayanımı ile ilgili bulgular ve tartışma..... | 81 |
| 4.3.2. Birim ağırlık (BA) ile ilgili bulgular ve tartışma | 88 |
| 4.3.3. Ultrases hızı ile ilgili bulgular ve tartışma | 88 |
| 4.3.4. Kılcal ve hacimsel su emme ile ilgili bulgular ve tartışma | 92 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 97 |
| KAYNAKLAR | 101 |
| ÖZGEÇMİŞ | 106 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-------------------------|--|
| BD | : Basınç dayanımı |
| BHA | : Birim hacim ağırlığı |
| C₃A | : Kalsiyum alüminat |
| D_{max} | : Karışımda kullanılan maksimum agrega tane çapı |
| MgCl₂ | : Magnezyum klorür |
| NaCl | : Sodyum klorür |
| NHB | : Normal hafif beton |
| POMKAP | : Pomzalı kaplama boyası |
| S/Ç | : Su/Çimento oranı |
| SD | : Silis dumanı |
| SE | : Su emme |
| UK | : Uçucu kül |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Basınç dayanımı-zaman ilişkisi | 28 |
| Şekil 2.2. Agregada en büyük tane boyutu (D_{max}) 8 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri..... | 33 |
| Şekil 2.3. Agregada en büyük tane boyutu (D_{max}) 16 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri..... | 33 |
| Şekil 2.4. Otoyol rampasında aşınma | 35 |
| Şekil 2.5. Erozyona uğramış kanal | 35 |
| Şekil 2.6. Baraj dolusavağında kavitasyon | 36 |
| Şekil 2.7. Donma-çözülme hasarı | 36 |
| Şekil 2.8. Çimento hamurunun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi | 37 |
| Şekil 2.9. Asit etkisiyle betonun bozulma mekanizması | 39 |
| Şekil 2.10. Magnezyum klorür..... | 45 |
| Şekil 2.11. NaCl..... | 50 |
| Şekil 3.1. Perlit..... | 55 |
| Şekil 3.2. Numunelerin başlıklarına göre kükürt | 59 |
| Şekil 3.3. Elek..... | 60 |
| Şekil 3.4. Betonyer..... | 61 |
| Şekil 3.5. Kalıplar | 61 |
| Şekil 3.6. Ultrases cihazı..... | 62 |
| Şekil 3.7. Etüv..... | 63 |
| Şekil 3.8. Press cihazı | 64 |
| Şekil 3.9. Su kürü havuzu | 64 |
| Şekil 3.10. Perlit agregasının ayarlanmış granülometri eğrileri | 66 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.1. Standart kür havuzundaki beton numunelerin basınç dayanımı | 82 |
| Şekil 4.2. %3.5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi.... | 83 |
| Şekil 4.3. %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi..... | 84 |
| Şekil 4.4. %3.5 MgCl ₂ çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi | 85 |
| Şekil 4.5. %5 MgCl ₂ çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi | 86 |
| Şekil 4.6. %1.75 MgCl ₂ ve %1.75 NaCl çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi | 87 |
| Şekil 4.7. Standart kür havuzunda bekletilen beton numunelerin ultrases hızı (m/s)..... | 89 |
| Şekil 4.8. %3.5 ve %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin ortalama ultrases hızı (m/s) | 90 |
| Şekil 4.9. %3.5 ve %5 MgCl ₂ çözeltisine maruz beton numunelerin ortalama ultrases hızı (m/s)..... | 91 |
| Şekil 4.10. %1.75 NaCl ve %1.75 MgCl ₂ çözeltisine maruz beton numunelerin ultrases geçiş hızları (m/s) | 92 |
| Şekil 4.11. Kılcal su emme | 93 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Hafif beton sınıfları..... | 13 |
| Çizelge 2.2. Perlitin dünya rezervleri (Milyon Ton)..... | 23 |
| Çizelge 2.3. TS EN 206-1'e Göre beton sınıfları ve dayanımları..... | 30 |
| Çizelge 2.4. Magnezyum elemntinin yapısı..... | 44 |
| Çizelge 2.5. Magnezyum mineralleri..... | 46 |
| Çizelge 2.6. Sodyum elemntinin yapısı | 47 |
| Çizelge 2.7. Klor iyonu..... | 49 |
| Çizelge 2.8. Deniz suyunun iyonik bileşimi | 50 |
| Çizelge 2.9. Deniz suyunun kimyasal bileşimi | 51 |
| Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri..... | 53 |
| Çizelge 3.2. Erzincan Mollaköy perlit agregasının fiziksel özellikleri..... | 54 |
| Çizelge 3.3. Perlitin birleşenleri | 56 |
| Çizelge 3.4. Süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri | 57 |
| Çizelge 3.5. Silis dumanı kimyasal kompozisyonu | 58 |
| Çizelge 3.6. Uçucu külün fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri..... | 59 |
| Çizelge 3.7. Beton karışım oranları | 68 |
| Çizelge 3.8. Perlitin özgül ağırlık faktörleri | 69 |
| Çizelge 3.9. Perlitin ağırlık olarak miktarları | 69 |
| Çizelge 3.10. 1 m ³ beton için karışıma giren malzemeler | 70 |
| Çizelge 3.11. Perlit ağırlık olarak düzeltilmiş miktarları..... | 70 |
| Çizelge 3.12. 1 m ³ beton için karışıma giren düzeltilmiş malzemeler..... | 71 |
| Çizelge 4.1. Perlit agregasının elek analizi | 75 |
| Çizelge 4.2. Perlit agregasının kuru birim ağırlığı..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Çizelge 4.3. Birim ağırlık sonuçları..... | 76 |
| Çizelge 4.4. Standart havuzda bekletilen mineral katkısız beton sonuçları..... | 77 |
| Çizelge 4.5. Standart havuzda bekletilen %10 silis dumanı numuneleri..... | 77 |
| Çizelge 4.6. Standart havuzda bekletilen %20 Uçucu kül numuneleri..... | 77 |
| Çizelge 4.7. (%3.5) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri..... | 78 |
| Çizelge 4.8. (%5) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri..... | 78 |
| Çizelge 4.9. (%3.5) Magnezyum klorür çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri | 78 |
| Çizelge 4.10. (%5) Magnezyum klorür çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri | 78 |
| Çizelge 4.11. (%1.75) Magnezyum klorür ve (%1.75) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri | 79 |
| Çizelge 4.12. (%3.5) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri | 79 |
| Çizelge 4.13. (%5) Sodyum klorür (NaCl) çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri | 79 |
| Çizelge 4.14. (%3.5) Magnezyum klorür çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri..... | 79 |
| Çizelge 4.15. (%5) Magnezyum klorür çözeltisinde bekletilen %10 SD ilaveli beton numuneleri..... | 80 |
| Çizelge 4.16. (%1.75) Magnezyum klorür ve (%1.75) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri | 80 |
| Çizelge 4.17. (%3.5) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen %20 UK ilaveli beton numuneleri..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Çizelge 4.18. (%5) Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen %20 Uçucu kül ilaveli beton numuneleri | 80 |
| Çizelge 4.19. (%3.5) Magnezyum klorür çözeltisinde bekletilen bekletilen %20 UK ilaveli beton numuneleri | 81 |
| Çizelge 4.20. (%5) Magnezyum klorür çözeltisinde bekletilen bekletilen %20 UK ilaveli beton numuneleri | 81 |
| Çizelge 4.21. %1.75 Magnezyum klorür ve %1.75 Sodyum klorür çözeltisinde bekletilen %20 UK ilaveli beton numuneleri | 81 |
| Çizelge 4.22. Standart suda bırakılan numunelerin su emme miktarı | 93 |
| Çizelge 4.23. %3.5 NaCl çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı | 94 |
| Çizelge 4.24. %3.5 MgCl ₂ çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı | 94 |
| Çizelge 4.25. %5 NaCl çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı | 95 |
| Çizelge 4.26. %5 MgCl ₂ çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı | 95 |
| Çizelge 4.27. %1.75 MgCl ₂ +%1.75 NaCl çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı..... | 96 |

1. GİRİŞ

Dünyadaki yapı üretiminin yaklaşık %85'ninin betonarme taşıyıcı sistemli olarak gerçekleştirildiği bilinmektedir. Bunun için betonarme ve beton malzemelerine ilişkin bilgilerin önemi artmaktadır. Bu bilgiler esas olarak agregalar, bağlayıcılar ve katkı maddelerinin yanı sıra beton dayanıklılığını esas alan beton yapım, döküm ve koruma şartlarına yöneliktir. Son yıllarda beton üretimi ve kullanımı alanlarında birçok yeni gelişmeler oldu. Deprem kuşakları üzerinde bulunan beton kalitesinin ve ona bağlı olarak betonarme taşıyıcı sistemlerin dayanımı hayati önem taşımaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan hasarlar bunu iyice göstermektedir (Ünal ve Yurtcu 2007).

Bu çalışmada incelenmiş tuzlar ($MgCl_2$, $NaCl$) çoğunlukla deniz suyunda bulunmaktadır. Günümüzde deniz suyu etkisine maruz kalan yapıların çokluğu bu tuzların yapılardaki etkilerini daha çok gündeme taşımaktadır ve bu etkilerin azaltılmasıyla ilgili araştırmalar yapılmış ve yapılacaktır.

Betonda en önemli özelliklerinden biri, basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımı oldukça yüksektir ve aynı zamanda çekme dayanımı basınç dayanımına kıyasla çok azdır. Betonun tasarımında kullanıldığı ortamdaki çevresel etkiler göz önüne alınması gerekmektedir. Deniz suyunda (tuzlu ortamlarda) betonun dayanıklılığına ve mukavemetine etki eden ve bozulmasına neden olan tuzların (sülfat, klorür vb.) etkisini, donatı korozyonu, alkali-agrega reaksiyonları ve karbonatlaşma olarak sıralamak mümkündür.

Beton içerisinde biriken Magnezyum klorür ve Sodyum klorür tuzlarının kristalleşmesi betonda fiziksel bozulmalara yol açmaktadır. Ayrıca $MgCl_2$ iyonlarının çimento hidratasyon ürünleriyle birlikte reaksiyona girmeleri kimyasal bozulmalara neden olmaktadır. Magnezyum klorürün kaynakları yeraltı suyu, deniz suyu ve bazı zeminlerdir. Magnezyum klorür betonun içerisine sızar ve çimento hidratasyon

ürünleriyle kimyasal reaksiyona girer ve bu reaksiyonlar betonda yeni madde oluşmasına neden olur ve bu madde oluşması ise betonda hacim artışına neden olur. Bu hacim artışı ile birlikte beton içerisinde gerilmelere bağlı olarak çatlamlar meydana gelmektedir. Oluşan çatlaklarla daha geçirimli bir beton ortaya çıkar ve beton geçirimliliğinin artması beton içerisine daha fazla zararlı madde girmesine sebep olur. Böylece beton içerisine yeni madde girmesi betonun servis ömrünü düşürür ve donatı korozyonuna neden olur.

Limanlar, İskeleler gibi deniz yapılarının betonları deniz suyundan olumsuz etkilenerek hasar görebilir. Bazen buna karşı önlem almak için mevcut mineral katkı maddeler kullanılmaktadır. Bu maddelerin örneği yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül ve diğer doğal puzolanlardır. Son yıllarda beton teknolojisi uzmanları, kimyasal ve endüstriyel atık olan puzolanik katkıların özel ihtiyaçlara göre beton yapımında kullanımını konusunda birçok araştırma yapmışlardır (Neville 1988; Aitcin 1998; Erdoğan 2003; Short and Kinniburg 1978). SD ile elde edilen betonun sülfata karşı direnci incelenmek ve iyileştirme için neler yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Beycioğlu vd 2010).

Beton ve deniz yapıları çevrelerinde bulunan tuzların etkisi altındadır. Deniz yapıları meydana getiren betonlarda gerekli bir takım önlemlerin alınmaması durumunda yapı çok kısa sürede hasar görebilir. Klorürler sülfatlar kadar tehlikeli olmamakla beraber muhtelif türlerin bazı hallerde beton ve betonarme yapılar üzerinde zararlı etkileri olduğu belirlenmiştir. Kalsiyum klorür, Potasyum klorür (KCl), Magnezyum klorür ($MgCl_2$) betonda hasar meydana getiren klorürlerdir (Yıldız 2012).

Tuzların (NaCl, $MgCl_2$, Sülfat vb.) etkisini azaltan önlemlerin tamamı (S/Ç oranı düşük ($S/Ç \leq 0.45$), betonların üst yüzeyini boyamak, puzolanik madde kullanmak) deniz suyunun etkisini azaltmak için geçerli bir önlemdir. Genelde denizlerin ve okyanusların tuzluluğu 36-39 g/l' dir.

Bu yüzden bu tezde literatür ışığında %3.5, %5 ve %1.75 $MgCl_2$ +%1.75 NaCl oranlarında $MgCl_2$ ve NaCl çözeltisi üretilip ve bu numunelere çimento ağırlığına göre %10 SD ve %20 UK katılarak betona etkileri incelenmiştir. Ayrıca sonuçları mukayese etmek için de şahit numune (mineral katkı maddesi içermeyen) perlitli hafif beton üretilmiştir.

Bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, birim ağırlık, kılcal ve hacimsel su emme ve ultrases geçiş süresi üzerinde $MgCl_2$ ve NaCl etkisi araştırılmıştır. Her deney için 3 tane numune kullanılmış ve sonuçların ortalaması yazılmıştır.

Günümüzde deniz yapıları hızla gelişmektedir ve bu yapılar kullanım amaçlarına ve çevre şartlarına bağlı olarak çok çeşitli yapı tipleri geliştirilmiştir. Bu yapıların tasarım, üretim ve korunması oldukça gelişmiş teknoloji ve bilgi düzeyi gerektirmektedir. Bu çalışmanın amacı tuzlu ortamların ve deniz suyun beton üzerindeki etkisini incelemektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Daha önceki çalışmalar

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2005); Mineral katkı olarak SD ve agrega olarak pomza taşı kullanarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri 3, 7, 14 ve 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Basınç mukavemeti deneyleri için 15x15x15 cm ölçülerindeki küp numuneler, yarmada çekme dayanımı deneyi içinde 15x30 cm ölçülerindeki silindir numuneler hazırlanmıştır. Silis dumanı arttıkça CEM I 42.5 Portland çimentosu ile %10 çimento ağırlığın oranında yer değiştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre SD katkılı beton numunelerin her yaşta kontrol betonuna göre daha iyi dayanım özellikleri sergilediği görülmüştür. Katkısız olarak hazırlanan numuneler kontrol betonu ilk yaşlarda SD beton numuneleri ile benzer özellikler sergilerken özellikle 7 günlük kür süresinden sonra SD beton numunelerinde belirgin bir dayanım artışı gözlenmiştir.

Sever (1993); Çalışmasında, çevre etkileri, deniz suyu tesirleri, deniz suyu içindeki klorür iyonlarının betonarme yapılar için oldukça önemli olduğunu ve bu iyonların betonun PH değerini azaltarak çimentonun pasifleştirme etkisini ortadan kaldırıp donatının korozyona uğrama riskini artırdığını tespit etmiştir. Deniz suyunun betona nüfuz edip buharlaşması işlemleri sonucunda beton içindeki boşluklarda tuz birikimi meydana getirdiği gözlenmiştir. Deniz suyu aynı zamanda betonun kendisine de etki eder. Deniz suyundaki Magnezyum iyonları çimentoda mevcut olan kalsiyum iyonları ile yer değiştirerek genleşmeye, yumuşamaya ve dayanım kaybına neden olur. Sülfat iyonlarının da benzer etkileri vardır, ancak deniz suyunda yüksek konsantrasyondaki klorür varlığı sülfatların neden olduğu alçı gibi bileşimleri eritip dışarı atılmasını sağlayabilir.

Kadiroğlu (2000); Deniz suyunun beton karma suyu olarak “kullanılabilirliği” araştırılmıştır. Beton karışım suyu olarak kullanılabilirliği kesin olan şehir şebeke suyundan hazırlanan şahit beton kabul edilerek, deniz sularındanda beton üretilmiştir. Taze betonlar üzerine kıvam ve priz süreleri tayini deneyleri uygulanmış 15x15x15 cm küp kalıplarda numuneler alınıp aynı şartlarda küre tabi tutularak 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Sertleşmiş betonda ise deniz suyuyla yapılan betonların, 28 günlük basınç dayanımları, şahit betonlara göre %5 ile %9 arasında düşük çıkmıştır. Ancak 90 günlük basınç dayanımları deniz suyu ile yapılan betonların şahit betonu yakaladığı görölmüştür. Sonuç olarak numunelerin basınç dayanımları göz önüne alındığında deniz suyunun beton karma suyu olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Uyan ve Akkaya (2003); Beton üretiminde deniz suyunun karma suyu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneylerle deniz suyunun çimento priz süreleri, taze beton işlenebilirliği ve sertleşmiş beton mukavemetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Boğaz ve Marmara denizi suları ve kontrol amacıyla İstanbul şehir suyu kullanılarak (şahit numune) 300 ve 350 kg/m³ çimento dozajlı, 5 ve 15 cm çökmeli betonlar üretilmiştir. Sonuçta deniz sularının çimento priz başlangıcını geciktirdiği ancak priz sonunu geciktirmediği, işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve erken yaşta mukavemet artışına sebep olduğu görölmüştür. Ayrıca, deniz sularının erken yaşta betona kazandırdığı mukavemetin tuzluluğuyla doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Cengiz vd (2003); Çimento katkısı olarak SD kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi halen yürütölmekte olan bir laboratuvar çalışmasının sonuçlarının bir kısmı sunularak gösterilmiştir. Laboratuvar çalışmasında dört farklı su çimento oranı (0.3, 0.4, 0.5, 0.6), üç farklı çimento dozajı (350, 400, 450 kg/m³) ve üç farklı silis dumanı ikame oranıyla (%10, %15, %20), kontrol betonu dahil olmak üzere toplam 48 farklı beton üretilmiştir. Çeşitli miktarlarda hiperakışkanlaştırıcı betonların işlenebilirliğini belli bir düzeyde tutmak üzere kullanılmıştır. Elde edilen betonların 3 ve 28 günlük küp numune basınç dayanımları sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçların

incelenmesinden, ilk üç günde silis dumanının basınç dayanımını arttırmada fazla etkili olmadığı anlaşılmış olup, 28 günde ise silis dumanının dayanımda %50 mertebelerine varan artışlar sağladığı görülmüştür. Yüksek S/Ç oranlarında silis dumanının düşük S/Ç oranlarına göre daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Silis dumanı ikame oranının da bir optimum değeri olduğu, bunun üzerindeki ikame oranları için dayanımda görülen artışın durduğu anlaşılmıştır. Silis dumanı, hiperakışkanlaştırıcı ve düşük S/Ç oranının kombinasyonu 100 MPa mertebesinde yüksek basınç dayanımı elde etmeyi kolaylıkla mümkün kılmıştır.

Duval ve Kadri (1998); Silis dumanının betonun işlenebilirliğine ve basınç mukavemetine etkisini iki değişik çimento kullanarak incelemişlerdir. S/Ç oranını 0.25~0.45 arasında değiştirdikleri çalışmalarında, %10 ve daha düşük oranlarda silis dumanı kullanımının işlenebilirliğe olumlu etkisinin olduğunu, S/Ç oranının düşmesiyle silis dumanının işlenebilirlik üzerindeki bu etkisinin daha da belirgin hale geldiğini bildirmişlerdir.

Yiğiter vd (2004); Çalışmalarında, uçucu kül içeren beton karışımlarının bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri incelenmiştir. Su içerisinde kür ve havada kür olmak üzere iki farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Çimento yerine %40'a kadar UK ikame edilerek; beton numunelerinin basınç dayanımı, elastisite modülü, asit etkisine karşı dayanıklılığı, harç çubuğu örneklerinin hacim sabitliği ve bağlayıcı hamurlarının priz süreleri ölçülmüştür. Bu çalışma sonucu, uçucu kül kullanımının betonun erken yaşlardaki dayanımını düşürdüğü, buna karşın 3 günden sonra UK oranının artmasıyla basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Havada kür edilen numunelerin elastisite modülünün ve basınç dayanımının suda kür edilen numunelere kıyasla daha düşük olduğu ve UK oranı arttıkça kür hassasiyetinin de arttığı görülmüştür.

Demirbaş vd (2001); Yaptıkları çalışmada genişmiş perlit ve ponza agregaları ile hazırlanmış farklı karışımlardaki beton numunelerin basınç dayanımları incelenmektedir. Yapılan deneylerin sonucunda agrega karışımındaki perlit miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir.

Chia and Zhang (2002); Yüksek dayanımlı hafif betonların klor ve su geçirgenliği üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Çimento matrisi ile hafif agreganın elastiklik modüllerinin bir birine çok yakın olmasının, çimento matrisi içerisinde mikro çatlakların oluşma ihtimalini azalttığı için bu betonların geçirgenliklerinin normal betonlardan daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Silis dumanının kullanılmasının su ve klor iyonlarının geçişini azalttığı vurgulanmaktadır.

Saad (2005); Yapmış olduğu bir çalışmada, beton içerisinde ultrasonik ses dalgasının geçiş hızının agrega granülometri ve çeşidine, S/Ç oranına ve kür zamanına bağlı olarak nasıl değiştiğini deneysel olarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada ultrasonik dijital göstergeli 500 V ve 54 KHz dalga üreten test aletini kullanmış ve S/Ç oranının geçiş hızı üzerinde etkili olan en önemli parametrelerden biri olduğunu söylemiştir. Bunun nedenini; yüksek S/Ç oranında çimento matrisinde çok fazla hava boşluğunun bulunması şeklinde açıklamaktadır. Agrega tane boyutunun büyümesi ile hızın arttığı, küçülmesiyle ise azaldığını belirtmektedir.

Aykaç ve Bakırcı (2009); Bu çalışmada deniz suyunun, beton karışım suyu olarak kullanılmasının beton dayanımı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla bir dizi deney yapılmış ve sonuçlar, karışım suyu olarak, içilebilir su kullanılarak üretilmiş numuneler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, karışım suyu olarak, deniz suyunun erken dönem beton dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Yeğınobalı (2001); Betonun yıpratıcı önemli hususların, sülfat eriyikleri ile bazı çimento hamuru bileşenleri arasındaki karmaşık reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan hacim genleşmeleri ve çatlaklar olduğu sayılmıştır. Bu zararlı etkileri önlemek için uygun puzolanik katkıların kullanılmasının önerildiği ifade edilmiş, kısmen çimento yerine puzolan katıldığında, dolaylı olarak ortamdaki trikalsiyum alüminat miktarının azalacağı ve kireç ile birleşerek gözenekleri dolduran yeni bağlayıcı bileşenlerin oluşacağı belirtilmiştir.

Kuyumcu (2006); Bu çalışmada yapı elemanın farklı ortamlardaki dayanımı ve dayanıklılığı ile ilgili olan deneyi ve deneysel çalışmanın sonuçlarını incelenmiştir. Deney içeriğinde belli oranlarda karışımı yapılmış olan beton, deniz suyunun ve %5 konsantrasyonlu Magnezyum sülfatlı su ortamına koyularak deneysel çalışmalar belli şartlar ve esaslar dahilinde gözetim altında laboratuvar ortamında yapılmıştır. Çalışmalarda görüldüğü gibi deniz suyunun ve sülfatlı ortamın betonlara zaman içerisinde zarar verdiği anlaşılmıştır. Ayrıca deniz suyu karma suyu olarak kullanılmasının uygun olmadığını söylenmiştir.

Yıldırım ve Sümer (2005); Çalışmalarında Akdeniz ve Ege yerel iklim kuşağında bulunan, deniz kenarına 10 km mesafedeki sanayi tesisinde yıllar bazında betonun maruz kaldığı korozyon nedenleri araştırılmıştır. Deniz suyunun içerisinde bulunan çözülmüş bileşenler tespit edilmiştir. Yapı elemanlarında oluşan bozulma süreçlerinin hem malzemelerin özelliklerine, hem de deniz ortamının getirdiği koşulların şiddetine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Betonun korozyonu nedeniyle yapı elemanlarının dayanımının ve durabilitesinin azalmasını önlemek için betonun üretiminde düşük S/Ç oranı, betonun üst yüzünü boyamak vb. tedbirler sunulmuştur.

Akman (1994); İnceliği yüksek olan puzolanların kimyasallara karşı koruyuculuklarının daha fazla olduğu, puzolanların nitratlar karşısındaki bozulmaları, sülfat bozulmalarından fazla olduğunu ifade etmiştir.

Ulus (2007); Maksimum agrega tane çapı 12.5 mm olan ve granülometrisi Fuller bağıntısına uyan, ham perlit agregası kullanılarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliği üzerinde bir çalışma yapmıştır. 0.3-0.4 ve 0.5 gibi üç farklı S/Ç oranında, beş farklı dozajda ve 23 farklı karışımdan beton numuneler hazırlamıştır. Karışımların bağlayıcı miktarı (çimento veya çimento+silis dumanı) 450 ile 650 kg/m³ arasında değişmiştir. Betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için, bazı karışımlara karışım hacminin %5 kadar ağırlıkta lif katmıştır. Araştırma sonuçlarına göre perlit agregası kullanarak birim ağırlığı 1830 ile 1915 kg/m³ arasında değişen yüksek dayanımlı hafif

beton üretimi için mineral katkının zorunlu olmadığı, fakat süper akışkanlaştırıcının kullanımının zorunlu olduğu görülmüştür. Ayrıca betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde en etkili parametrelerden biri S/Ç oranı, diğeri ise bağlayıcı miktarı olduğu tespit edilmiştir.

Kayali and Zhu (2004); Klor maruz bir ortamda, uçucu kül katkılı yüksek dayanımlı hafif beton kullanılarak üretilmiş betonarme elaman içerisindeki donatıda oluşacak korozyonu araştırmışlardır. Deney elemanını 15 ay süre ile %2'lik klor iyonu çözeltisinde bekletmişlerdir. Yüksek dayanımlı hafif betonların klor difüzyon direncinin diğere betonların aynı direncinden daha yüksek olduğunu, uçucu külün kullanılmasının bu direnci daha da artırdığını belirtmektedirler.

Türkel vd (2003); Deniz suyunda bulunan sülfat iyonları çimento harçlarında ve betonda genleşme meydana getirerek, çatlak, dökülme vb. hasarlar oluşturan başlıca sorunlardan biridir. Betonların deniz suyu etkilerine dayanıklılığı için düşük S/Ç oranları ile üretilmesinin yanı sıra kullanılan çimento tipinin de önemli bir rolü vardır. Bu çalışmada, beş farklı tip çimento kullanılarak iki farklı S/Ç oranında çimento harcı örnekleri üretilmiştir. Örnekler 28 günlük kür süresinden sonra ıslanma-kuruma şeklinde deniz suyu etkisinde bırakılmıştır. Deniz suyunun örnekler üzerindeki etkisi basınç dayanımı, kılcal su emme, hızlı klor geçirimsizliği ve boyutsal kararlılık deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Deney sonuçları deniz suyu etkisinde puzolan katkılı çimentolarla hazırlanan örneklerin Portland çimentosuyla hazırlanan örneklerden daha iyi performans gösterdiği izlenmiştir.

Dizdaroğlu (2000); Korozyon olayında en önemli element klorür olarak bilinmektedir. Klorür, çelik donatı yüzeyinde meydana gelen korozyon koruyucu $Fe(OH)_3$ tabakasını yıpratmaktadır. Klorür iyonları betonun, elektriksel iletkenliğini artırır. Deniz suyu; çeşitli anorganik tuzları, organik maddeleri ve çözünmüş gazları içerir. Deniz suyunda, erimiş tuzlar, klor, Sodyum sülfat, Magnezyum, Potasyum bikarbonat, brom ve iyot bulunur. Betonu korozyondan korunmak için kaliteli beton üretimi, donatının

paslanmaya karşı korunması, çimentonun uygun olması ($\text{pH}>11$), katkı maddelerinin uygun seçilmesi, karışım suyunun uygun olması, boşluksuz ve geçirimsiz beton üretimi ve donatının bitümlü malzemelerle kaplanması olarak açıklanabilir. Klor iyonları çimentoda bulunan C_3A (Kalsiyum alüminat) ile reaksiyona girerek kalsiyum kloralüminatlar oluşturur. Dolayısıyla C_3A miktarı yüksek çimento kullanılması ile klor iyonlarının etkilerinin azalacağı söylenebilir. Granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve mikro silis gibi puzolanik katkıların uygun karışımları ile betona klor girebilirliğini azaltmak, donatı korozyonunu da azaltacaktır.

2.2. Betonun tanımı

Çakıl, kum gibi agrega denilen maddelerin bir bağlayıcı madde ile birleştirilmesinden meydana gelen malzemedir. Bağlayıcı madde de genellikle çimentodur. Mesela portland çimentolu betonda bağlayıcı, portland çimentosu ve su karışımıdır.

Birden fazla maddenin kimyasal özellikleri değişmeyecek şekilde, istenilen oranda bir araya getirilmesiyle oluşan madde topluluğuna karışım denir ve homojen karışım her tarafında aynı özelliği gösteren, tek bir madde gibi gözüken karışımlardır.

Beton daha kolay şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, çelik donatı ile (betonarme) çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi, her yerde üretilebilir olması ve estetik özellikleriyle en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun çekme dayanımı çok düşüktür. Çeşitli kimyasal ve mineral katkı maddeleri kullanılarak durabilite özellikleri daha da iyileştirilebilir (Özkul 2004).

Beton oluşturmak üzere yanyana gelmesi gereken 4 ana madde vardır:

Çimento, Agrega (kum, çakıl, kırmataş), su ve katkı maddeleri (Kimyasal ve Mineral). Çimentolar, su ile kimyasal reaksiyonlar vererek katılaşır sertleşen, kum ve çakıl

gibi katı agregaları birbirine bağlayarak masif bir yapı oluşturan malzemelerdir. Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, %20 oranında su oluşturur. Gerekğinde, çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilebilir (Kuyumcu 2006).

TS EN 206-1'e göre beton 3 sınıfa ayrılmıştır:

Normal beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi, 2000 kg/m^3 'ten büyük, 2600 kg/m^3 'ten küçük olan beton.

Ağır beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi, 2600 kg/m^3 'ten daha büyük olan beton.

Hafif beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi, 800 kg/m^3 'ten büyük, 2000 kg/m^3 'ten küçük olan beton. Hafif beton, betonda kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı hafif agrega olarak imal edilir.

2.2.1. Hafif beton ve çeşitleri

Hafif betonun kullanımı milattan 3000 yıl öncesine dayanmaktadır. Avrupada ise 2000 yıl öncesinde Romalılar tapınak ve heykellerini hafif beton kullanarak inşa etmişler. Üçüncü yüzyılda Iraktaki Babül sarayları, dördüncü yüzyılda Sümerler tarafından yapılan şu an ki Ayasofya camii ve 624 ile 987 yılları arasında Meksikada yapılan piramitlerin inşasında hafif beton kullanılmıştır. İlk yıllarda hafif agrega olarak, doğal hafif agregalardan olan pomza, scoria, tuf, perlit ve benzeri volkanik orijinli kayalar kullanılmıştır.

Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle hem birim ağırlık hem de dayanım koşuluna göre yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif

betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabuller vardır (Taşdemir ve Şengül 1982). Taşıyıcı olan hafif betonların birim ağırlığı 1450-2000 kg/m³ arasında değişmektedir, çoğunlukla birim ağırlık 1600-1850 kg/m³ arasında kalmaktadır. Dayanımları 7-14 MPa arasında olan betonlar orta mukavemetli beton sınıfına girerler (Neville 1975; Taşdemir 1982).

Birim ağırlıklarına göre hafif betonları üç ayrı gruba ayırmaktadır (Taşdemir ve Şengül 1982):

a) **Yalıtım betonları:** Birim ağırlıkları 700–1400 kg/m³, basınç dayanımları 7 MPa'den küçüktür.

b) **Orta mukavemetli hafif betonlar:** Birim ağırlıkları 1400-1600 kg/m³, basınç dayanımları 7-14 MPa civarındadır.

c) **Taşıyıcı hafif betonlar:** Genel olarak birim ağırlıkları 1850 kg/m³ ve basınç dayanımları 15 MPa'den fazladır.

Pomza taşı hafif betonu orta dayanımlı bir betondur. Yalıtım betonları ise perlit ve vermikülit hafif agregasıyla üretilen betonlardır. Gaz ve köpük betonları hem yalıtım hem de orta dayanımlı beton olarak adlandırılır. Kumsuz taşıyıcı hafif agregalı betonlar orta dayanımlı, normal agregalı hafif betonlar ise taşıyıcı beton sınıfına girerler.

Birim ağırlığı geniş bir aralıkta değişen hafif betonları sahip oldukları basınç dayanımlarını da göz önüne alarak Çizelge 2.1'deki gibi sınıflandırmak olasıdır. Bu betonların S1 sınıfındakilerden esas olarak ısı yalıtımının sağlanmasında, kısmen de taşıyıcı olarak yararlanılır. S2 ve S3 betonları orta dayanımlı betonlardır, yalıtım özellikleri de vardır. S4, S5 ve S6 betonları ise birçok ülkede taşıyıcı beton olarak kabul edilirler. ASTM C 330 standardında 28 günlük silindir basınç dayanımının 17 MPa'dan küçük olmaması, birim ağırlığının ise 1840 kg/m³ değerini aşmaması öngörülür.

Çizelge 2.1. Hafif beton sınıfları (Taşdemir 2003)

| Hafif Beton Sınıfı | Birim Ağırlık (kg/m ³) | Basınç Dayanım Aralığı (MPa) |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------|
| S1 | ≤ 800 | 1-7 |
| S2 | 800-1200 | 7-10 |
| S3 | 1000-1400 | 10-14 |
| S4 | 1300-1800 | 14-25 |
| S5 | 1500-1800 | 25-40 |
| S6 | 1800-2000 | 40-70 |

Taşıyıcı hafif beton olarak tasarlanmayan S1 ve S2 sınıflarına ait olanlar duvar işlerinde kullanılır. Böylece yapının toplam ağırlığında önemli bir azalmanın olmasıyla depreme karşı dayanıklılıkta da belirgin katkı sağlanır. Sınıf 4 ve üstü için endüstriyel yolla üretilen yapay hafif agregaların kullanılması gerekir (Taşdemir 2003).

Hafif betonlar değişik yöntemlerle üretilir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanır (Clarke 2010):

- Hafif agrega kullanmasıyla,
- Kum kullanmadan boşluklu beton üretimi,
- Köpüklü beton üretimi,
- Gaz beton üretimi.

Hafif agrega ile üretilen betonlarda çimento, kum, su ve iri hafif agrega vardır. Mineral kökenli ve organik kökenli olmak üzere iki tip hafif agrega vardır. Hafif agrega ile üretilen betonların birim ağırlığı 0.5 kg/l kadar düşebilir.

Kum kullanılmadan üretilen hafif betonların birim hacim ağırlıkları 1.6-1.8 kg/l'dir ve dayanımları çimentonun dozajına bağlı olarak 5-10 N/mm² arasındadır.

Köpüklü ve gaz betonların bünyelerinde büyük oranda birbiriyile bağlantısız büyük boşluklar vardır. Bu boşlukların hacmi, tüm beton hacminin %60'ına kadar varabilir. Köpüklü beton ve gaz betonda iri agrega bulunmaz, yalnızca kum kullanılır.

Üstünlükleri

- Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır.
- Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır.
- Isı yalıtımları yüksektir.
- Yangın bakımından da normal betona göre daha elverişlidirler.
- Standart betona göre 10 kat daha hafiftir.
- Bu özelliği ile binanın depreme karşı daha dirençli olmasını sağlar.
- Homojen dağılır.
- Binaya verdiği hafiflikle binanın depreme karşı daha dirençli olmasını sağlar.
- Esnek ve hava tanecikli olması itibarı ile ses izolasyonu sağlar.
- Hızlı ve kolay uygulanır (Taşdemir ve Şengül 1982).

Sakıncaları

- Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür.
- Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.
- Rutubete karşı yalıtım gereklidir.
- Hafif agregalar daha zor temin edilirler, her yerde bulunmazlar ve üretilemezler. Bundan dolayı maliyetleri yüksektir.
- Sünme ve rötre değerleri daha yüksektir (Taşdemir ve Şengül 1982).

2.3. Betonun karışım suyu

Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değişik tuz vb. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir (Yaşarer 2008).

Karışım suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır:

1. Çimento ile birleşerek hidrasyonun oluşmasını sağlamak.
2. Betonun karılma işleminde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze beton karışımında istenen işlenebilmeyi sağlamak.

Beton karışımında kullanılacak suyun içerisinde istenmeyen miktarda yabancı maddelerin bulunması, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların hızı ve hidrasyonun ne ölçüde gerçekleşeceği etkilemektedir. Buna bağlı olarak, taze betonun priz (katılaşma) süresi, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı etkilenmiş olacaktır. Ayrıca betonarme yapılarıdaki donatılar daha çabuk veya daha çok miktarda korozyona uğrayabilmektedir.

Beton üretiminde, beton karışımının içerisindeki çimentonun hidrasyonunu sağlayabilecek ve taze betonun işlenebilmesini kolaylaştıracak miktarda su kullanılmalıdır. Çimentonun hidrasyonu için gerekli su miktarı yaklaşık çimento ağırlığının %25'i civarındadır. Oysa betonda kullanılan karışım suyu miktarı çoğunlukla bunun üstündedir. Gerekenden az su kullanılması durumunda, yeterli hidrasyon ve işlenebilme elde edilememektedir. Gerekenden fazla miktarda su kullanılmasında ise, sertleşmiş betonun dayanıklılığı ve dayanımı azalmaktadır (Özkul 2004).

Deniz suyunun içerdiği çeşitli tuzlar nedeniyle (NaCl, MgCl₂, CaCl₂, vb.) deniz suyu betonun priz süresini kısaltıcı ve erken dayanımını bir miktar yükseltici bir etki

gösterebilir. Ancak, deniz suyunda bulunan sülfat iyonları ($MgSO_4$, $CaSO_4$) dayanıklılığı ve 28 günden sonraki dayanımları olumsuz etkiler. Daha önemli bir hususta deniz suyunun betonarme donatılarının paslanmasına neden olmasıdır. Deniz suyunun beton karışım suyu olarak kullanılması, gereken önlemlerin mutlaka alındığı kaçınılmaz durumlar dışında önerilmemektedir. Mesela beton üretiminde Pomzalı Kaplama Boyası (POMKAP) uygun bir çözüm olabilir. Özellikle aktif silis miktarı ve $SiO_2+Fe_2O_3$ toplamı en yüksek olan pomzalarla üretilecek POMKAP'lar ile kaplanan betonlar deniz suyu ve sülfat etkisine karşı önemli dayanım gösterdiğinden tercih edilebilir (Yaşarer 2008).

Beton karışım suyundaki aşırı yabancı madde miktarının beton özelliklerine etkisi:

Karışım suyu içerisindeki değişik türdeki yabancı maddeler, miktarlarına bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini önemli derecede etkilemektedir (BS 3148).

Kil ve silt içeren sular (bulanık sular): Oranının %0.2'den fazla olması durumunda, betonun işlenebilirliği azalmaktadır. Belirli bir kıvam elde edebilmek için çok su kullanmak gerekir. Bu durumda, betonun büzülmesi artmakta, dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır.

Organik maddeler, şeker ve yosun: Bu maddelerin içerdiği tannik asit, taze betonun priz sürelerini (katılaşma süresi) geciktirmekte ve betonun basınç dayanımını azaltmaktadır. Sudaki şeker miktarının %0.05 g/l'den fazla olması istenmemektedir. Bu miktardan daha az şeker bulunması, çimentodaki prizi geciktirmektedir. Bu miktardan daha fazla şeker olması durumunda (%0.05-%0.15) çimentonun prizini hızlandırmaktadır (BS 3148).

Yağ: Endüstriyel atık sularda bazen bir miktar mineral yağlar bulunmaktadır. Çimentonun ağırlığının %2'sinden fazla mineral yağ içeren sularla yapılan betonların basınç dayanımlarında %20 civarında azalma olmaktadır (BS 3148).

Karbonatlar ve bikarbonatlar: Kalsiyum bikarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) ve Magnezyum bikarbonat ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) içeren sulardaki kalsiyum ve Magnezyum iyonları su içerisinde kolayca erimemektedir. %0.04'ün üzerinde bulunduğu betonun dayanımını olumsuz etkilemektedir (BS 3148).

Fosfat, arsenat, borat, demir tuzları: Yeraltı sularında %0.002-%0.003'ten fazla demir bulunmamaktadır. Bu maddelerin su içerisinde fazla bulunması durumunda, taze betonun prizi gecikmekte ve dayanımı azalmaktadır. Su içinde %4'ten fazla demir iyonunun bulunması durumunda hem priz gecikmekte hem de dayanım azalmaktadır (BS 3148).

Asitler: Su içinde fazla miktarda asetik asit (sirke asiti), hidroklorik asit, sülfürik asit ve laktik asit (süt asiti) gibi organik asitlerin bulunması durumunda, betonun içerisinde çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitin çözünmesi meydana gelmektedir. Kapilerite olayı etkisiyle yüzeye çıkan tuzlu sular buharlaşmakta ve beton yüzeyinde çiçeklenme oluşmaktadır. Beton içerisindeki kalsiyum hidroksitin çözünmesiyle, betonda gözenekler oluşmakta ve dayanım ve dayanıklılık olumsuz etkilenmektedir (BS 3148).

Beton karışımında kullanılmaya uygun su, betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve görünümüne olumsuz etki yapabilecek türde ve miktarda yabancı miktarda madde içermeyen su'dur. TS 500'de, "karışım suyu asit reaksiyon göstermemelidir ($\text{pH}>7$)."

İngiliz standardında (BS 3148), karışım suyu içerisinde bulunabilecek maddelerin sınırlaması şöyledir ;

1- Kalsiyum + Magnezyum + sodyum + potasyum + bikarbonat + sülfat + klorür + nitrat gibi iyonların toplam miktarı en fazla 2000 mg/l.

2- Sülfatlar (SO_3) olarak en fazla 1000 mg/l.

3- Klorür toplam miktarı en fazla 500 mg/l.

İngiliz standardına göre betonarme yapılarda deniz suyu kullanılamaz.

Karışım suyunun uygunluğunun araştırılması (Erdoğan 2003) :

Suyun kokusu, rengi ve tadı alışılmıştan farklı ise veya su bulanık ise veya karıştırıldığında gaz çıkartıyor, köpük oluşuyor ise, bu sulara şüphe ile bakmak gerekir. Uygun olup olmadığı üç değişik yöntemle tespit edilir;

1- Kimyasal analiz yöntemi ile,

Su numunesinin PH değeri, kokusu, sertliği, Magnezyum, amonyum, sülfat, klorür içerikleri kimyasal analizle bulunur.

2- Suyun priz süresine etkisi,

Çimento ile saf su kullanılarak priz süresi bulunur. Çimento ile şüpheli su kullanılarak priz süresi bulunur. Priz başlama süreleri arasındaki fark en fazla 30 dakika ise uygundur.

3- Suyun beton dayanımına etkisinin araştırılması,

Şüpheli su ve iyi su ayrı ayrı kullanılarak iki beton karışımı yapılır. şüpheli su ile elde edilen dayanım değerleri, iyi su ile yapılmış olanların dayanım değerinin %90'nını sağlıyorsa uygundur (Erdoğan 2003).

2.4. Çimento

"Çimento", Latince'deki "COEMETUM" dan Fransızca "CEMENT", Almancaya "ZEMENT" olarak geçmiş, türkçeye'de İtalyancadaki "Çimento" dan girmiştir. Çimento, başlıca silisyum, alüminyum (Al), kalsiyum (Ca), ve demir oksitleri (Fe₂O₃) içeren hammaddelerin sinterleşme derecelerine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde olan klinkerin, tek veya daha fazla katkı maddesi katılarak öğütülmesi ile üretilen hidrolik bir bağlayıcıdır (Kuyumcu 2006).

Yeni genel çimentolar TS EN 197-1’de “CEM Çimentosu” olarak adlandırılır. CEM çimentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi Portland çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılarıdır.

TS EN 197-1 standarda göre CEM Çimentoları, 27 alt çeşidi kapsayan 5 ana tiptir.

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

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

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

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

CEM V: Bu grupta Kompoze çimentolar bulunur. Bunlara hem cüruf (%18-50) ve hem de puzolan ve uçucu kül (%18-50) miktarı belirlenen sınırlar içerisinde değiştirilerek birlikte katılır, miktarları klinker oranı %20-64 arasında kalacak şekilde ayarlanır (yeğınobalı 2003).

Ayrıca çimentolar için 3 standard dayanım sınıfı belirlenmiştir: 32.5, 42.5 ve 52.5. Bu değerler TS EN 196-1’e göre tayin edilen ve MPa olarak ifade edilen 28 günlük basınç dayanımları ile ilişkilidir. TS EN 197-1’de karakteristik değerler olarak belirtilmişlerdir. Ayrıca, her standard dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu

amaçla kullanılan sembollerden, N: Normal erken dayanım sınıfını, R: Yüksek erken dayanım sınıfını belirtmektedir (Yeğınobalı 2003).

2.5. Agregası

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, geliştirilmiş perlit ve uçucu kül gibi malzemelerin genel adı agregası'dır. Agregalar betonun hacminin yaklaşık olarak %70-75 ini oluşturur. Betonda agregası kullanılması ekonomik ve teknik özellikler bakımından büyük yararları bulunmaktadır.

Betonda kullanılan agregasının dayanıklılığı, gözenekliliğı, su geçirgenliğı, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genişleme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agregasının temizliğı gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir .

Agregası, kaba ve ince agregası olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agregası "mıcır" yada "çakıl", ince agregası "kum" olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyuttur. 4 mm'den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agregası, 4 mm'den küçük boyuttaki kısma ince agregası denir (Cilason ve Aksoy 1988).

Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (Deniz kabuğı, odun, kömür parçası vb.),
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Alkali reaksiyonu göstermemeleri,

Hafif agregaların sağlamış olduğu avantajlar, dünya genelinde bu agregaların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu agregaların her yerde mevcut olmaması, bazı ülkeleri fabrikalarda hafif agrega üretimine yöneltmiştir.

Zararlı maddeler: Betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılışı ve miktarlarına bağılı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır:

Yıkanabilir maddeler (kil, silt ve çok ince taş unu), organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler (kükürtlü bileşikler, çeliğe zarar veren maddeler), bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler.

Tane şekli: Agregatanelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır (Çağlayan vd 1999).

2.5.1. Perlit

“Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit, ısıyla genişleme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Perlitte en önemli özellik %2 ile %6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır. Perlit agregalarının hava kurusu gevşek (GBA) ve sıkışık birim ağırlıklarının (SBA), tane çapına ters orantılı olarak arttığı gözlemlenmektedir” (Ulus 2007).

Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmektedir:

A) Fiziksel özellikleri (Bolen 1993) :

- Renk : Beyaz, gri
- Refraktif İndeks: 1.5
- Yumuşama noktası : 870-1100°C
- Serbest nem (%): Maksimum 0.5
- Ergime noktası : 1260-1343°C
- Ağırlık kaybı: İstenildiği kadar
- OH : 7.5-8.0
- Gevşek yoğunluk: 32-400 kg/m³
- Özgül ısı : 0.2 Cal/gC (837 J/Kg.k)
- Isı iletkenliği : 0.04 W/m.k
- Özgül ağırlık : 2.2-2.4 g/cc (2200-2400 Kg/m³)

B) Kimyasal özellikleri (%) (Bolen 1993; Ulusu 2007) :

| | |
|--------------------------------|-----------|
| SiO ₂ | 71.0-75.0 |
| AlO ₃ | 12.5-18.0 |
| Na ₂ O ₃ | 2.9-4.0 |
| K ₂ O | 0.5-5.0 |
| CaO | 0.5-0.2 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.1-1.5 |
| MgO | 0.02-0.5 |
| TiO ₂ | 0.03-0.2 |
| MnO ₂ | 0.0-0.1 |
| SO ₃ | 0.0-0.2 |
| FeO | 0.0-0.1 |
| Cr | 0.0-0.1 |

2.5.2. Rezervler

Dünya Perlit rezervleri volkanik kuşak içindeki bölgelerde bulunmaktadır. Ülkeler ve bölgeler için perlit rezervleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Türkiye ve Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir.

Çizelge 2.2. Perlitin dünya rezervleri Milyon Ton (Yiğit 1992).

| ÜLKELER | Rezervler | Rezerv Toplamı |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Kuzey Amerika | | |
| ABD | 45.4 | 182.0 |
| Diğer | 4.5 | 18.0 |
| TOPLAM | 49.9 | 200.0 |
| Avrupa | | |
| Yunanistan | 45.5 | 273.0 |
| Diğer | 453.6 | 909.0 |
| TOPLAM | 500.0 | 1.182.0 |
| Asya | | |
| Japonya | 9.1 | 45.5 |
| Filipinler | 9.1 | 36.4 |
| Türkiye | 27.3 | 273.0 |
| TOPLAM | 45.5 | 354.9 |
| Afrika ve Okyanusya | 22.7 | 90.1 |
| Dünya Toplamı (Yuvarlatılmış) | 635.0 | 1.820.0 |

2.5.3. Perlitin kullanılmasının betonun özellikleri üzerinde etkisi

2.5.3.a. Perlit agregalı betonların birim hacim ağırlıkları

Hafif agregaların içinde boşlukların fazla olması nedeni ile ısı yalıtımları yüksek olup ve yoğunlukları da düşer. Yoğunlukları düşük olmasından dolayı basınç dayanımları da düşük olur. Hafif betonlarda hem yüksek dayanım hem yüksek ısı yalıtımı aynı zamanda aranmaz. Genelde normal betonların yoğunlukları 2400 kg/m^3 olur ve bu yoğunluk hafif betonlar için $1000\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$ aralığında olur (Pekdemir 2010).

Hafif iri agregası kullanımı ile ince agregası kullanılmadan birim hacim ağırlık 640 kg/m^3 'e kadar düşürülebilir (yazıcı 2001). Perlit agregası ile üretilen hafif betonların birim ağırlıkları en az $1000\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$ aralığında olabilir. Çünkü perlit agregaların kuru birim hacim ağırlıkları $1000\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$ aralığındadır. Betonun birim ağırlığı artması ile birlikte basınç dayanımı ve elastisite modülü de artış gösterir.

2.5.3.b. Perlit agregalı betonların elastisite modülü

Normal betonda agreganın artması ile birlikte betonun rijitliği de artış gösterir ama hafif betonda agregası miktarının artması betonun rijitliğini azaltır. Hafif betonun basınç dayanımı normal betonla aynı olması durumunda, hafif betonun elastisite modülü normal betonun %50-75 oranındadır.

Hafif betondan yapılan kirişler normal betondan yapılan kirişlere göre daha fazla sehim yapar. Çünkü hafif betonların ani elastisite modülü normal betonun %50'si kadardır (Pekdemir 2010).

2.5.3.c. Perlit agregalı betonların su emmesi

Perlit agregalı betonların su emmeleri normal betona kıyasla daha yüksektir. Buna rağmen donma çözünmeye karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Dolayısı ile perlit agregası kullanımı betonun su emme oranını artırmaktadır. Yapılmış çalışmalarda agregadaki SE özelliğinin, agreganın boşluk yapısından kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Agreganın boşluk yapısı artıkça su emme özelliği artmaktadır (Polat 2007).

2.5.3.d. Perlit ile üretilen hafif betonların ısı iletkenlik ve yalıtımları

Bir cismin ısı iletkenliği, homojen bir malzemenin kararlı hal şartları altında iki yüzey sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğu zaman, birim zamanda, (1 saat, birim alanı 1m^2)

ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan 1 m geçen ısı miktarıdır. Isı iletkenliğin birimi (KCal/m.h.°C) olarak tanımlanır. Hafif betonların ısı yalıtımı normal betona kıyasla daha iyidir. Çünkü hafif agregalar daha hafiftir, agreganın hafifliği arttıkça betonun bu özelliği de artar. Hafif betonun ısı yalıtımı betonun üretiminde kullanılan agreganın cinsine de bağlıdır (Pekdemir 2010).

2.5.3.e. Perlit agregası ile üretilen hafif betonların rötre ve sünme değerleri

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

2.5.3.f. Perlit agregalı betonların basınç ve çekme dayanımı

Hafif betonlarda da zamanın geçmesi ile betonun dayanımı artır ve bu konuda normal beton gibidir. Hafif betonun ısı yalıtımı yüksek olduğu için betonun içinde oluşan hidratasyon ısısı kolayca dışarıya çıkmaz ve beton kütlelerinin iç kısmı dış kısmından daha erken sertleşir. Betonun iç kısmının erken sertleşmesi betonda çatlaklara neden olabilir. Hafif agregaların çekme dayanımları normal agregaya kıyasla düşük olup ve betonda oluşan çatlaklar büyük agregalardan geçer. Hafif betonun çekme dayanımı aynı basınç dayanımına sahip olan normal betona kıyasla %25 daha düşük olur (Ulus 2007).

2.6. Katkı maddeler

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiklere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür (Kuyumcu 2006).

Kimyasal katkı tipleri:

- Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı
- Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı
- Hava Sürükleyici
- Priz Hızlandırıcı
- Priz Geciktirici
- Su Geçirimsizlik Katkısı
- Su Tutucu Katkılar
- Sertleşme Hızlandırıcı
- Priz Geciktirici, Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı
- Priz Geciktirici, Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı
- Priz Hızlandırıcı, Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı

Su azaltıcılar (akışkanlaştırıcılar): Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Akışkanlaştırıcılar azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak sınıflandırmaktadırlar. Priz geciktiriciler taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar.

Hava sürükleyici katkıları: Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

Priz hızlandırıcılar: Priz geciktiricilerin aksine, bu katkıları betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

Su geçirimsizlik katkıları: Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılarıdır. Ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin standartlara göre iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Bazı betonlarda birden fazla katkı

türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir (Kuyumcu 2006).

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf , uçucu kül , silis dumanı, taş unu vb. çeşitli maddelere “Mineral Katkı” adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar, fakat çimento ile birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar (Kuyumcu 2006). Mesela Fransa’da birçok barajın inşaatında uçucu kül ve silis dumanı %15-30 oranında çimentoya karıştırılarak kullanılmış ve böylece bağlayıcı madde tüketimini azaltıp ve bu nedenle de enerji tüketiminde ekonomi sağlanmıştır.

2.7. Betonda aranan özellikler

2.7.1. Beton basınç dayanımı

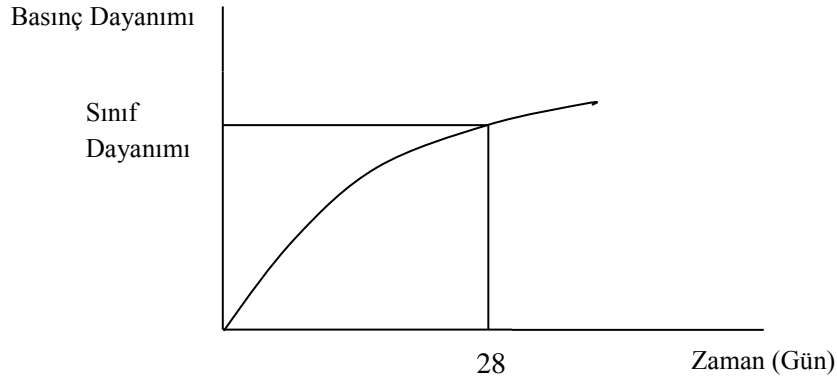
Betonun basınç dayanımı, aksel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyetidir. Betonda araştırılan en önemli dayanım türü, basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri;

1- Beton basınç dayanımını bulmak için uygulanan yöntem, diğer dayanım türlerinin bulunması için uygulanan yöntemlerden basittir.

2- Betonun basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında yaklaşık bir korelasyon bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer dayanım büyüklükleri hakkında da fikir elde edilebilmektedir. Basınç dayanımı, yoğunluğu ve çimento dozajına bağlıdır. Dayanım gelişimi normal betondaki gibi zamana bağlıdır. Tipik olarak eğilme dayanımı basınç dayanımının %30’u mertebesinde olup bu oran normal betona göre yüksektir (Yazıcı 2001).

3- Hemen hemen tüm yapıların tasarımında, beton basınç dayanımı kullanılmaktadır. Bunun yanında, eğilme, çekme ve yorulma gibi dayanım türleri ihmal edilmektedir.

"Betonun mekanik özelliklerden en önemli ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Bunun yanı sıra betonun tüm olumlu nitelikleri basınç dayanımı ile paralellik gösterir. Bu nedenle betonun basınç dayanımını saptamakla betonun kalitesi ve betonun sınıfı belirlenir. Betonun basınç dayanımı uygun koşullarda Şekil 2.1'deki gibi zamanla artar" (Kuyumcu 2006).



Şekil 2.1. Basınç dayanımı–zaman ilişkisi

Şekilden anlaşılacağı gibi yapıların dizaynında 28 günlük dayanım esas alınır. Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir.

Çimento tipi ve miktarı çimentonun cinsi ve dozajı (1m^3 betondaki çimento ağırlığı), beton basınç dayanımını etkiler. Beton basınç dayanımını belirleyen en önemli unsur S/Ç oranıdır. Suyun en uygun değerden az veya fazla kullanılması beton dayanımını etkiler. Karışım suyunun kalitesi ve miktarı da önemlidir ve göz altına alınmalıdır.

Sıkıştırmanın etkisi, taze betonun yerleştirildikten sonra yeterince sıkıştırılmaması, boşluk oranının artmasına ve dayanımın düşmesine neden olur. Beton hernekadar usulüne uygun hazırlanmışsa da kalıba yerleştirilirken vibratör kullanılmıyorsa, basınç dayanımında %30 lara varan düşmeler görülür (Kuyumcu 2006).

Taze beton yeterli dayanımı kazanıncaya kadar, mümkün olduğunca yüksek nemli ortamda korumak gerekir. Taze beton için en olumsuz hava koşulları; yüksek sıcaklık, rüzgarlı ve kuru ortamlardır. Benzer şekilde sıfırın altındaki sıcaklıklarda önlem alınmaksızın beton dökümü sakıncalıdır. Taze betonun sıcaklığının +5 derece ile +32 derece arasında kalması istenir.

Deney koşulları-örnek şekil ve boyutları beton örneklerinin formu, boyutları ve deneydeki yükleme hızları, en büyük agrega tane boyutu ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler beton basınç dayanımını etkiler (Kuyumcu 2006).

Betondan istenen bir diğer özellik olan dayanım ile ilgili yine TS EN 206-1'de beton basınç dayanım sınıfları ve bu sınıfların karakteristik silindir ve küp basınç dayanım değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. TS EN 206-1'e göre beton sınıfları ve dayanımları

| Basınç dayanımı sınıfı | En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,sil}$ (MPa) | En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp}$ (MPa) |
|------------------------|---|--|
| C 8/10 | 8 | 10 |
| C 12/15 | 12 | 15 |
| C 16/20 | 16 | 20 |
| C 20/25 | 20 | 25 |
| C 25/30 | 25 | 30 |
| C 30/37 | 30 | 37 |
| C 35/45 | 35 | 45 |
| C 40/50 | 40 | 50 |
| C 45/55 | 45 | 55 |
| C 50/60 | 50 | 60 |
| C 55/67 | 55 | 67 |
| C 60/75 | 60 | 75 |
| C 70/85 | 70 | 85 |
| C 80/95 | 80 | 95 |
| C 90/105 | 90 | 105 |
| C 100/115 | 100 | 115 |

“C” betonun İngilizcesi olan “concrete” kelimesinin ilk harfini, ilk rakam betonun karakteristik silindir dayanımını (N/mm^2), ikinci rakam ise betonun karakteristik küp dayanımını (N/mm^2) temsil etmektedir.

2.7.2. Beton dayanımını oluşturan etkiler

Beton Dayanımını etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz; S/Ç oranı, karma suyunun kalitesi, çimento ve agreganın özellikleri, kür koşulları, yerleştirme ve

sıkıştırma özellikleri, betonun yaşı. Karma işlemleri yapılırken bunlara dikkat edilmesi gerekir.

2.7.3. Betonun işlenebilirlik özelliği

Taze betonun homojenliğini kaybetmeden karıştırılabilmesi, taşınması, pompalanabilirliği, kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdelanması özelliklerine "işlenebilirlik" söylenir. Taze betonda işlenebilirliğin döküm boyunca korunması gerekir. İşlenebilir bir betonda vibratör kullanılarak boşluksuz yerleştirilebilir. İşlenebilirliğin ölçüsü kıvamdır. Beton kıvamları ve çökme değerleri (TS 11222) içeriğinde vardır.

Taze betonda olması gereken yeterli ölçüdeki işlenebilirlik, betonun kullanılacağı yapının tipi ile ve betonu taşımada ve yerleştirmede uygulanacak yöntem ile ve beton kütlenin boyutları ile ilgili doğrudan ilgili olan bir husustur. İşlenebilirlik, taze betonun en önemli özelliğidir. Yeterli işlenebilirlik özelliğine sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde yeterli dayanımı ve dayanıklılığı gösteremez.

İşlenebilirliyi etkileyen faktörler:

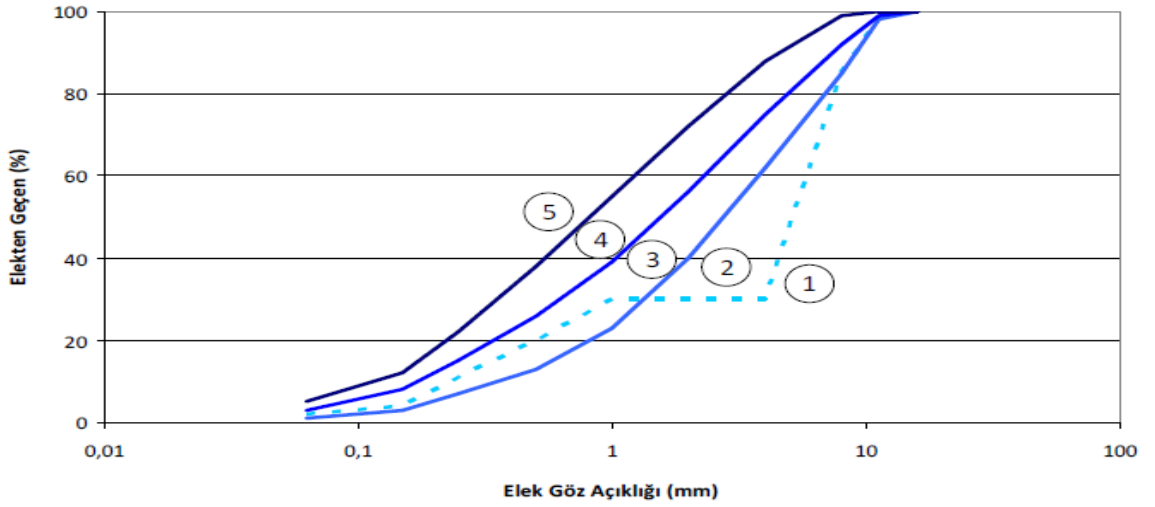
- Çimento miktarı ve özelliği
- Karma suyu miktarı
- Agregada gradasyonu ve en büyük agregada tane boyutu
- İnce agreganın miktarı ve tane dağılımı oranı
- Agregaların tane şekli
- Beton yapımında kullanılan ince taneli mineral katkıları
- Beton yapımında kullanılan kimyasal katkıları
- Hava sürüklenmiş betonlardaki sürüklenen hava miktarı
- Beton karışımının sıcaklığı
- Betonun karıldığı andan, kıvamının ölçüleceği ana kadar geçen süre.

2.8. Agrega tane boyutu

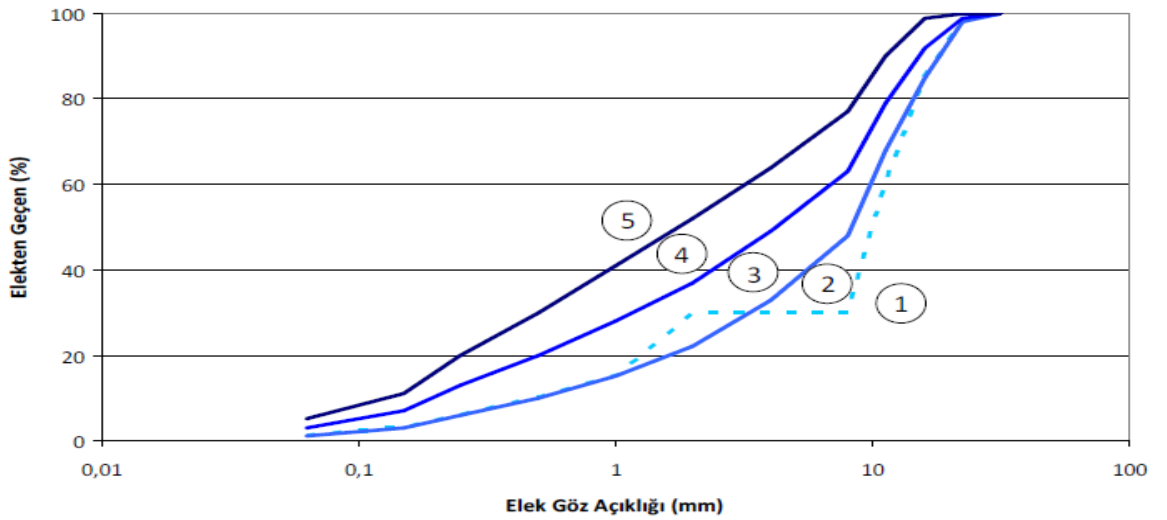
TS 802'ye göre karışım hesaplarına en büyük agrega tane büyüklüğünün (D_{max}) seçilmesiyle başlanmaktadır. D_{max} agrega özelliklerinden bir tanesidir ve agregaların tümünün geçebildiği en küçük elek boyutu olarak tanımlanır. Beton tasarımında kullanılabilir agreganın en büyük tane boyutu, betonun kullanılacağı yapı elemanının türü ve bu yapı elemanının boyutlarıyla ve içerisinde bulunan donatıların konumuyla yakından ilişkilidir. Beton tasarımında kullanılacak agreganın en büyük tane boyutu betonun döküleceği kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme kalınlığının 1/3'ünden, donatılı betonlarda ise en küçük donatı aralığının 3/4'ünden daha küçük seçilmelidir. Beton pompa ile dökülecekse, en büyük tane boyutu pompa borusunun iç çapının 1/3'ünden daha küçük olmalıdır.

Beton tasarımında yer alacak agreganın tane boyut dağılımı, betonun işlenebilirliğini, dayanımını ve ekonomikliğini doğrudan etkilemektedir. Karışımdaki agreganın tane boyut dağılımı, agreganın en büyük tane boyutuyla da ilişkili olarak, Şekil 2.2 ile Şekil 2.3'te belirtilen sınırlar içinde seçilmeli, karışımlar bu limitlere göre hazırlanmalıdır.

Karışımın agrega tane boyut dağılımının şekillerde belirtilen 3 numaralı bölgede bulunması betonun işlenebilirliği, dayanımı ve ekonomikliğine katkı sağlayacağından tercih edilmeli, bu mümkün değilse 4 numaralı bölge içinde kalınmalıdır. Ancak zorunlu durumlarda 2 numaralı bölge içinde kalan kesikli tane dağılımları da (gap-graded) kullanılabilir (TS 802 ve TS 500).



Şekil 2.2. Agrega en büyük tane boyutu (D_{max}) 8 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri



Şekil 2.3. Agrega en büyük tane boyutu (D_{max}) 16 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri

1 numaralı bölge çok iri, 2 numaralı bölge kesikli, 3 numaralı bölge uygun, 4 numaralı bölge 3 numaralı bölgeye göre daha ince ve 5 numaralı bölge ise çok ince bir tane boyut dağılımını temsil etmektedir.

2.9. Betonda iç ve dış etkenlere bozulması

Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olabilir. Mekanik yolla oluşan hasarlar darbe, aşınma, erozyon ve oyulma etkileri sayılabilir. Kimyasal etkenler, dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir. Bozulmanın fiziksel nedenleri ise; yüksek sıcaklıklar, donma-çözülme, çözücü tuzlar vb. dir.

2.9.1. Fiziksel etkenler

Betonun bozulmasına neden olan fiziksel ve mekanik etkenler iki ana grupta toplanabilir; yüzey aşınması nedeniyle betonda kütle kaybına sebep olanlar ve betonda çatlama gibi hasarlara neden olur. Aşınma, erozyon ve oyulma olayları ilk grupta yer alır. Ayrıca ıslanma-kuruma, boy ve hacim değişimleri, donma-çözülme, aşırı yüklenme, yüksek sıcaklıkların ve sıcaklık değişimlerinin etkileri ikinci grupta yer alır.

2.9.1.a. Aşınma, Erozyon ve Kavitasyon

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 veya ağır cisimlerin sürüklenmesi gibi etkenlerden kaynaklanır. Betonun aşınma dayanıklılığı, beton yüzeyinin birkaç mm derinliğindeki çimento matrisinin boşluk yapısı ile doğrudan ilişkidir. Bu bağlamda, düşük S/Ç oranı ile çalışılması, taze betonda ayrışma ve aşırı terlemenin önlenmesi ve betonun bakımının (kür) eksiksiz ve zamanında yapılması gereklidir. Genelde basınç dayanımı yüksek olan betonun aşınmaya karşı da dayanıklılığı yüksektir. TS EN 206/1'e göre C30/37 ve üzerindeki bir beton sınıfının tercih edilmesi, çok şiddetli etki durumunda ise beton sınıfının C35/45 ve üzerinde olması söylenmiştir (Yeğinobalı 1999; Baradan ve Aydın 2001).



Şekil 2.4. Otoyol rampasında aşınma

Erozyon ise içinde askı halinde parçacıklar bulunan sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek yine abrasif yolla aşındırmasıdır. Bu olaya daha çok su yapılarında ve beton borularda rastlanır. Aşırı derecede zarar görmüş bir kanal yapısının üzerine kaplama uygulanarak tamir işlemi görülmektedir.



Şekil 2.5. Erozyona uğramış kanal

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 oluşur (Baradan ve Aydın 2001).



Şekil 2.6. Baraj dolusavağında kavitasyon

2.9.1.b. Betonda donma-çözülme

Sertleşmiş beton suya doygun haldeki etkisinde kalınca, beton içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve genişir. Genleşme sonucu oluşan gerilmelerin mertebesi betonun çekme dayanımını aştığı takdirde betonda kabuk atma, çatlama vb. şekilde bozulmalar meydana gelir.



Şekil 2.7. Betonda donma-çözülme hasarı

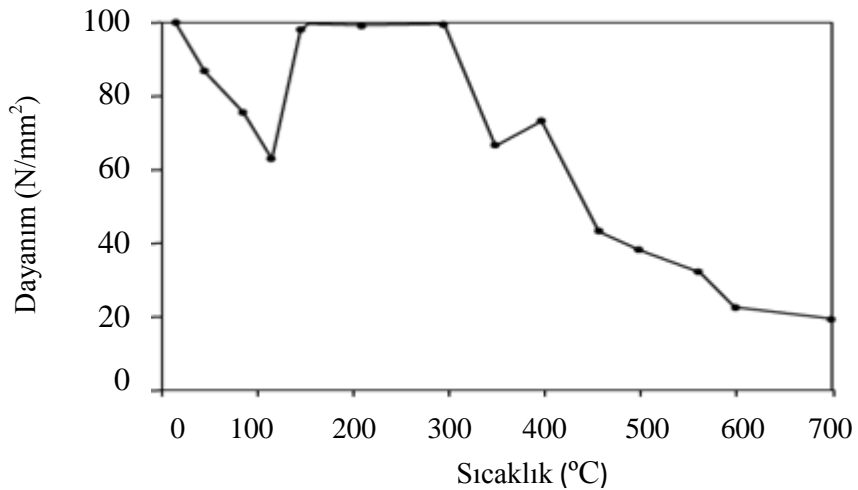
Sertleşmiş betonun donma olayına karşı dayanıklılığını etkileyen betonun doygunluk derecesi ve boşluk yapısıdır. Kritik doygunluk değeri altında betonun dona dayanıklılığı oldukça iyidir. Kuru betonun don nedeniyle zarar görmeyeceği söylenebilir. Bu nedenle beton elemanları şiddetli iklim koşullarında su emmeyecek şekilde korumak, beton

dökümünü yapının kurumasına izin verecek şekilde kış mevsiminden önce yapmak önlemler olarak düşünülebilir (Baradan ve Aydın 2001).

Beton kritik doygunluk derecesindeyken uzun süreli donma etkisine maruz kalmadan önce 28 MPa (orta şiddette etki durumunda 21 MPa) basınç dayanımına ulaşması ve donma etkilerine dayanıklılık açısından S/Ç oranının 0.5'i aşmaması önerilmiştir (ACI 201.2R-92). TS EN 206-1 standardı, donma-çözülme tehlikesinin bulunduğu ortamda buz çözücü tuzlara ve deniz dalgalarına maruz betonarme yapılarda kullanılması gerekli en küçük beton dayanım sınıfını C30/37, en fazla S/Ç oranını 0.45, en az çimento dozajını 340 kg/m^3 ve en az hava içeriğini %4 ile önerilmektedir.

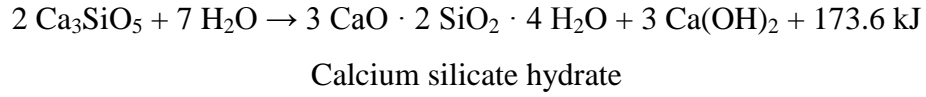
2.9.1.c. Yüksek sıcaklığın betona etkisi

Beton birçok yapı malzemesine kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirleyici gaz veya duman çıkarmaz. Yüksek sıcaklıklar betonda, dış yüzeylerde ayrışmaya, kabuk halinde dökülmeye neden olmaktadır. Betonda çatlakların oluşumu daha çok ek yerlerinde, betonun iyi sıkıştırılmamış bölgelerinde ve donatıların bulunduğu bölgelerde görülür. Donatının açıkta olduğu durumlarda, çelik ısıyı çok iyi iletir, zararın mertebesini artırır. Çimento hamurunun mekanik özelliklerine sıcaklıkların etkisi Şekil 2.8'de verilmiştir (Khoury and Anderberg 2000).



Şekil 2.8. Çimento hamurunun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi

50-120°C sıcaklık aralığında dayanım düşmüş, çünkü hamurdaki su tabakalarının şişmesi nedeniyle bağların zayıflamasına neden olur. Dayanımların bu sıcaklıktan sonra tekrar kazanılması termal kurumanın yararlı etkisinden kaynaklanmaktadır. 300°C sıcaklığın üzerinde mekanik özelliklerin bozulması üzerinde porozite artışının başlaması da etkin rol oynamaktadır. Sıcaklık 300°C oldukça C-S-H (Calcium silicate hydrate) ara yüzeylerindeki su, C-S-H ve sülfalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümünün kaybedilmesi mikro çatlaklara yol açar.



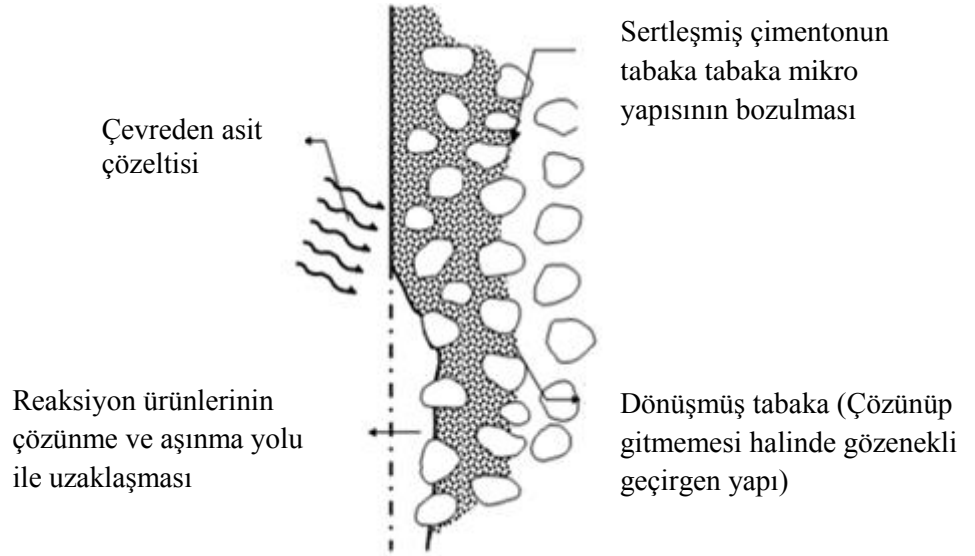
Mikro çatlaklar önce Ca(OH)_2 'nin toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin olduğu bölgede (400°C'de) görülür. 400 ile 600°C arasındaki yüksek sıcaklıklar sertleşmiş çimento hamurunda boşluk sisteminin tamamen kurumasına, hidrasyon ürünlerinin ayrışmasına ve kalsiyum silikat hidroksit jellerinin parçalanmasına yol açar. 400 °C' de kalsiyum hidroksitin ayrışması ve bu sıcaklıktan soğuma sonunda tekrar hidrate olarak genişmesi ile açıklanmaktadır. Yangın söndürme çalışmaları sırasında püskürtülen su CaO 'i tekrar Ca(OH)_2 'e dönüştürür ve hacimde genişleme görülür. Kısa sürede büzülen ve genişleyen beton içinde oluşan parazit gerilmeler hasarın büyümesine neden olur (Baradan ve Aydın 2001; Akman 2001).

2.9.2. Kimyasal etkenler

Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal reaksiyonlar kendini, betonun gözenekliliğinin ve geçirimsizliğinin artması, dökülmeler, kapak atmalar, çatlamlar ve betonun dayanımını ve rijitliğini kaybetmesi şeklinde gösterir. Tüm kimyasal reaksiyonlarda, sıcaklık reaksiyon hızını arttıran bir faktördür. Sıcaklık iyonlar veya moleküllerin hareket hızını artırır. En çok karşılaşılan kimyasal saldırılar sülfat, tuzlar, asit ve alkali saldırılarıdır. Deniz suyu ve tuz etkileri de önemli kimyasal ve fiziksel etkileri olan saldırı kaynaklarıdır.

2.9.2.a. Betona asitlerin etkisi

Portland çimentosu yüksek dereceden alkali olduğu için, beton güçlü asitlerin ya da asit oluşturan maddelerin saldırısına dayanıksızdır. Kimyasal saldırı, çimento hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve oluşan yeni ürünlerden eriyebilir olanların betondan ayrılması, erimez olanların betonu parçalaması şeklinde görülür (Khaled and Soudki 2005). Asit saldırısına en hassas bileşen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'dir. C-S-H'lar da saldırıya uğrayıp zarar görebilir.



Şekil 2.9. Asit etkisiyle betonun bozulma mekanizması

En önemli etken oluşan kalsiyum tuzunun çözünürlüğüdür. Çözünürlük arttıkça, su ile taşınan maddeler zararı artırır. Asit etkisi yüzeyden içeriye doğru olduğu için, dış yüzeyin izolasyonu zorunludur. Bu çözüm (Geçirimsiz beton üretmek) yeterli değildir. Bu amaçla bitümlü malzemeler, özel yağlar, boya ve vernikler, sentetik reçineler gibi maddeler kullanılabilir.

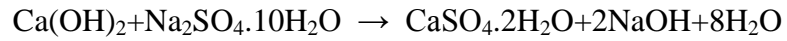
2.9.2.b. Sülfatların betona etkisi

Sülfat çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Sülfat iyonların betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal

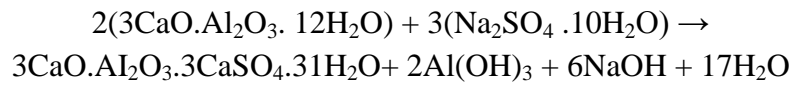
reaksiyona girmesi etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genleşme meydana getirerek çatlaklara ve dağılmaya yol açıp, agrega-çimento hamuru aderansının etkilenmesiyle betonun mukavemeti düşer (Khaled and Soudki 2005).

Sülfat iyonları topraktan ya da zemin suyundan beton içine girebilir. Bazı tür çalılık dışında, bitki, ağaç yetişmeyen, yüzeyinde beyaz lekeler, tuz birikintileri görülen çorak topraklarda, sülfat etkisinden şüphe edilmelidir. Deniz yapılarında, deniz suyundaki sülfatlar, ıslanma-kuruma bölgesinde buharlaşma nedeniyle betonun sülfat yoğunluğunun artmasına yol açabilir. Çimentonun C₃A bileşenin ani prizini önlemek için üretim aşmasında çimento az miktarda kalsiyum sülfat katılır. Betonun mukavemetinin etkilenmesini önlemek için çimento standartları katılan alçıtaşının oluşturacağı SO₃ miktarını çimento ağırlığının %3'ü ile sınırlamıştır (Baradan ve Aydın 2001).

Sodyum sülfatın Ca(OH)₂ ile yaptığı reaksiyon:



Hidrate C₃A'nın sodyum sülfatla yaptığı reaksiyon:



Kalsiyum sülfat ise yalnızca C₃A ile reaksiyona girer ve Kalsiyum sülfalüminat (3CaO.Al₂O₃.3CaSO₄.31H₂O) oluşturur.

2.9.2.c. Beton yollarda kullanılan tuzların etkisi

Buz çözücü olarak, en çok NaCl ve CaCl₂ kullanılır. Bazen üre (NH₂CONH₂) bu amaçla tüketilir. Üre betona NaCl ve CaCl₂ kadar zarar vermez ve etkisi de diğerleri kadar güçlü değildir. Tuzların buz çözücü etkisi, suyun donma noktasını düşürmeleridir. Fazla

atılan tuzun yararı olmadığı gibi zararı da vardır. Buz tabakası üzerine atılan tuzlar, buzun çözülmesi nedeniyle yüzeyde önemli bir termal şok oluşmasına yol açar. Beton yüzeyindeki ve iç bünyesindeki sıcaklık farklılığından kaynaklanan gerilmeler nedeniyle yüzeyde çatlaklar meydana gelir. Tuzların taneleri küçüldükçe beton içinde ilerlemeleri güçleşir. Beton yüzeyinden derinlere inildikçe beton sıcaklığının ve buz çözücü tuzların miktarlarının değişken olması, beton tabakalarının farklı zamanlarda donup çözülmesine yol açar. Bu durumda beton kabuk halinde soyulmaya ve dökülmeye başlar.

NaCl aynı zamanda betonarme donatısında klorür korozyonuna yol açarlar. Tuz, korozyon nedeniyle yollara, köprülere ve araçlara zarar vererek bu yapıların kullanım ömürlerini kısaltmaktadır. Hava katkılı betonlar buz çözücü maddelere karşı normal betonlara göre daha fazla duyarlıdır. Tuzun (NaCl) korozif değeri suyun korozif değerinin 7,5 katıdır. Bu değerde bize tuzun çevre açısından nasıl zararlı bir madde olduğunu göstermektedir. Tuzun bu korozif etkisi göz önüne alınarak tuzlu suyun PH değerinin 4,4–9 arasında tutulması gerekmektedir (Yörükoğulları 2005).

MgCl₂ su içinde hızlı ve kolay bir şekilde erir. –29°C'ye kadar düşük sıcaklıkta uygulanabilir. MgCl₂ bir Mg iyonuna karşılık iki Cl iyonu serbest bırakır. İngiltere'de yoğunluğu yaklaşık 0.06 gr/cm³ olan taze karın 1 cm kalınlığı ve 0°C'nin altındaki her derecesi için m²'ye 5 gr tuz dökülür. Fransa'da bu miktar P=16.t.r formülüyle hesaplanır.

P: gr/m² gerekli tuz miktarı,
t : 0°C altındaki yerin ısısı,
r: kg/m² olarak kar ağırlığıdır.

3 cm kalınlığındaki 1 m² karı eritmek için İngilizlere göre 75 Fransızlara göre 144 gr tuz gerekmektedir (Kuyumcu 2006).

Türkiye'de taze karı eritmek için m²'ye 5 gr tuz dökülmektedir. NaCl yolda buzlanmayı önleyici olarak 15-20 gr/m² oranında kullanılır.

2.10. Magnezyum

2.10.1. Magnezyumun tarihçesi

Magnezyum minerali bulunmadan önce 1795 yılında J.E. Delanetherie Magnezyum karbonat, Sülfat, Nitrat ve Klorit gibi tuzlarına "Magnezit" adını vermiştir. A.Brongmart ise aynı terimi Magnezyum karbonat ve silikatlar için kullanmış, 1803 yılında C. F. Ludwing Moravia'da tabii Magnezyum ve 1808 yılında "D. L. G. Karsten" Magnezyum karbonata "magnezit" adını vermiştir. 1829'da Antoine Bussy çok miktarda saf Magnezyum elde etti. Bussy, başlangıç maddesi olarak susuz Magnezyum klorür kullandı. 1852'de erimiş Magnezyum klorürün elektrolizinden saf Magnezyum elde edildi. 1866 yılında Almanya'da geliştirilmiş "Bunsen elektrolitik hücresi" ile ticari ölçülerde elde edilmiştir.

1890 yılında magnezit, Avrupa'da Bessemer ve açık fırınlarda astar olarak kullanılmaya başlanmış, 1913 yılında Pensilvanya'da (ABD) dolomitten magnezya (MgO) üretilmiştir. M.T.A. Enstitüsü raporlarına göre, Türkiye'de magnezit aramaları ilk olarak 1808 yılında "Fransa Elektore Coulant" firması tarafından Sakarya'da yapılmıştır. İlk magnezit üretimi ise 1929 yılında başlamış ve 1962 yılına kadar devam etmiş.

Magnezyum elementi oluşumundan olan Magnezyum karbonat izolasyon, lastik, mürekkep, cam, seramik, boya, kozmetik sanayinde, Magnezyum hidroksit eczacılık ve şeker rafinasyonunda, Magnezyum klorür Magnezyum metal üretimi, tekstil, kağıt, seramik ve çimento yapımında, bizim de inceleme ve deney aşamasındaki kullanılan kimyasal maddemiz olan Magnezyum sülfat ta eczacılık ve suni gübre sanayisinde kullanılmaktadır (Kuyumcu 2006).

2.10.2. Magnezyum bileşenleri

Magnezyum, nispeten tepkin bir metaldir. Bu yüzden, doğada serbest olarak bulunmaz. Toprakta en bol bulunan elementler arasında sekizinci sırayı alır. Başlıca iki mineral halinde bulunur: Karbonatı magnezit ($MgCO_3$) ve dolomit [$MgCa(CO_3)_2$]. Öteki mineralleri arasında Magnezyum klorürler, Magnezyum sülfatlar ve Magnezyum silikatlar bulunur. Bilinen bazı eski uygarlıklar, ateşe dayanıklılık özelliği nedeniyle Magnezyum, günümüzde yanmayan döşemeliklerin, erimeyen astarların ve yanmaz kağıtların yapımında kullanılır.

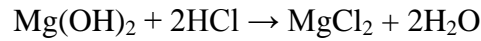
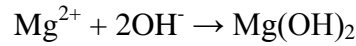
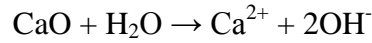
Günümüzde Magnezyum, hemen tümüyle tuzlu su kaynaklarından ve deniz suyundan elde edilen bir bileşik olan erimiş Magnezyum klorürün elektrolizi yoluyla elde edilir. Bu yalın tepkimeye bir karbon atoma anot, bir demir atomuysa katot olarak katılır. Deniz suyunda da, çözünür Magnezyum klorür ve Magnezyum sülfatlar bolca bulunur.

Magnezyum, özgül ağırlığı düşük, yumuşak, gümüşü-beyaz renkli bir metaldir. Magnezyum açıkta bırakıldığında, yüzeyinde kısa sürede koruyucu bir tabaka oluşur. Magnezyum büyük ölçüde elektropozitif olduğu için, sıcak suyla hidrojen oluşturacak biçimde tepkimeye girer. Bu tepkime, soğuk suda belli bir ölçüde zayıflar. Cıvayla karıştırıldığında, Magnezyum, hem soğuk hem de sıcak suda kolayca ayrışır. Magnezyum oksit (MgO) Magnezyum karbonatın özel potalarda korlaşana kadar ısıtılmasıyla elde edilebilir. Bu maddeye kavrulmuş magnezya adı verilir. Erime derecesi $2800^{\circ}C$ olan bu bileşik, çok zayıf bir ısı iletkeni olduğu için, erimez astarların yapımında kullanılmaya elverişlidir.

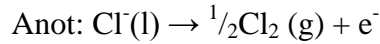
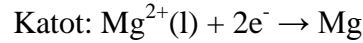
Magnezyum elementinin doğada asıl bulunuş şekli, suda çözünmeyen bir cisim olan, dolomit $\{(Mg,Ca)CO_3\}$ ve Magnezit ($MgCO_3$) ile suda çözünen ve kaya tuzu maden ocaklarında, kaya tuzunun üzerindeki tabakaları oluşturan $MgCl_2$ ve $MgSO_4$ 'tir. Deniz suyunda %0.11 kadar Mg^{-3} iyonu vardır. Sofra tuzunun nemli yerlerde ıslanması bunun içinde nem kapıcı madde olan $MgCl_2$ 'ün bulunuşundan ileri gelir.

2.10.3. Magnezyumun elde edilmesi:

MgCl₂ olarak kalsiyum oksit ile reaksiyonunda elde edilir .



MgCl₂ elektrolizi sıvı Magnezyum ve klor gazı oluşturur.



Çizelge 2.4. Magnezyum elemntinin yapısı (Güvendiren vd 2002).

| | | |
|--|--|---|
| Simgesi : Mg | Atom numarası : 12 | Atom ağırlığı : 24.312 |
| İyon değeri : +2 | Kaynama noktası : 1107°C | Ergime noktası : 650°C |
| Yoğunluğu : 1.74 gr/cm ³ | Elektron düzeni : 3S2 | Kovalent yarıçapı : 1.36°A |
| Atom yarıçapı : 1.60°A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda) | İyon yarıçapı : 0.65°A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki) | Atom hacmi : 14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk) |
| Birinci iyonlaşma enerjisi: 176 kcal/mol | Özgül ısı : 0.25 cal/g°C | Isı iletkenliği : 0.38 cal/cm ² , s.cm.°C (oda sıcaklığında) |
| Elektrik iletkenliği : 0.224 mikro ohm -1 (0° ile 20°C arasında) | Erime ısı : 2.14 kcal/atomgram | Kaynama noktası : 32.517 kcal/atomgram |

Magnezyum klorürün elde edilmesinde çeşitli metodlar kullanılır:

Dow metodu: Bu metotta Magnezyumun kaynağını deniz suyu teşkil eder. Deniz suyu kireçle muamele edilirse, Magnezyum hidroksit elde edilir. Bununda klorür asidi ile reaksiyonundan kristal suyuna sahip Magnezyum klorür ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) elde edilir. Isıtılarak kristal suyu kaybedilir. Fakat $1/2H_2O$ molekülde kalır. Bu da elektroliz kabında, Magnezyum klorürü eritirken uçar ve erimiş saf Magnezyum klorür elde edilir.

Diğer bir metotta ise Magnezyum kaynağı olarak magnezit veya dolomit kullanılır. Bu minerallerin kavrulmasından Magnezyum oksit (MgO) elde edilir. Magnezyum oksit karbon beraberliğinde klorlandırılır ve $MgCl_2$ elde edilir. $MgCl_2$ elektroliz hücresinde $750^{\circ}C$ 'de elektroliz edilir.



Şekil 2.10. Magnezyum klorür

2.10.4. Bazı önemli Magnezyum mineralleri:

Çizelge 2.5. Magnezyum Mineralleri (Güvendiren vd 2002).

| | | | | |
|--|--|--|---|---|
| Karnalit (KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O) | Bisofit | MgCl ₂ .6H ₂ O | Sellait | MgF ₂ |
| Spinel grubu (MgO.Al ₂ O ₃) | Brusit | Mg(OH) ₂ | Magnezit | MgCO ₃ |
| Dolomit MgCO ₃ .CaCO ₃ | Ankerit (Mg,Fe)Ca(CO ₃) ₂ | | Artinit Mg ₂ (CO ₃)(OH) ₂ .3H ₂ O | |
| Epsomit MgSO ₄ .6H ₂ O | Asarit | MgHBO ₃ | Borasit 5MgO.MgCl ₂ .7B ₂ O ₃ | |
| Olivin (Mg.Fe) ₂ SiO ₄ | Pirop | Mg ₂ Al ₂ (SiO ₄) ₃ | Enstatit | MgSiO ₃ |
| Aktinolit Demirli tremolit | Kainit (KClMgSO ₄ .11/4H ₂ O) | | Talk | Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₈ |

2.11. Sodyum klorür

2.11.1. Sodyum ve sodyum klorür tarihçesi

Sodyum, 1807'de Sir Humphry Davy'nin kostik sodayı elektroliz ederek elementel formda ayırıştırmasına kadar uzun süre bileşikleri halinde kullanılmıştı. Ortaçağ Avrupa'sında bir Sodyum bileşiği başağrısı ilacı olarak kullanılmaktaydı. Çin'de tuz üretimine ilişkin en eski yazılı kaynak, M.Ö 800'e aitti. Çin'de MÖ 12. yüzyılda tuz vergisinden söz eden metinler bulundu.

Tuz (NaCl) ile ilgili en eski kalıntılar, M.S. 1000 yılına aittir. O dönemde yaşayan Büyük Maya Uygarlığı, tuz üretimini kontrol ederek yükselmiş, tuz ticareti sayesinde zenginleşmiş ve tuz kaynaklarının kontrolü için yapılan sürekli savaflara rağmen gelişmiştir. Avrupalılar geldiğinde Maya Uygarlığı çöküş aşamasındaydı ve bu durumun

temel göstergelerinden biri de tuz ticaretindeki krizdi. Mayalar tuz'u doğum kontrolü için mercanköşkü ve xul ağacının yaprakları ile, epilepsi için yağ ile, doğum sancısını hafifletmek için bal ile karıştırarak kullanmışlar.

2.11.2. Sodyum klorür Bileşenleri

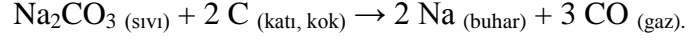
2.11.2.a. Sodyum

Sodyum periyodik çizelgede Na simgesi ile gösterilen ve atom numarası 11 olan elementtir. Sodyum yumuşak ve kaygan bir metal olup alkali metaller grubuna aittir. Doğal bileşiklerin içinde (özellikle NaCl) bol miktarda bulunur. Yüksek oranda reaktiftir, sarı bir alevle yanar, su ile şiddetli reaksiyon verir ve havada hızla oksitlenir. Diğer alkali metaller gibi Sodyum da, hafif, yumuşak, gümüşümsü beyaz renkte ve reaktif bir metaldir. Yüksek reaktif özelliğinden dolayı, doğada hiçbir zaman saf ve elementel halde bulunmaz. Sodyum metali suda yüzer, şiddetli bir şekilde reaksiyona girerek ısı çıkışına, yanıcı hidrojen gazı çıkışına ve kostik (NaOH) çözeltisi oluşumuna yol açar.

Çizelge 2.6. Sodyum elemntinin yapısı

| Temel özellikleri | Fiziksel özellikleri | Atom özellikleri | Diğer özellikleri |
|-----------------------------------|--|---|---|
| Atom numarası 11 | Maddenin hali Katı | Kristal yapısı Hacim merkezli kübik | Isıl iletkenlik 142 w/(m.k) |
| Element serisi Alkali metaller | Yoğunluk 0.968 g/cm ² | Atom yarıçapı 180 pm | Isıl genişleme 71 µm/(m.k) (25°C) |
| Grup, periyot, blok 1, 3, s | Sıvı haldeki yoğunluk 0.927 g/cm ² | Kovalent yarıçapı 154 pm | Ses hızı 3200 m/s |
| Görünüş Gümüşümsü beyaz | Ergime ısısı 2.60 kJ/mol | Iyonlaşma enerjisi 495.8 kJ/mol | Mohs sertliği 0.5 |
| Atom ağırlığı 22.989769 g/mol | Buharlaşma ısısı 97.42 kJ/mol | Elektronegatifliği 0.93 pauling ölçeği | Brinell sertliği 0.69 MPa |

Sodyum karbonat ile karbonun birlikte 1100°C ye ısıtılması ile kimyasal olarak elde edilmiştir.



2.11.2.b. Klor

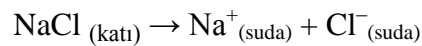
Klor hafif, keskin kokulu, yeşilimsi sarı renkli, tahriş edici ve zehirleyici bir gaz dir. Havadan 2.5 kat ağır olan klor ilk zamanlar bir bileşik olarak kabul ediliyordu. Klor ilk olarak 1774 yılında Carl Wilhelm Scheele tarafından keşfedildi. 1810 yılında ise bugünkü ismi Humphry Davy tarafından verildi.

Periyodik çizelgenin 17. grubunda öbür halojenlerle birlikte yer alan klorun simgesi Cl, atom sayısı 17, Yoğunluk $3.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$, atom ağırlığı 35.453'tür. -34°C sıcaklığa kadar soğutulduğu ya da sıkıştırıldığı zaman kolayca sıvılaştıran klor, flor, brom, iyot ve astatla halojenler grubunu oluşturur.

Mangandioksit, Sodyum klorür ve sülfürik asitin tepkimeye girmesi sonucu klor açığa çıkar ve bu tepkime laboratuvarında klor elde etmek için kullanılabilir. Sanayi de ise klor, mutfak tuzunun (Sodyum klorür) elektrolizi yoluyla üretilir ve yan ürün olarak hidrojen gazı ve Sodyum hidroksit açığa çıkar.

Klorür, nötr haldeki klor atomunun, bir elektron alarak iyon (anyon) haline geçtiğinde aldığı isim. Cl^- olarak gösterilir. Klorür iyonu içeren maddelere de verilen bir isimdir. Bir iyon olduğundan dolayı, kendi başına doğada yer almaz; ancak bir çözeltide karşı iyonu ile yer alabilir.

Çok bulunan NaCl (sofra tuzu) klorürün suda iyonlaşması göz önüne alınırsa:



Çizelge 2.7. klor iyonu

| Oksitlenme değeri | -1 | +1 | +3 | +5 | +7 |
|-------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Anyon adı | Klorür | Hipoklorit | Klorit | Klorat | perklorat |
| Formül | Cl ⁻ | ClO ⁻ | ClO ₂ ⁻ | ClO ₃ ⁻ | ClO ₄ ⁻ |

Sodyum klorür (NaCl) ismiyle bilinen beyaz kristal yapılı bir bileşiktir. İnsan dahil tüm canlıların besin kaynaklarından olan tuz, ticari bakımdan da önemli bir maddedir. Dünyanın her yerinde rastlanabilen sofr tuzu tarih boyunca önemli bir ihtiyaç ve ticaret maddesi olmuştur. Besin maddesi olması dışında tuz; dericilikte, hayvan besiciliğinde, su yumuşatma sistemlerinde ve kimya sanayisinde yaygın olarak kullanılır. Alkali sanayiindeki önemli kullanımının yanı sıra deri, sabun, gıda, seramik, ateş tuğlası, gübre, metalurji sanayilerinde, klor ve hidroklorik asit üretiminde vazgeçilmez bir maddedir.

Tuz genellikle yeraltındaki kayatuzu yataklarından ya da deniz suyundan, tuzlalarda buharlaştırma yoluyla elde edilir. Türkiye’de üretilen kaliteli sofr tuzunun analizinde, %0.24 nem, %0.003 suda çözünmeyenler, %0.007 Ca, %60.52 klor ve eser miktarda Mg bulunmuştur. Ergime noktası 800°C kadardır. 1413°C’de kaynar. Buharı büyük ölçüde Na⁺ Cl⁻ iyon çiftlerinden ve kısmen de Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarından oluşur. Sudaki çözünürlüğü sıcaklıkla çok az değişir. 100 cm³ suda 0°C’de 35.7 gram çözünürken 100°C’de 39.1 gram çözünür.

Kışın büyük şehirlerde donmuş cadde ve kaldırımlara, şehirler arası yollara kaya tuzu atılarak buradaki buzların erimesi sağlanır (Yörükoğulları 2005).



Şekil 2.11. NaCl

2.12. Deniz suyundaki tuzluluk

Tuzluluk (salinite), en basit şekilde 1 kg deniz suyunda çözülmüş olarak bulunan toplam madde miktarının gramı olarak tanımlanır. Açık denizlerde toplam çözülmüş tuz konsantrasyonu 32–36 gram tuz 1 kg deniz suyu arasında değişir. Kapalı denizlerde ve tropikal bölgelerde tuzluluk biraz daha yüksektir. Örneğin Ege denizi'nin tuzluluğu 39 g/kg'dır. Buna karşılık Karadeniz ve Baltık denizi gibi bol nehir suyu ile beslenen denizlerde tuzluluk çok azdır. Deniz suyu içinde bulunan tuzların yaklaşık %70'ini Sodyum klorür oluşturur. İyon olarak da en çok klorür iyonu bulunur (Kuyumcu 2006).

Cizelge 2.8. Deniz suyunun iyonik bileşimi (Kuyumcu 2006).

| Kasyonlar | g/kg | Anyonlar | g/kg |
|------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| Na ⁺ | 10.77 | Cl ⁻ | 19.35 |
| Mg ²⁺ | 1.29 | SO ₄ ²⁻ | 2.71 |
| Ca ²⁺ | 0.41 | HCO ¹⁻ | 0.14 |
| K ⁺ | 0.40 | Br ⁻ | 0.07 |
| Sr ²⁺ | 0.01 | B(OH) ₃ ²⁻ | 0.03 |
| Toplam | 12.88 g | Toplam | 22.30 g |

Cizelge 2.9. Deniz suyunun kimyasal bileşimi

| Tuz | Konsantrasyon % |
|------------------|------------------------|
| Sodyum klorid | 77.8 |
| Magnezyum klorid | 10.9 |
| Magnezyum sülfat | 4.7 |
| Kalsiyum sülfat | 3.6 |
| Potasyum sülfat | 2.5 |
| karbonat | 0.5 |

Doğal deniz suyunda tuzluluk derecesi su içinde bulunan klorür konsantrasyonu ile orantılıdır. Yüzeiden tabana doğru gidildikçe tuzluluk artar. İlk 100 metre derinlikte tuzluluktaki artış 0.5 g/kg kadardır. Deniz suyunun bir çok fiziksel özelliği tuzluluğa bağlı olarak değişimler göstermektedir. Örneğin, tuzluluk artışına paralel olarak deniz suyunun yoğunluğu, molekül viskozitesi, elektrik iletkenliği ve osmotik basıncı artarken; spesifik ısı, donma noktası ve ısı iletkenliği azalmaktadır.

“Marmara sularıyla beslenen kuzey Ege’de tuzluluğun %3.7, Güney Ege’nin her noktasında %3.8, geniş havzalı ve yüksek debili nehirlerle beslenen Karadeniz’de ise %17 olduğu bilinmektedir. Dünya denizlerinin okyanuslar dahil ortalama tuzluluğu ağırlıkça %34.7’dir” (Kuyumcu 2006).

2.13. Süper akışkanlaştırıcı

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Beton üretiminde veya üretildikten sonra katılarak betonun özelliklerini iyileştirir. Süper akışkanlaştırıcı kullanmanın asıl nedeni, betonu daha işlenebilirliği ve donatının sık olduğu kesimlerde kolay bir yerleşme sağlamaktır. Betonun basınç dayanımı su/çimento oranına göre değişiklik gösterir. Örneğin betonun m³üne 10 litreden fazla su ilave edilmesi basınç dayanımının

%10'a kadar düşürebilir. Glenium olağanüstü su azaltması ile elde ettiği düşük su/çimento oranı ve iyi bir işlenebilme ile yüksek basınç dayanımlı bir beton üretmesini sağlar (Yılmaz 2003).

Özellikle kıvam kaybının önlenmesi, yüksek mukavemet ve dayanıklılığa gereksinme duyulan, hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan, sıcak iklimler içinde elverişli, klor içermeyen yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir (Ulus 2007).

Kullanım yerleri:

- Kendiliğinden yerleşen beton yapımında kullanılır.
- Mükemmel yayılma etkisi, Gleniumu hazır beton endüstrisi için ideal bir katkı maddesi haline getirir.
- Çok düşük bir S/Ç ile çalışma yeteneği ve buna karşılık kıvam kaybını önlemesi, kullanım yerinde yeniden karıştırma riski olmadan, yüksek kaliteli beton imalatına olanak verir.
- Nükleer güç santralleri, turbojeneratörler, limanlar gibi yapıların radya temellerinde,
- Betonun 200 m'den daha uzak yerlere pompalandığı beton dökümlerinde yada yüksek yerlere yapılan beton dökümlerinde,
- Endüstriyel zeminlerde ve havaalanlarında, betonun aşındırıcı etkilere maruz kaldığı yapılarda,
- Atık su arıtma tesisleri, havuzlar ve beton borularda,
- Sık donatılı köprü kirişlerinde,

Özellikleri:

- Mükemmel yayılma etkisine sahiptir.
- En düşük S/Ç oranı ile reoplastik beton elde edilir.
- Ayırışma ve kuma yapmaz.
- Çok donatılı betonarmede bile düşük vibrasyon süresine gereksinme gösterir.
- Mükemmel yüzey görünümü sağlar.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1. Çimento

Deneyleer için üretilen perlit agregalı betonların bağlayıcı malzemesi olarak Aşkale Çimento Fabrikası'nın 2012 yılında üretilen Portland Çimentosu (CEM I 42.5) kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de çimentonun kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri

| Kimyasal Bileşen | Oran (%) |
|--------------------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 19.80 |
| Al ₂ O ₃ | 5.42 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.40 |
| CaO | 62.50 |
| MgO | 2.67 |
| SO ₃ | 2.58 |
| Kızdırma Kaybı | 2.00 |
| Na ₂ O | 0.25 |
| K ₂ O | 0.80 |
| Cl | 0.0105 |
| Tayin Edilemeyen | 0.08 |
| Toplam | 100 |
| Serbest CaO | 0.51 |
| Çözünmeyen Kalıntı | 0.70 |

3.1.2. Perlit agregası

Bu çalışmada deneylerin %100 oranında Erzincan Mollaköy ham perlit agregası kullanılmıştır. Magmanın yeryüzüne çıkıp havada soğuması sonucu pomza, suyun içerisinde soğuması sonucu ise perlit oluşmaktadır. Pomza perlite göre daha boşluklu ve hafif olmaktadır. Perlit ise suyun içerisinde olduğu için bünyesinde %2 ile %6 arasında değişen oranda, su tutmaktadır ve bu su kuruma ile giderilemez.

Çizelge 3.2. Erzincan Mollaköy perlit agregasının fiziksel özellikleri (Ulus 2007).

| Özellikler | Dane Grubu (mm) | | |
|--|-----------------|-------|------|
| | 0-2 | 2-4 | 4-8 |
| Gevşek birim ağırlık (kg/m ³) | 1180 | 1110 | 1060 |
| Sıkışık birim ağırlık (kg/m ³) | 1310 | 1225 | 1140 |
| Özgül ağırlık (g/cm ³) | 2.04 | 1.999 | 1.96 |
| Su emme (%) | 2.9 | 4.7 | 6.2 |
| 30 dakikalık su emme (%) | 2 | 2.3 | 3 |
| Organik madde | -- | -- | -- |

Magma veya yoğun lavın ani soğuması ile meydana gelen, inci görünümünde küçük parçalara ayrılmış, granit bileşimine benzer tabii bir cam dir ve Perlite inci taşı da denir. Gri ve yeşilimsi olanları meşhurdur. Parlaklıkları incimsi veya yağimsi gibidir. Perlit 1950 yıllarına kadar ticari bir önem taşımıyordu. Fakat 1950'den sonra çok önem kazandı. Kırılmış perlit, yumuşatma sıcaklığına yaklaşık 800-1000°C kadar hızla ısıtılırsa içinde bulunan %3-4 oranındaki su buharlaşarak perlit patlatır. Tabii perlitin sertliği 4.5, yoğunluğu 2.2 ile 2.4 g/cm³ arasındadır.



Şekil 3.1. Perlit

Diğer volkanik camlardan farklı olmasının sebebi bünyesinde yüksek miktarda su ihtiva etmesidir. Perlit ise magmatik suyun emilmesinden sonra meydana gelir.

İri Perlit: Genişlik 0-5 mm yoğunluk 80-160 kg/m³ tarım, inşaat, tekstil sektörlerinde kullanılır.

İnce Perlit: Genişlik 0-3 mm yoğunluk 55-90 kg/m³ kaba sıva duvar harcı, beton yapı elemanları ve beton agregasında kullanılır.

Mikronize Perlit: Genişlik 0-125 mikron yoğunluk 70-100 kg/m³ Yemeklik yağ, petrokimya, meyve suyu ve ilaç sanayinde kullanılır. Perlitin yığın yoğunluğu ise 1.45 kg/l dir. Türkiye'nin Perlit potansiyeli dünya ülkeleri arasında Amerika ve Rusya'dan sonra üçüncü sırayı alır.

Çizelge 3.3. Perlitin birleşenleri

| Birleşenler | Oran % |
|--------------------------------|-----------|
| SiO ₂ | 71–75 |
| K ₂ O | 4–5 |
| CaO | 0.40–0.82 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.30–0.50 |
| MnO | 0.071 |
| Al ₂ O ₃ | 12.50–16 |
| Na ₂ O | 3.20 |
| MgO | 0.02–0.03 |
| TiO ₂ | 0.01 |
| SO ₃ | 0–0.2 |
| H ₂ O | 2–6 |

Bu değerler dünya genelinde perlit için verilen analiz sonuçlarıyla oldukça benzerlik göstermektedir (Ulus 2007).

3.1.3. Magnezyum klorür çözeltisi

Deneylerde kullanılan %3.5 ve %5 MgCl₂ çözeltilerinin hazırlanmasında 100 lt çözelti için sırayla 3.5 ve 5 kg MgCl₂ ve 96.5 ve 95 lt su kullanılmasıyla ağırlıkça %3.5 ve %5'lik çözeltileri üretildi.

3.1.4. Sodyum klorür çözeltisi

Deneylerde kullanılan %3.5 ve %5 NaCl çözeltilerinin hazırlanmasında 100 lt çözelti için

sırayla 3.5 ve 5 kg NaCl ve 96.5 ve 95 lt su kullanılmasıyla ağırlıkça %3.5 ve %5'lik çözeltileri üretildi.

3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı

Bu çalışmada yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi Glenium C303 çimentonun %1.5 kadar kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri

| | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Malzemenin yapısı | Polikarboksilik eter esaslı |
| Renk | Açık yeşil |
| Yoğunluk | 1.023-1.063 kg/l |
| Klor içeriği % (EN 480-10) | < 0.1 |
| Alkali içeriği % (EN 480-12) | < 3 |

3.1.6. Karışım suyu

Beton üretiminde kullanılacak suyun temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması oldukça önemlidir. Bu çalışmada hafif beton numuneleri üretilmesinde Erzurumun musluk suyun'dan kullanılmıştır.

3.1.7. Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni 1 µm'den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO₂) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür (Beycioğlu vd 2010). Silis dumanı atık bir malzeme olmasına rağmen silis dumanı

yüksek puzolanik özelliğe sahip olması nedeniyle hem bir yan ürün konumuna girmiş hem de diğer puzolanik malzemelerin içinde en kıymetlisi durumuna geçmiştir. Silis dumanı silikon metali veya silikonlu metal alaşımı üreten fabrikalarının bir yan ürünü olup, günümüzde beton ve çimento katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Silis dumanı taze halde betonun işlenebilirliğini azaltmakta ise de, katılmış betonun bir çok özelliğini iyileştirmektedir (Erdoğan 2003; Özcan vd 2003; Ulusu 2007).

Silis dumanının beton içindeki davranışı fizikokimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega-çimento arayüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit (kireç) kristallerini kalsiyum-silikat hidrateye dönüştüren puzolanik reaksiyondan oluşmaktadır. Bu davranış sonucunda silis dumanı beton basınç ve çekme dayanımını artırmanın yanısıra durabilite ve geçirimsizlikte de oldukça önemli iyileşmeler sağlar. Silis dumanı betonun boşluk oranını ve geçirimliliğini azaltır (Erdoğan 2003).

Silis dumanı kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.5'te verilmektedir. Silis dumanının birim ağırlığı 245 kg/m³ tür.

Çizelge 3.5. Silis Dumanı Kimyasal Kompozisyonu (%) (Ulus 2007).

| Oksit | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | Özgül ağırlık (g/cm ³) | SO ₃ | Özgül Yüzey (cm ² /g) | Çözünmeyen Kalıntı |
|-------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--|-----------------|--|-----------------------|
| Silis dumanı | 94.6 | 1 | 0.50 | 1.40 | 2.36 | 0.21 | 200000 | 2.16 |

3.1.8. Uçucu kül

Uçucu kül puzolanik özelliği olan ve betonun bir çok özelliğini olumlu etkileyen değerli bir beton katkısıdır. Uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmektedir. Türkiye'de açığa çıkan uçucu küllerin büyük bölümü yüksek kireç içeriklidir ve uçucu kül özellikleri santralden santrale, hatta aynı santralde zamana bağlı

olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Bu tez çalışmasında Bursa ilinde bulunan Orhaneli termik santralinden elde edilen uçucu kül kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. Uçucu külün fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri (Yiğiter vd 2004).

| | % | | % |
|--------------------------------|-------|-----------------|------------------------|
| SiO ₂ | 42.14 | SO ₃ | 2.43 |
| Al ₂ O ₃ | 19.38 | Kızdırma kaybı | 1.34 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.64 | Serbest CaO | 4.34 |
| CaO | 26.96 | Özgöl ağırlığı | 2.18 g/cm ³ |
| MgO | 1.78 | | |
| K ₂ O | 1.13 | | |

3.1.9. Diğer malzemeler

Beton numunelerin başlıklanmasında kükürt, beton numunelerinin kuru için kirece doygun su ortamının sağlanması için söndürülmüş kireç ve numuneleri kalıplardan kolayca çıkması için ince motor yağı kullanılmıştır. Silindir beton numunesinin betonun düzgün olmayan yüzeylerine yükü üniform uygulamak zordur. Bu nedenle, düzgün olmayan yüzeylere kükürt-grafit tozu veya çimento hamurundan ya da çimento-alçı karışımından bir tabaka yapılır. Yapılan bu başlığın dayanımı, betonun dayanımından daha az olmamalıdır. Başlık kalınlığı 3-8 mm arasındadır.



Şekil 3.2. Beton numunelerin başlıkları

3.1.10. Aletler

3.1.10.a. Elekler

Çalışmada TS 1226 ISO 3310-2'ye uygun toplama kabı, 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm kare delikli tel elekler kullanılmıştır. Elekler Şekil 3.3 gibi aşağıdan toplama kabı, 0-2 mm, 2-4 mm ve en üst 4-8 mm eleki birbirinin üzerinde yerleştirilmiştir. Her seferde 5 kg perlit agregası 1 dakika içinde eleklenmiştir.



Şekil 3.3. Elek

3.1.10.b. Betonier

Betonun üretimi için, ürettiği 135° açı ile manevra yapabilen kapasitesi 60 dm³, 25 devir/dakika hıza sahip olan ve düşey eksenli laboratuvar tipi betonier kullanılmıştır. Malzemelerin nasıl yerleştirildiği yöntem bölümünde (3.2.4) betonun karıştırılması ve kalıplanması kısmında anlatılmıştır.



Şekil 3.4. Betonyer

3.1.10.c. Kalıplar

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



Şekil 3.5. Kalıplar

3.1.10.d. Ultrases hızı

Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla, betonun içerisine gönderilen ultrases dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Ultrases hızı etkileyen faktörler; Gönderici ve alıcı başlıkların beton yüzeyi ile teması, gönderici başlık ile alıcı başlık arasındaki mesafe, test yönteminin uygulandığı ortamın sıcaklığı ve betondaki nem miktarı. Ultrasonik hızının ölçmesi için, (Qust 120+) marka dijital ultrasonik hız ölçme aleti 24°C'de ve başlıklarda ve beton ara yüzeyinde ultrases jeli kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Ultrases cihazı

3.1.10.e. Etüv

Numuneler her deneyden önce etüvde $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 24 saat değişmez ağırlığa kadar bekletilmiştir ve sonra deneyler numunelerin üzerinde yapılmıştır.



Şekil 3.7. Etüv

3.1.10.f. Press cihazı

Çalışmada TS 500, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39'göre sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı belirlemek için, Yüksel Kaya Makine Ltd, Q71 model ve 300 ton kapasiteli yükleme hızını otomatik tayin edebilen hidrolik press kullanılmıştır. Numuneler 28, 56, 90. günün sonunda, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmıştır. Bu deney nasıl yapıldığı yöntem bölümünde beton basınç dayanımının elde edilmesi kısmında (3.2.6.b) anlatılmıştır.



Şekil 3.8. Press cihazı

3.1.10.g. Su kr uygulaması

Bu çalışmada numunelerin kr için, kirece doymun su ve $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen tam dijital su kr tankı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Su kr havuzu

3.2. Yöntem

Bu bölümde, hafif agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini için kullanılan yöntemler, numunelerin üretimi, taze ve sertleşmiş beton üzerinde deneyler belirtilmiştir.

3.2.1. Karışımdaki agreganın boyutu ve oranları

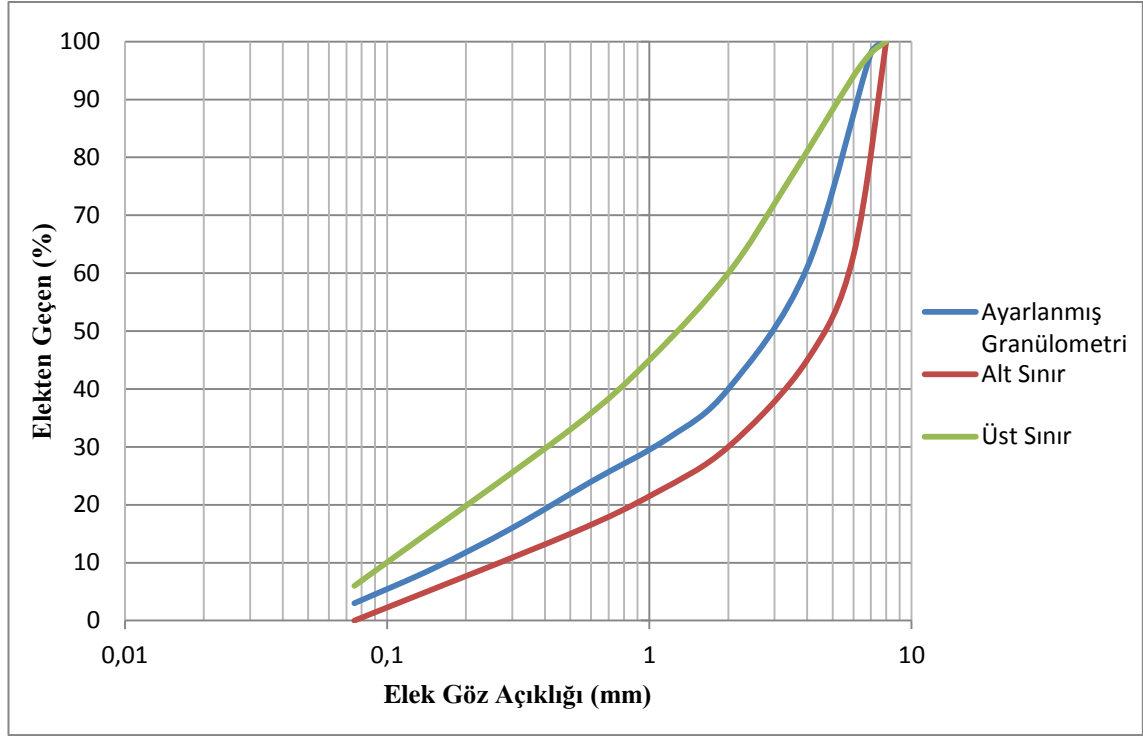
Bu çalışmada kullanılan perlit agregası, Erzincan molla-köyden temin edilen perlit'i kullanılmıştır. Perlit, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayadır. Bu çalışmanın elek analizi toplama kabı, 2 mm, 4 ve 8 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

Neville ve Aitcin gibi bir çok araştırmacı, yüksek dayanımlı hafif beton üretiminde agreganın maksimum boyutunun, hafif agreganın çeşidine bağlı olmakla birlikte 12.5 mm ile sınırlandırılmasını önermektedirler. Çünkü hafif agregalarda çap arttıkça, işlenebilirlik ve dayanım azalmaktadır. Elde edilecek betonun özelliklerini etkileyecek en önemli faktörlerden biri de, ince ve iri agregaların granulometrisi ve bunların oranlarıdır (Ulus 2007).

Karışım hesabı; işlenebilirlik, istenen dayanım, kıvam, dayanıklılık ve diğer istenen özellikleri olan en ekonomik betonu üretmek için gerekli agreganın, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını belirlemek için yapılır. Hafif betonun karışım oranlarının tespitinde su miktarının belirlenmesi için kesin bir standart yoktur.

Bu çalışmaya konu olan betonlarda hem iri, hem ince agreganın oranları kullanılmıştır. Uygulamada en büyük tane boyutlu 8 mm olan agreganın için ince agreganın yüzdesi, kuru gevşek hacim esasına göre, %40 ile %60 arasında olmalıdır (TS 706). Bu ayarlama

sonucu tane sınıflarının oranları, %40 oranında 0–2 mm, %21 oranında 2–4 mm, %39 oranında 4–8 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Perlit agregasının ayarlanmış granülometri eğrisi

Çalışmada taşıyıcı amaçlı bir hafif beton üretimi hedeflenmiş ve bunun için, önceden perlit ile yapılan çalışmalarda göz önüne alınarak CEM I 42.5 çimento ile beton üretimi için yaklaşık $300\text{--}450\text{ kg/m}^3$ çimento dozajı göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada çimento dozajını 350 kg/m^3 numuneler üretilmiştir.

3.2.2. Beton karışım hesapları

Hafif beton üretiminde kullanılan agregaların su emmeleri, özgül ağırlıkları, nem ve karışım içerisindeki ince malzeme miktarı oldukça değişir. Hafif betonların dizaynındaki en önemli zorluk, farklı hafif agregaların çok farklı özelliklere sahip olmaları ve çok ve hızlı bir şekilde su emmeleridir (Friedemann *et al.* 1999). Çok hızlı

su emmeleri, bu agregalarla üretilen betonların kısa zamanda aşırı kıvam kaybetmelerine ve betonların yerine yerleştirilmeden önce işlenebilirliklerini kaybetmelerine neden olmaktadır. Hafif agregaların, karışımdan hemen önce bir ön ıslatmaya tutulmasını ve karışım ve yerleştirme sırasında agregaların betonun karışım suyunu emmesinin önlenmesini önermişlerdir (Malhotra 1990).

Hafif betonun karışımlarının hesaplanmasında ve çimento matrisini kuvvetlendirmek için çimentonun bir kısmının yerine silis dumanı (%10) ve uçucu kül (%20) çimento ağırlığına göre kullanılmıştır. Bu puzolanik malzemelerin kullanım amacı, nihai mukavemeti ve işlenebilirliği artırmaktır. Hafif betonun basınç dayanımı üzerinde etkin olan iri agreganın dayanımıdır. Ayrıca maksimum çimento miktarıda bir değer'e kadar önemlidir. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda maksimum bağlayıcı miktarı 700 kg/m^3 kullanılmıştır (Ulus 2007).

Beton üretiminde minimum S/Ç oranından daha az su kullanmamasına dikkat edilmesi gerekir. Kullanılacak minimum su miktarı, betonun karıştırılması, taşınması, sıkıştırılması ve masterlanmasını sağlayacak miktarda olmalıdır. Suyun az olması betonun işlenebilirliğini azaltır. Ayrıca suyun fazla olması ise betonda segregasyona, basınç dayanımı ve durabilitede azalmaya neden olur. Betonun üretiminde kullanılan suyun azaltması için ve betonun işlenebilirliğini artırmak amacıyla karışımda kullanılan çimentonun %1.5'u kadar süper akışkanlaştırıcı kimyasal beton katkı maddesi kullanılmıştır.

3.2.3. Karışım oranları

Bu çalışmada, perlit agregası kullanarak hafif betonun, fiziksel ve mekanik özellikleri, çimento miktarı, agrega miktarı, silis dumanı, uçucu kül, su ve S/Ç oranını Çizelge 3.7'de karışımlar verilmiştir.

Çizelge 3.7. Beton karışım oranları

| Bileşenler | Birim | Miktar |
|-------------------|-------------------|---------------|
| Su | kg/m ³ | 122.5 |
| Çimento | kg/m ³ | 350 |
| Silis Dumanı | kg/m ³ | 35 |
| Uçucu kül | kg/m ³ | 70 |
| S/Ç | -- | 0.35 |
| Agrega | kg/m ³ | 732 |
| Akışkanlaştırıcı | kg/m ³ | 5.25 |

Çimento dozajı 350 kg/m³ ve S/Ç oranı 0.35 olması ile su miktarı 122.5 kg/m³ olmaktadır. Ayrıca %10 SD ve %20 UK miktarı çimento ağırlığına göre belirlenmiştir. Akışkanlaştırıcı çimentonun %1.5 kadar kullanılmıştır. Agregasınımlarının miktarının belirlenmesi için ayarlanmış granülometri eğrisi esas alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan perlitin özgül ağırlık faktörleri ve ağırlık olarak miktarları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da ve 1m³ beton için karışıma giren malzemeler Çizelge 3.10'da verilmiştir. Bu hesaplamalara göre beton dökülmüştür. Farklı tane sınıflarına ait perlitin özgül ağırlık faktörleri elde etmek için piknometre yöntemiyle belirlenmiştir. Bu deneyde kullanılan perlit agregası için elde edilen özgül ağırlık faktörü değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

3.2.3.a. Piknometre

Piknometreler küçük, hafif, sabit hacimde ve çoğunlukla camdan yapılmış kaplardır. Aynı hacimdeki su ve sıvıların sabit derecedeki ağırlıkları doğrudan tartılır. Özgül ağırlık, perlit tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada perlitin özgül ağırlık faktörleri TS 3526'da belirtilen piknometre esasına göre, deneysel olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenebilmektedir.

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

Bu eşitlikte geçen;

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

P : Piknometre ağırlığı (gr),

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

SP : Su ile dolu piknometre ağırlığıdır (gr).

Çizelge 3.8. Perlitin özgül ağırlık faktörleri

| Özgöl ağırlık faktörleri | |
|--------------------------|------------------------------|
| Tane sınıfı (mm) | Ağırlık (g/cm ³) |
| 0-2 | 2.040 |
| 2-4 | 1.99 |
| 4-8 | 1.96 |

Çizelge 3.9. Perlitin ağırlık olarak miktarları

| Perlitin ağırlık olarak miktarları | |
|------------------------------------|--|
| Tane sınıfı | Ağırlık (kg) |
| 0-2 | $(0.40 \times 2.04 \times 732) = 597.31$ |
| 2-4 | $(0.21 \times 1.99 \times 732) = 305.90$ |
| 4-8 | $(0.39 \times 1.96 \times 732) = 559.54$ |

Çizelge 3.10. 1 m³ beton için karışıma giren malzemeler

| 1 m³ beton için karışıma giren malzemelerin miktarı | | |
|---|------------------------|----------------------------------|
| Bileşenler | Ağırlıklar (kg) | Hacimler (dm³) |
| Çimento | 350 | (350/3.15) = 111.11 |
| Su | 122.5×1 = 122.5 | 122.5 |
| Hava | 30×0 = 0 | (1000×0.03) = 30 |
| Süper akışkanlaştırıcı | 350×0.015 = 5.25 | (5.25/1.2) = 4.375 |
| Perlit | 1462.75 | 732 |

Akışkanlaştırıcının kullanılması betonun su ihtiyacını %15-20'ye kadar azaltır. Tüm karışımlarda taze betondaki hava miktarı 1 m³'te TS EN 12350-7'e göre %3 olarak kabul edilmiştir. Elde edilen betonda istenilen işlenebilirliği sağlamak için 9 dm³'lük karışıma 170 g karışım suyu ilave edilmiştir. Su miktarındaki artış 1m³ karışımda 170×(1000/9) olmaktadır. Karışımın yeni hacmi; (1000–30)= 970 dm³ olmaktadır. Karışımın hacmin 1000 dm³'e yükseltmek için (1000/970)=1.031 düzeltme katsayısı uygulanarak yeni karışım oranları Çizelge 3.11 ve 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Perlit ağırlık olarak düzeltilmiş miktarları

| Perlitin ağırlık olarak miktarları | |
|---|-------------------------|
| Tane sınıfı | Ağırlık (kg) |
| 0-2 | (597.31×1.031) = 615.82 |
| 2-4 | (305.90×1.031) = 315.38 |
| 4-8 | (559.54×1.031) = 576.88 |

Çizelge 3.12. 1 m³ beton için karışıma giren düzeltilmiş malzemeler

| 1 m³ beton için karışıma giren malzemelerin miktarı | | |
|---|------------------------------------|----------------------------------|
| Bileşenler | Ağırlıklar (kg) | Hacimler (dm³) |
| Çimento | $(350 \times 1.031) = 360.85$ | $(111.1 \times 1.031) = 114.54$ |
| Su | $(122.5 \times 1.031) = 129.39$ | 129.39 |
| Hava | $(1.031 \times 0) = 0$ | 30 |
| Süper akışkanlaştırıcı | $(5.25 \times 1.031) = 5.41$ | $(4.375 \times 1.031) = 4.51$ |
| Perlit | $(1462.75 \times 1.031) = 1508.09$ | $(732 \times 1.031) = 754.69$ |

Bu çalışmada S/Ç oranı, deneme karışımındaki düzeltmeler neticesinde 0.36 olmaktadır.

3.2.4. Betonun karıştırılması ve kalıplanması

Karışım oranları tespit edilmiş olan malzemelerden hangilerinin mikser teknesine daha önce yerleştirileceğine ve karışım oranlarına uymak şartı ile, hangilerinin yavaş yavaş veya bir defada yerleştirilmesi gerektiğine belirtilmiş bir kural bulunmamaktadır. Uygulamalardan elde edilmiş tecrübeler göre, malzemelerin mikser teknesine yerleştirilmektedir. İlk önce iri ve ince agrega miksera dökülmüş ve bir dakika karıştırılmıştır. Sonra mikser çalışırken çimento eklenmiş ve 1 dakika sonra karışım suyu ile süper akışkanlaştırıcı karıştırılıp miksera konulmuştur ve karıştırma işlemine üç dakika daha devam edilmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonlarda ise suyun tamamı eklenip karıştırma işlemi bittikten sonra, çözelti haline getirilmiş silis dumanı ve uçucu kül karışıma eklenmiş ve karıştırma işlemine üç dakika daha devam edilmiştir.

Taze betonun yerine yerleştirilmesi işleminde en önemli hedef, betonun homojen özelliğini kaybetmeden ve segregasyon yapmadan kalıplar içerisindeki yerini almasını sağlamaktır. Karışım tamamlandıktan sonra beton kalıpların içine dökmeden, kalıpların içi yağlanması gerekir. Beton numunesi, basınç dayanımı için ve diğer denemeler için

10x20 cm lik silindir plastik kalıplar kullanılmıştır. 24 saat sonra numuneler kalıplarından sökölüp; kirece doygun ve sıcaklığı $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzuna yerleştirilmiştir. Numuneler 28 gün kür havuzunda kaldıktan sonra havuzdan çıkartılıp ve üzerlerinde deneyler yapılmıştır.

3.2.5. Betonun bakımı

Çimento ile suyun karıştırılmasından sonra reaksiyon oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda meydana gelen kompleks yapının sertleşmesi ile beton dayanım kazanmaktadır (Erdoğan 2003). Bu reaksiyonların devam edip betonun dayanım kazanması için beton, belirli bir sıcaklık ve neme bekletilmesi gerekmektedir. Bu olaya betonun bakımı veya kürü denir (Ulus 2007). Betonun bakımı için binalarda genelde belirli zamanlarda betonu sulama veya betonu nemlendirmektir. Laboratuvarıda ise $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ suda veya sıcak buhar odalarında çok çeşitli şekilde bakıma tabi tutulmaktadır.

3.2.6. Sertleşmiş betonun bazı fiziksel özellikleri

3.2.6.a. Sertleşmiş betonun birim ağırlığı

Sertleşmiş betonun birim ağırlığını belirlenmesi için ASTM C 567'ye göre belirlendi. Önce numuneler etüvde $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ değişmez ağırlığa kadar kurutuldu ve sonra numuneler 1 g hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra numunenin ağırlıklarını hacmine bölerek kuru birim ağırlığı hesaplandı. Aynı numunelerin doygun birim ağırlıkları hesaplanması için 24 saat suda bekletilmiştir. 24 saat sonra numuneleri tartılıp ağırlıkları hacmine bölerek doygun birim ağırlığı belirlenmiştir.

3.2.6.b. Beton basınç dayanımının elde edilmesi

Standart deney yöntemi TS 500, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39'da verilmektedir. Bu konuda, ASTM ve TS birbirine benzemektedir. Standart deney yönteminin uygulamasında, beton standartlarında belirtilen standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 10x20 cm boyutunda silindir beton numunelerin üzerinde basınç dayanımlarının tayini deneyi yapılmıştır. Numunelerde yükün bütün alana homojen dağılması için başlık yapılmıştır. Bu numuneler 28, 56 ve 90 günün sonunda, deney pressisi olarak Yüksel Kaya Makine Ltd, Q71 model vasıtasıyla basınç yükü altında kırılmıştır.

3.2.6.c. Kılcal ve hacimsel geçirimsizlik

Beton yüzeyleri su ile temas ettiği zaman, betondaki boşluklar suyu malzemenin içerisine çeker. Kılcal su emmede su beton ile temas ettikten sonra, beton içerisindeki boşluklarda yükselmeye başlayıp ve bir yükseklikten sonra durur. Kılcallık katsayısının hesaplanması için ise bu formülü kullanılmaktadır:

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

Q: emilen su miktarı (cm³/cm²),

k: kılcallık katsayısı (cm³/dak),

t: zaman (dak)

Bu deneyde, süre 24 saat (1440 dak) olarak uygulanmıştır. Numuneler 24 saat etüvde 105±5°C'de bekletikten sonra numuneler 0.5 cm suya girecek şekilde alt yüzeyinden su ile temasa geçirildi. Numuneler 24 saat sonra sudan çıkarılmış ve 1 gram hassasiyetli terazide tartılarak numune içerisine kılcallık yoluyla giren su miktarları belirlenmiştir. Hacimsel geçirimsizlik'te numuneler 24 saat kür havuzunda bırakılmış ve sonra tartılmıştır.

3.2.6.d. Ultrases hızı'nın tayini

Ultrason hızının azalması, betonun boşluklu olduğunu göstermektedir. Buna bağı olarak beton dayanımı da düşmektedir. Sodyum klorür (NaCl) ve Magnezyum klorür (MgCl₂) çözeltisi ve su ortamlarında bırakılan numunelerin ortamlara bırakmadan önce ultrases hızı değerleri ölçülmüş ve numunelerin ortamlara bırakıldıktan sonra 28, 56, 90 günlük ultrases hızı (kuru halinde) değişimleri alınmıştır. Ölçümlerin daha sağlıklı yapılması için başlıklar ve beton ara yüzeyinde ultrases jeli kullanılmıştır. Ultrason hızını ölçmek için her gruptan üç numune alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde agrega ve beton deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge ve Şekiller olarak verilmiştir.

4.1. Agrega deneyleri ile ilgili bulgular ve tartışma

Bu çalışmada deneylerin %100 oranında Erzincan Mollaköy ham perlit agregası kullanılmıştır. Perlit suyun içerisinde olduğu için bünyesinde %2 ile %6 arasında değişen oranda, su tutmaktadır ve bu su kuruma ile giderilemez.

“Perlit agregasının su emme oranı agreganın tane çapına bağlı olarak artmıştır. Bununla birlikte nedeni agrega tane boyutu arttıkça, tane içerisindeki boşluğun artmasıdır. Kuru agregalar karışım ve taşıma sırasında betonun suyunu emerek inşaat sahasında işlenemez bir betonun oluşmasına neden olur. Bu sorunu çözmek için, karışımdan önce agreganın tamamen suya doygun hale getirilmesi önermektedir” (Ulus 2007).

Perlit agregasının tane dağılımı ve elek analizi yapıldığı bu analizin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Perlit agregasının elek analizi

| Elek Açıklığı (mm) | Elek Üzerinde kalan (gr) | Kümülatif Toplam (gr) | Kalan (%) | Geçen (%) |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| 8 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 4 | 780 | 780 | 39 | 61 |
| 2 | 420 | 1200 | 21 | 40 |
| Tava | 800 | 2000 | 40 | 0 |

Tane yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ü veya gevşek yığın yoğunluğu 1200 kg/m^3 'ü aşmayan mineral kökenli agregalar hafif agrega olarak tanımlanmaktadır (Anonymous 2004). Perlit agregasının kuru birim hacim ağırlıkları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Perlit agregasının kuru birim ağırlığı

| Tane Sınıfı (mm) | Gevşek Birim Ağırlığı (kg/m^3) |
|------------------|---|
| 0-2 | 1154.14 |
| 2-4 | 1146.49 |
| 4-8 | 1129.29 |

4.2. Taze beton deneyleri ile ilgili bulgular ve tartışma

Üretilmiş taze beton numuneleri üzerinde yapılan birim ağırlığı deney sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Birim ağırlık sonuçları

| Karışım Tipi | Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3) |
|------------------------------|---|
| %10 SD ilaveli hafif beton | 1.910 |
| %20 UK ilaveli hafif beton | 1.900 |
| Mineral katkısız hafif beton | 1.885 |

Çizelge 4.3'te gösterdiği gibi karışımdaki %20 uçucu kül ve %10 silis dumanı ilaveli betonlarda birim ağırlıkları değerlerinde bir artma olmuştur. Bu artış silis dumanı ve uçucu külün daha ince ve doldurucu bir madde olduğunu ifade ediyor.

4.3. Sertleşmiş beton deneyleri ile ilgili bulgular ve tartışma

2 çeşit tuz (MgCl_2 ve NaCl), 3 oranla (%3, %5, karışık %1.75+%1.75) suda çözülmüş ve numuneler 28, 56, 90 günde sularda bekletilmiştir. Ayrıca normal numune (katkısız),

ve %10 SD ve %20 UK standart suda 90 gün içinde bekletilmiştir ve her tuzlu suda ise her deney için 9 tane normal numune bırakılmıştır ve 28, 56 ve 90 günün sonunda sudan çıkarılmış ve deneyler yapılmıştır. Katkılı numuneler ise çimento ağırlığının %10 silis dumanı ve %20 oranında uçucu kül ilave edilmiştir ve tuzlu sularda bırakılmıştır. Çalışmada perlit agregası ile üretilen hafif betonun deney sonuçları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan beton numunelerine deney programında basınç dayanımı, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve su emme gibi sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Standart havuzda bekletilen mineral katkısız beton sonuçları

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1770 | 4225 | 28 |
| 56 | 1775 | 4246 | 28.7 |
| 90 | 1789 | 4264 | 29 |
| 120 | 1797 | 4267 | 29.4 |

Çizelge 4.5. Standart havuzda bekletilen %10 silis dumanı numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1776 | 4230 | 28.5 |
| 56 | 1780 | 4250 | 29.2 |
| 90 | 1792 | 4268 | 29.6 |
| 120 | 1800 | 4275 | 30.3 |

Çizelge 4.6. Standart havuzda bekletilen %20 uçucu kül numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1777 | 4245 | 28.6 |
| 56 | 1781 | 4257 | 29.3 |
| 90 | 1788 | 4270 | 30 |
| 120 | 1795 | 4277 | 30.7 |

Çizelge 4.7. (%3.5) Sodyum klorür (NaCl) çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1776 | 4245 | 28.8 |
| 56 | 1791 | 4265 | 29.1 |
| 90 | 1795 | 4266 | 29.3 |

Çizelge 4.8. (%5) Sodyum klorür (NaCl) çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1776 | 4244 | 28.6 |
| 56 | 1786 | 4261 | 28.7 |
| 90 | 1794 | 4263 | 28.7 |

Çizelge 4.9. (%3.5) Magnezyum klorür (MgCl₂) çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1770 | 4240 | 28.5 |
| 56 | 1782 | 4257 | 28.7 |
| 90 | 1789 | 4261 | 28.9 |

Çizelge 4.10. (%5) Magnezyum klorür (MgCl₂) çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm ³) | Ultrases Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 1768 | 4237 | 28.2 |
| 56 | 1779 | 4256 | 28.4 |
| 90 | 1786 | 4259 | 28.4 |

Çizelge 4.11. (%1.75) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) ve (%1.75) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen mineral katkı içermeyen beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1773 | 4243 | 28.5 |
| 56 | 1786 | 4259 | 28.6 |
| 90 | 1794 | 4263 | 28.7 |

Çizelge 4.12. (%3.5) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1781 | 4252 | 29.3 |
| 56 | 1790 | 4267 | 29.6 |
| 90 | 1798 | 4274 | 30.1 |

Çizelge 4.13. (%5) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1778 | 4248 | 29.2 |
| 56 | 1789 | 4265 | 29.5 |
| 90 | 1797 | 4273 | 30 |

Çizelge 4.14. (%3.5) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1777 | 4247 | 29.2 |
| 56 | 1788 | 4265 | 29.4 |
| 90 | 1795 | 4272 | 29.9 |

Çizelge 4.15. (%5) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 28 | 1775 | 4245 | 29 |
| 56 | 1785 | 4262 | 29.3 |
| 90 | 1792 | 4271 | 29.8 |

Çizelge 4.16. (%1.75) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) ve (%1.75) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen %10 silis dumanı ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 28 | 1780 | 4251 | 29.3 |
| 56 | 1794 | 4270 | 29.63 |
| 90 | 1798 | 4274 | 30.2 |

Çizelge 4.17. (%3.5) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen %20 Uçucu kül ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 28 | 1779 | 4258 | 29.26 |
| 56 | 1787 | 4272 | 29.75 |
| 90 | 1793 | 4275 | 30.4 |

Çizelge 4.18. (%5) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen %20 Uçucu kül ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 28 | 1778 | 4256 | 29.2 |
| 56 | 1785 | 4268 | 29.8 |
| 90 | 1792 | 4273 | 30.1 |

Çizelge 4.19. (%3.5) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) çözeltisinde bekletilen bekletilen %20 Uçucu kül ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1777 | 4255 | 29.1 |
| 56 | 1785 | 4266 | 29.3 |
| 90 | 1790 | 4270 | 29.7 |

Çizelge 4.20. (%5) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) çözeltisinde bekletilen bekletilen %20 Uçucu kül ilaveli beton numuneleri

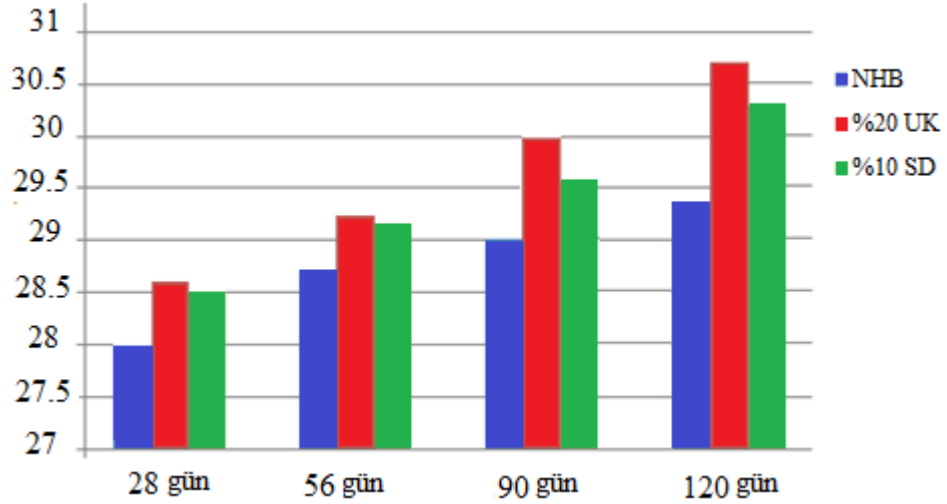
| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1775 | 4252 | 29 |
| 56 | 1781 | 4263 | 29.6 |
| 90 | 1786 | 4267 | 29.7 |

Çizelge 4.21. (%1.75) Magnezyum klorür ($MgCl_2$) ve (%1.75) Sodyum klorür ($NaCl$) çözeltisinde bekletilen %20 Uçucu kül ilaveli beton numuneleri

| Süre (gün) | Kuru BHA (gr/cm^3) | Ultras ses Hızı (m/s) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 28 | 1780 | 4255 | 29.2 |
| 56 | 1787 | 4268 | 29.9 |
| 90 | 1793 | 4277 | 30.3 |

4.3.1. Basınç dayanımı ile ilgili bulgular ve tartışma

Şekil 4.1’de 28, 56, 90 ve 120. günlerde standart kür görmüş beton numuneleri basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak görülmektedir.



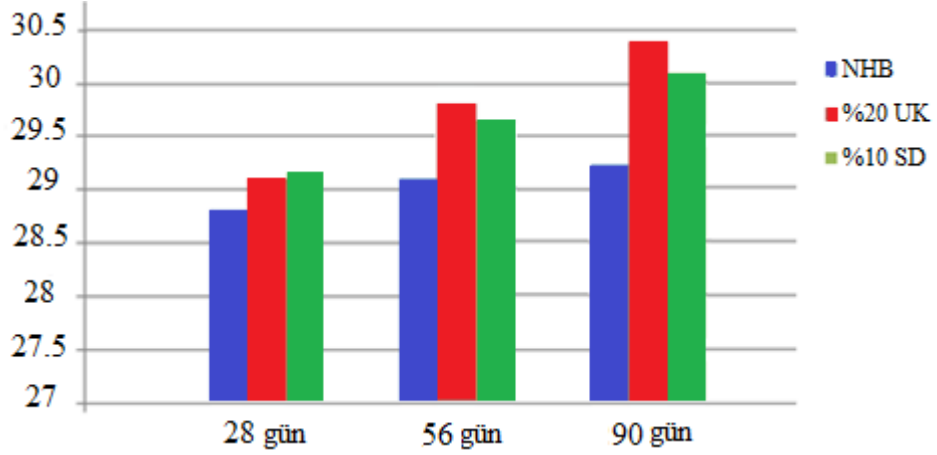
Şekil 4.1. Standart kür havuzundaki beton numunelerin basınç dayanımı

Şekil 4.1'deki 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %20 oranında uçucu kül ilaveli beton numuneler en yüksek basınç dayanımını vermiştir. Bunu sırasıyla %10 oranında silis dumanı ilaveli ve mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımları izlemiştir. 28. gündeki mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımı %20 uçucu kül ilaveli numunelerden %2.09 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerden %1.75 oranında azdır. Ayrıca 56. gündeki mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımı %20 uçucu kül ilaveli numunelerden %2.04 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerden %1.71 oranında azdır.

90. gündeki mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımı %20 uçucu kül ilaveli numunelerden %3.33 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerden %2.02 oranında azdır. 120. gündeki mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımı %20 uçucu kül ilaveli numunelerden %4.23 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerden %2.97 oranında azdır.

%20 uçucu kül ilaveli numunelerde ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerde bir artış görülmektedir. Bu artışın nedeni, zaman geçtikçe beton numunelerin birlikte normal kür şartlarının altında dayanımları doğal olarak artmasıdır.

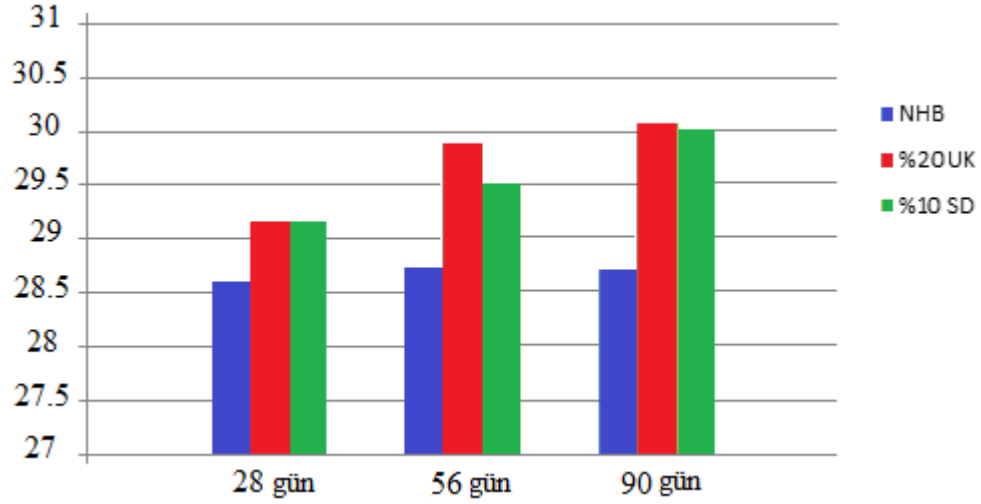
Şekil 4.2’de 28, 56 ve 90. günlerde %3.5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numuneleri uygulanan basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.2. %3.5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi

Şekil 4.2’deki 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10 oranında silis dumanı ilaveli beton numuneler en yüksek basınç dayanımını vermiştir. 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %1 ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında %0.68, %20 uçucu kül ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %2.14, 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla %1.64 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %0.84 ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla %1.89 oranında bir artış görülmektedir. Bu artış normal şartlarında bekletilen numunelere kıyasla çok az düşüktür. Yani %3.5 NaCl çözeltisi çok az etkisi var veya bazen hiç yokmuş gibi görünüyor.

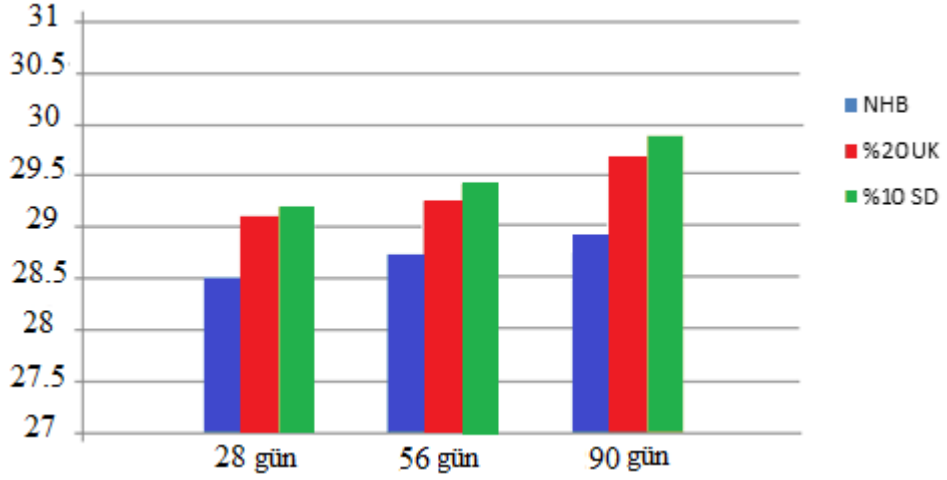
Şekil 4.3’te 28, 56 ve 90. günlerde %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numuneleri uygulanan basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.3. %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi

Şekil 4.3'teki 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10 oranında silis dumanı ilaveli beton numuneler ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerde en yüksek basınç dayanımını vermiştir. 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre mineral katkı içermeyen numunelerde yaklaşık %1 azalmıştır ve silis dumanı ve uçucu kül numunelerde yaklaşık %1 bir artış görülmektedir ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında %1.05 azalmıştır ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %2.03, 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla %0.99 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %1.01 ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla %1.66 oranında bir artış görülmektedir. Bu artış normal şartlarında bekletilen numunelere ve %3.5 NaCl çözeltisinde bekletilen numunelerle kıyasla biraz düşüktür. Yani %5 NaCl çözeltisinin etkisi beton üzerinde %3.5 NaCl çözeltisinden daha fazladır ve bunun nedeni daha fazla NaCl beton içine sızdırmaktan kaynaklanır ki bu betonun boşluklarının artmasına neden olur.

Şekil 4.4'te 28, 56 ve 90. günlerde %3.5 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numuneleri uygulanan basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak görülmektedir.

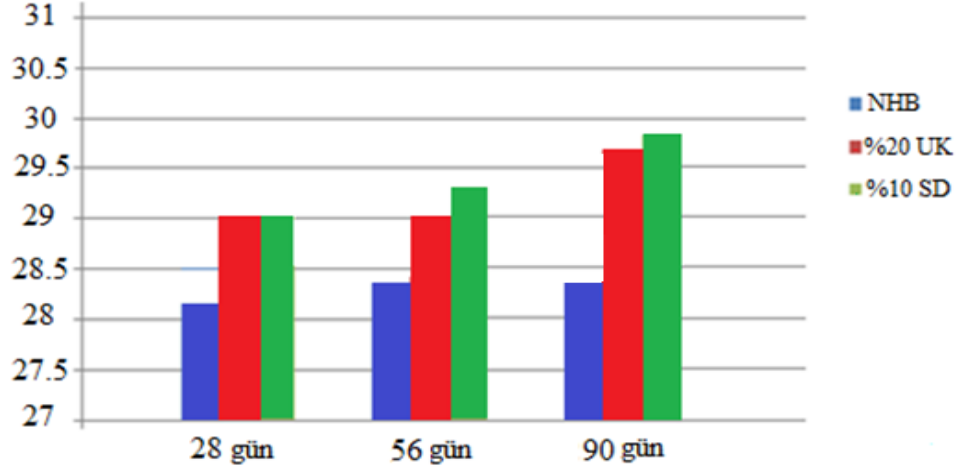


Şekil 4.4. %3.5 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi

Şekil 4.4'teki 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10 oranında silis dumanı ilaveli beton numuneler uçucu küllü numunelerden daha yüksek basınç dayanımı vermiştir.

56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre mineral katkı içermeyen numunelerde yaklaşık %0.69 ve silis dumanı ve uçucu kül numunelerinde yaklaşık %0.68 bir artış görülmektedir ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. günde oranla mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında %0 ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerde 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. güne göre yaklaşık %1.34 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %1 ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. günde oranla %1.6 oranında bir artış görülmektedir. Bu arada %3.5 Magnezyum klorür etkisi beton üzerinde zararlı olduğu belirlenmiştir ve mineral katkı içermeyen numuneler standart suda kıyaslanırken basınç dayanımları daha az yükselmiş ve 56 ve 90. günde düşmüştür. Magnezyum klorür ($MgCl_2$) sertleşmiş çimento hamurundaki kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek çözünen $CaCl_2$ ve çözünmeyen $Mg(OH)_2$ (brusit) meydana getirir. Betonun Mg tuzlarıyla uzun süreli teması halinde ise C-S-H içindeki kalsiyumun Mg iyonlarıyla yer değiştirdiği görülür ki oluşan Magnezyum silikat hidratın (M-S-H) bağlayıcılık özelliği yoktur, kolayca parçalanabilir. Bu durum betonda rijitlik ve dayanım kaybına yol açar.

Şekil 4.5'te 28, 56 ve 90. günlerde %5 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numuneleri uygulanan basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak görülmektedir.

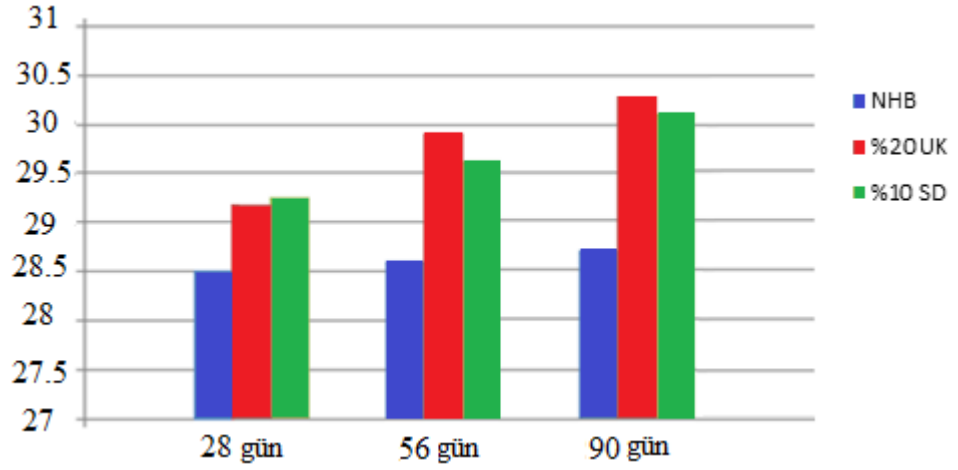


Şekil 4.5. %5 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin basınç deneyi

Şekil 4.5'teki 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10 oranında silis dumanı ilaveli beton numuneler ve %20 oranında uçucu kül en yüksek basınç dayanımını vermiştir.

56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre mineral katkı içermeyen numunelerde yaklaşık %0.70 ve silis dumanı numunelerde yaklaşık %2 artış görülmektedir ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında %0 ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerde 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. güne göre yaklaşık %1 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %1.02 ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. gündekine oranla %1.67 oranında bir artış görülmektedir. Bu arada %5 Magnezyum klorürün etkisi betonun üzerinde zararlı olduğu daha çok belirlenmiştir ve mineral katkı içermeyen numuneler standart suda kıyaslanırken basınç dayanımları daha az yükselmiş ve 56 ve 90. günde daha çok düşmüştür.

Şekil 4.6'da 28, 56 ve 90. günlerde %1.75 Magnezyum klorür ve %1.75 Sodyum klorür çözeltilisine maruz beton numuneleri uygulanan basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.6. %1.75 Magnezyum klorür ve %1.75 Sodyum klorür çözeltilisine maruz beton numunelerin basınç deneyi

Şekil 4.6'daki 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10 oranında silis dumanı ilaveli beton numuneler en yüksek basınç dayanımını vermiştir.

56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre mineral katkı içermeyen numunelerde yaklaşık %0.70 ve silis dumanı ve uçucu kül numunelerde yaklaşık %1-2 artış görülmektedir ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. günde oranla mineral katkı içermeyen numunelerin basınç dayanımlarında %0.70 ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerde 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. güne göre yaklaşık %1.5 ve %10 silis dumanı ilaveli numunelerde 56. gündeki basınç dayanımlarında 28. güne göre yaklaşık %1.2 ve 90. gündeki basınç dayanımlarında 56. günde oranla %1.9 oranında bir artış görülmektedir. Bu arada %1.75 Magnezyum klorürün artı %1.75 Sodyum klorürün çözeltilisi betonun üzerinde çok az etkisi izlenmiştir.

4.3.2. Birim ağırlık (BA) ile ilgili bulgular ve tartışma

Beton numunelerde ölçülen kuru birim ağırlık aşağıda değerlendirilmiştir:

-- Standart suda normal numuneler zaman geçtikçe birim ağırlıkları artmaktadır.

-- %10 silis dumanı ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerde standart suda BA daha fazla artışı görülmektedir ve bunun nedeni UK ve SD doldurucu bir madde olduklarını ifade ediyor.

-- %3.5, %5 NaCl'de ve karışık (%1.75 MgCl₂+ %1.75 NaCl) çözeltilerde mineral katkısız beton numunelerin BA çok az düşmüştür.

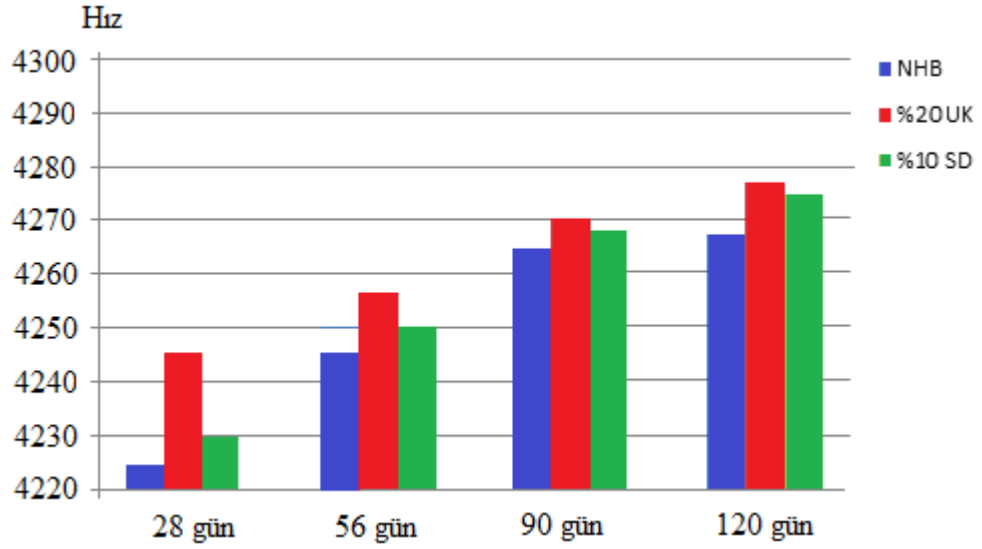
-- %3.5 ve %5 MgCl₂ çözeltilerinde mineral katkısız beton numunelerin BA, NaCl'deki numunelerden daha çok düşmüştür ve kür süresi uzaldıkça, BA artmasının azaldığını görülmüştür. Çünkü MgCl₂ tuzu beton içine girip daha çok boşluk ve çatlak yaratır.

-- %10 silis dumanı ve %20 uçucu küllü numunelerde, %3.5, %5 NaCl ve karışık (%1.75 MgCl₂+ %1.75 NaCl) çözeltileri hiç etkileri yokmuş gibi görüyor. Zira SD ve UK betonun boşluklarını doldururken daha az NaCl beton içine girebilir.

-- %10 silis dumanı ve %20 uçucu kül ilaveli numunelerin BA %3.5 ve %5 MgCl₂ çözeltilerinde mineral katkısız numunelerden daha az düşmüştür.

4.3.3. Ultrases hızı ile ilgili bulgular ve tartışma

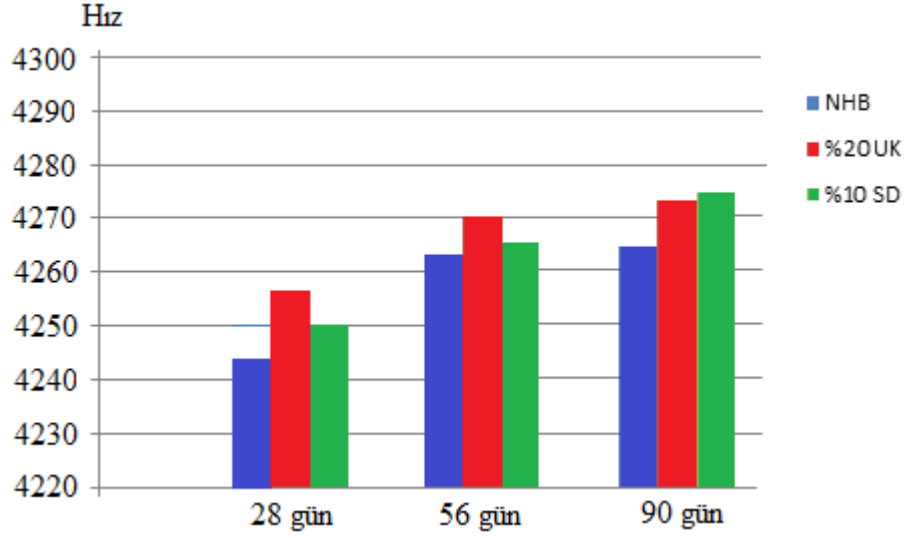
Şekil 4.7'de 28, 56, 90 ve 120 günlerde standart kür havuzunda tutulan beton numunelerde ultrases geçiş hızlarının grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.7. Standart kür havuzunda bekletilen beton numunelerin ultrases hızı (m/s)

Standart kür havuzundaki numunelerin 28. gündeki en düşük ultrases geçiş hızı mineral katkısız numunelerdedir ve en yüksek %20 uçucu kül ilaveli numunelerdedir. 28, 56, 90. Günlerdeki numunelerde en düşük hızı mineral katkısız numunelerdedir. Silis dumani ve uçucu kül doldurucu madde olduğu için betonda daha az boşluk bulunur ve hızda artışı. 28. Günden sonra bir artış görülüyor ve bu betonun daha iyi tutulmasını izah ediyor. Zamanla standart kür havuzunda bekletilen beton numunelerin ultrases hızı artmaktadır. Çünkü betonun boşlukları ne kadar az olursa ultrases hızı daha yüksektir.

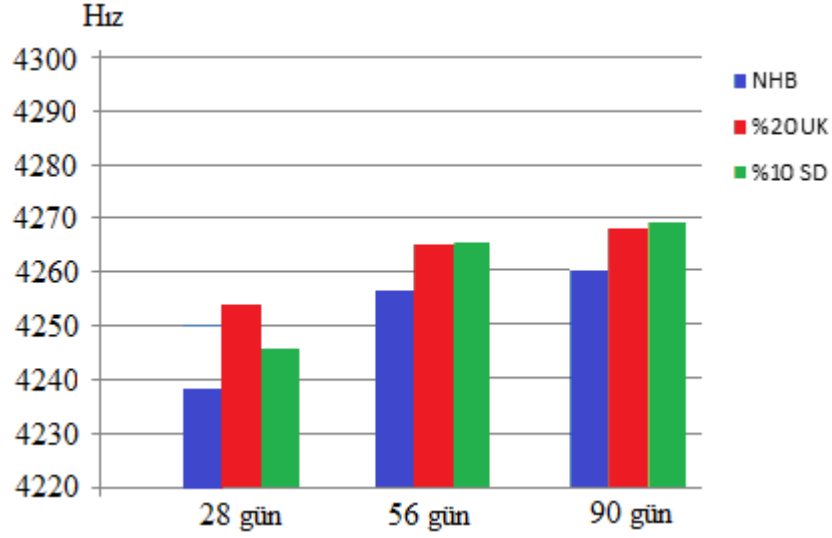
Şekil 4.8'de 28, 56, 90 günlerde %3.5 ve %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızlarının grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.8. %3.5 ve %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerinin ortalama ultrases hızı (m/s)

28. günde beton numunelerinde en düşük mineral katkı içermeyen numunelerdir ve en yüksek %20 uçucu kül ilaveli numunelerdedir. 28, 56 ve 90. günlerdeki numunelerde en düşük hızı mineral katkısız numunelerdedir. Ne kadar boşluk veya çatlak betonun içinde çok olursa ultrases hızı azalmaktadır. 56 ve 90. günlerde değerler birbirine yakın olduğunu izah ediyor.

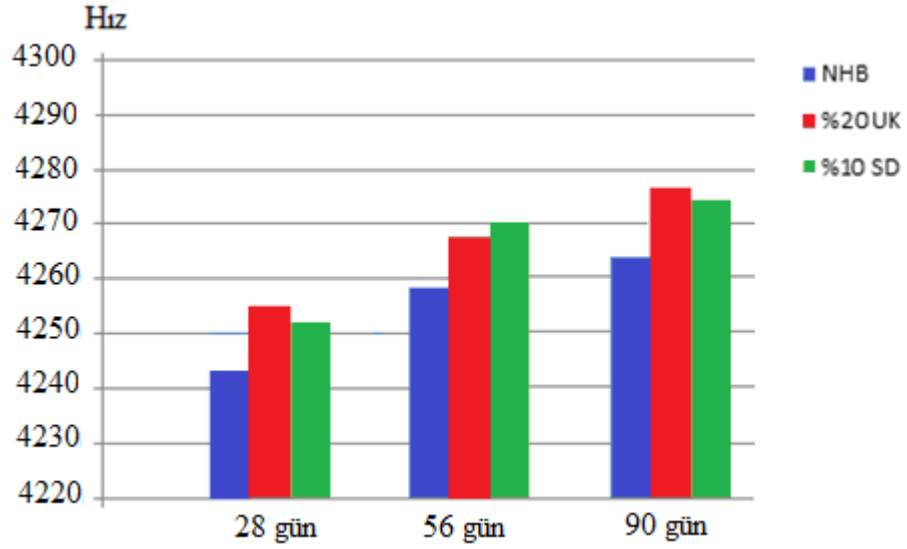
Şekil 4.9'da 28, 56, 90 günlerde %3.5 ve %5 Sodyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerinin ortalama ultrases geçiş hızlarının grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.9. %3.5 ve %5 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin ortalama ultrases hızı (m/s)

28. gündeki beton numunelerinde en düşük değer mineral katkı içermeyen numunelerdir ve en yüksek %20 uçucu kül ilaveli numunelerdedir. Bu değerler normal ve NaCl'ü sularından daha az olduğunu gösterir. 56 ve 90. Günlerdeki silis dumanı ve uçucu kül ilaveli numunelerde değerleri birbirine çok yakın olduğunu gösteriyor. MgCl₂ tuzu NaCl'den beton için daha zararlıdır ve betonun içinde daha fazla boşluk ve çatlak yaratır ve betona daha çok hasar oluşturmaktadır. Bu nedenle Magnezyum klorür çözeltisine maruz kalan beton numunelerin ultrases hızı daha düşüktür.

Şekil 4.10'da 28, 56, 90 günlerde %1.75 Sodyum klorür ve %1.75 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin ultrases geçiş hızlarının grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.10. %1.75 Sodyum klorür ve %1.75 Magnezyum klorür çözeltisine maruz beton numunelerin ultrases geçiş hızları

28. gündeki beton numunelerinde en düşük değer mineral katkı içermeyen numunelerdir ve en yüksek %20 uçucu kül ilaveli numunelardedir. Bu değerler normal ve NaCl'ü sularından fark etmediğini izah ediyor. 56 ve 90. günlerdeki silis dumanı ve uçucu kül ilaveli numunelerde değerleri birbirine çok yakın olduğunu gösterir. Zaman geçtikçe uçucu kül ve silis dumanı tane boyutları ince olduğundan dolayı betonun içerisindeki boşlukları daha fazla doldurup, betonun iç yapısının boşluk oranını azaltıp ve yüksek bir ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir.

4.3.4. Kılcal ve hacimsel su emme ile ilgili bulgular ve tartışma

Kılcal su emmede 24 saatlik etüv kuru beton numunelerini 1g terazi ile tartıp bir yüzünden 5 mm suda bıraktıktan sonra 24 saat zaman geçmiştir. Sonra sudan çıkarıp tartıldı. Ayrıca hacimsel su emme deneyi için kür havuzuna 24 saat bıraktıktan sonra numuneler çıkartılıp tartıldı. Bu sonuçlar dahilinde aşağıdaki değerler elde edildi.



Şekil 4.11. Kılcal su emme

Çizelge 4.22. Standart suda bırakılan numunelerin su emme miktarı

| Karışım tipi | gün | Kuru ağırlık (gr) | Kılcal su emme miktarı (gr) | Hacimsel su emme miktarı (gr) |
|--------------|-----|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| NHB | 28 | 2775 | 2807 | 2847 |
| NHB | 56 | 2783 | 2807 | 2852 |
| NHB | 90 | 2805 | 2827 | 2871 |
| NHB | 120 | 2816 | 2837 | 2880 |
| %20 UK | 28 | 2789 | 2813 | 2855 |
| %20 UK | 56 | 2796 | 2818 | 2860 |
| %20 UK | 90 | 2809 | 2831 | 2872 |
| %20 UK | 120 | 2818 | 2836 | 2877 |
| %10 SD | 28 | 2788 | 2812 | 2853 |
| %10 SD | 56 | 2794 | 2817 | 2856 |
| %10 SD | 90 | 2813 | 2833 | 2873 |
| %10 SD | 120 | 2826 | 2844 | 2885 |

Çizelge 4.23. %3.5 NaCl çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı

| Karışım tipi | gün | Kuru ağırlık (gr) | Su emme miktarı (gr) | Hacimsel su emme miktarı (gr) |
|--------------|-----|-------------------|----------------------|-------------------------------|
| NHB | 28 | 2783 | 2811 | 2861 |
| NHB | 56 | 2809 | 2832 | 2879 |
| NHB | 90 | 2818 | 2840 | 2883 |
| %20 UK | 28 | 2800 | 2822 | 2867 |
| %20 UK | 56 | 2808 | 2830 | 2874 |
| %20 UK | 90 | 2815 | 2834 | 2879 |
| %10 SD | 28 | 2795 | 2817 | 2866 |
| %10 SD | 56 | 2812 | 2832 | 2880 |
| %10 SD | 90 | 2825 | 2845 | 2890 |

Çizelge 4.24. %3.5 MgCl₂ çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı

| Karışım tipi | gün | Kuru ağırlık (gr) | Su emme miktarı (gr) | Hacimsel su emme miktarı (gr) |
|--------------|-----|-------------------|----------------------|-------------------------------|
| NHB | 28 | 2778 | 2808 | 2858 |
| NHB | 56 | 2797 | 2823 | 2871 |
| NHB | 90 | 2808 | 2833 | 2876 |
| %20 UK | 28 | 2789 | 2816 | 2862 |
| %20 UK | 56 | 2802 | 2825 | 2871 |
| %20 UK | 90 | 2810 | 2832 | 2879 |
| %10 SD | 28 | 2789 | 2815 | 2861 |
| %10 SD | 56 | 2807 | 2830 | 2878 |
| %10 SD | 90 | 2818 | 2840 | 2882 |

Çizelge 4.25. %5 NaCl çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı

| Karışım tipi | gün | Kuru ağırlık (gr) | Su emme miktarı (gr) | Hacimsel su emme miktarı (gr) |
|---------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| NHB | 28 | 2783 | 2813 | 2864 |
| NHB | 56 | 2800 | 2826 | 2875 |
| NHB | 90 | 2810 | 2834 | 2878 |
| %20 UK | 28 | 2793 | 2818 | 2866 |
| %20 UK | 56 | 2800 | 2823 | 2869 |
| %20 UK | 90 | 2813 | 2834 | 2881 |
| %10 SD | 28 | 2790 | 2815 | 2862 |
| %10 SD | 56 | 2808 | 2830 | 2878 |
| %10 SD | 90 | 2821 | 2842 | 2886 |

Çizelge 4.26. %5 MgCl₂ çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı

| Karışım tipi | gün | Kuru ağırlık (gr) | Su emme miktarı (gr) | Hacimsel su emme miktarı (gr) |
|---------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| NHB | 28 | 2775 | 2800 | 2860 |
| NHB | 56 | 2793 | 2820 | 2883 |
| NHB | 90 | 2804 | 2831 | 2893 |
| %20 UK | 28 | 2786 | 2806 | 2878 |
| %20 UK | 56 | 2796 | 2815 | 2887 |
| %20 UK | 90 | 2804 | 2824 | 2898 |
| %10 SD | 28 | 2786 | 2805 | 2883 |
| %10 SD | 56 | 2802 | 2823 | 2905 |
| %10 SD | 90 | 2813 | 2835 | 2914 |

Çizelge 4.27. %1.75 MgCl₂ + %1.75 NaCl çözeltisinde bırakılan numunelerin su emme miktarı

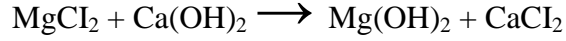
| Karışım tipi | gün | Kuru ağırlık (gr) | Su emme miktarı (gr) | Hacimsel su emme miktarı (gr) |
|--------------|-----|-------------------|----------------------|-------------------------------|
| NHB | 28 | 2783 | 2802 | 2852 |
| NHB | 56 | 2804 | 2824 | 2876 |
| NHB | 90 | 2816 | 2837 | 2891 |
| %20 UK | 28 | 2794 | 2816 | 2875 |
| %20 UK | 56 | 2805 | 2827 | 2889 |
| %20 UK | 90 | 2815 | 2827 | 2890 |
| %10 SD | 28 | 2794 | 2816 | 2883 |
| %10 SD | 56 | 2816 | 2839 | 2903 |
| %10 SD | 90 | 2822 | 2844 | 2909 |

Şekillerde görüldüğü gibi numunelerin kılcal ve hacimsel su emme oranlarından, mineral katkısız betonların kılcal ve hacimsel su emme oranları en yüksek olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla %20 uçucu kül ilaveli ve %10 silis dumanı ilaveli numuneler takip etmektedir. Mineral katkısız beton numunelerinde silis dumanı ilaveli beton numunelerinden daha çok su emme gözlemlendi. Ayrıca beton numuneleri NaCl ve %1.75MgCl₂+%1.75NaCl çözeltilerinde standart kür sularda bırakılan numunelerle çok farkları yoktur. Yani %3.5 ve %5 NaCl ve karışık çözelti betonu çok etkilendirmemiştir. Ama MgCl₂ çözeltisinde numuneler daha çok su emmeleri görülmektedir. Çünkü Magnezyum klorür betonun içine sızıp boşluklarını daha fazla yükseltir. Bu durumda %20 uçucu kül ve %10 silis dumanı, mineral katkı içermeyen numunelerden daha iyi bir davranış göstermiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, perlit agregası ile üretilen mineral katkılı hafif betonların standart kür havuzuna, %3.5, %5 Sodyum klorür ve %3.5, %5 Magnezyum klorür ve %1.75 $MgCl_2$ +%1.75 NaCl çözeltide maruz numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen 28 günlük, 56 günlük, 90 günlük sonuçlar irdelendiğinde şunları söylemek aşağıda belirtildiği üzere mümkündür.

1. Standart kür havuzunda bırakılan numunelerin basınç dayanımları mineral katkı türünden bağımsız olarak 120 gün içerisinde artış göstermiştir. En yüksek dayanım değeri %20 UK ilaveli numunelerde elde edilirken bunu, sırasıyla %10 SD ilaveli ve mineral katkı içermeyen betonlar takip etmiştir.
2. %3.5 ve %5 Sodyum klorür çözeltisinde NaCl tuzu betonun basınç dayanımında ve ultrases hızında çok etkisi görülmemiştir. Sodyum klorür (NaCl) genellikle kısa zamanda çimento üzerinde zararlı etkiye neden olmaz. Suda NaCl oranı arttıkça betonu daha çok etkilemektedir.
3. %1.75 $MgCl_2$ +%1.75 NaCl çözeltisi ise betonun basınç dayanımına ve ultrases hızına çok etkisi yoktur.
4. %3.5 ve %5 Magnezyum klorür çözeltisinde $MgCl_2$ tuzu betonun basınç dayanımında, ultrases hızında ve su emme miktarında NaCl'den daha fazla etki göstermiştir. Zira Na^+ ve K^+ iyonları çimentodaki silis jelinin yüzeyi tarafından tutulur. Jel bileşiminde alkali oranının zamanla artmasıyla, bu jel hidrate halinde çözeltiliye karışır ve ayrışmaya başlar. Magnezyum klorür ($MgCl_2$), kalsiyum klorür'ün ($CaCl_2$) oluşmasına sebep olur. Kalsiyum klorür'ün oranının beton içerisinde artmasıyla kalsiyum kloro alüminat oluşmasını sağlar ki bu madde beton için son derece sakıncalı ve zararlıdır.



Kalsiyum klorür az miktarda su içinde eriyik halinde bulunduğu takdirde priz hızlandırmak suretiyle mukavemet artışını hızlandırır. Ayrıca CaCl_2 yoğunlaşması ile çimento için belirli derecede zararlıdır (Yıldız 2012).

5. MgCl_2 zaman geçtikçe mineral katkı içermeyen numunelerin mukavemet kazanma hızını düşürmüştür ve bu MgCl_2 'ün beton için zararlı olduğunu izah ediyor.

6. Silis dumanı tanelerinin çok ince olmasından dolayı, belirli bir değere kadar betonun su ihtiyacını arttırmaktadır. Betonda kullanılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarılara çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, işlenebilirlik açısından silis dumanı içeren betonlar daha kohezif hale geldiğinden dolayı işlenebilirlik azalmaktadır. Uçucu kül içeren betonlar daha geç priz almaktadırlar.

7. Bağlayıcı hamurlarının priz süreleri uçucu kül kullanımı ile artmaktadır. Ancak, priz hızlandırma özelliği olan süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile priz süreleri oldukça kısalmaktadır.

8. Mekanik dayanım açısından değerlendirme yapılacak olursa uçucu kül ve silis dumanı basınç dayanımı belirli bir ikame (çimento) miktarına kadar arttırdığı söylenebilir. Ayrıca betonda mikro boşlukları doldurması nedeniyle mineral katkı içermeyen betonlardan dayanıklılıklarına (durabiliteye) olumsuz etki eden MgCl_2 karşısında daha fazla direnç sağlamaktadır.

9. Uçucu kül kullanımı, betonun MgCl_2 etkisine karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkilemiştir. Ancak, betonun diğer fiziksel ve kimyasal etkiler ile uzun dönemli performansının gözlenmesi yararlı olacaktır.

10. Betonda gerekli durabilitenin sağlanması için, kimyasal ve mineral katkıların kullanımıyla (SD, UK vb.), betonun boşluk yapısını, harç yapısı ve agrega ara yüzeyindeki boşlukların düşmesine neden olur.

11. Su emme deneyinde $MgCl_2$ çözeltisine maruz kalan mineral katkı içermeyen numuneler boşluklu olduğu için daha çok su emmişlerdir. Bunu sırasıyla silis dumanı ve uçucu kül izlemiştir. Ayrıca $NaCl$ çözeltisinde $NaCl$ oranı yükseldikçe su emme miktarıda yükselir.

12. Silis dumanı katkılı betonlar; basınç, aşınma ve zararlı kimyasallara karşı yüksek dayanıklılık gerektiren, hava alanları, liman ve beton yollarında, döşeme plakları, su iletim kanalları ve barajlar, köprü ayakları gibi yapıların üretilmesinde kullanılabilir. Ayrıca ekonomi açısından daha az çimento kullanılır.

13. Deniz suyu betonla teması söz konusu olduğunda, Magnezyuma dayanıklı çimento, curüflu çimento veya puzzolanik katkılar kullanılabilir. Ayrıca betonun geçirimsizliğini azaltmak için S/Ç oranı azaltılmalıdır.

14. Betonda alkali-agrega reaksiyonunun çok hızlı geliştiği deniz yapıları ve nemli bölgelerde ham perlit agregalı beton kullanımı artırılmalıdır. Perlit agregası kullanılarak beton üretiminde maksimum agrega boyutuna (D_{max}), S/Ç oranına ve agrega granülometrisine dikkat edilmelidir.

15. %3.5 ve %5 $MgCl_2$ çözeltisine maruz betonların ultrases geçiş hızlarında 90. günde bir azalma görülmektedir. %3.5 ve %5 $MgCl_2$ çözeltisine maruz mineral katkısız numunelerin ultrases geçiş hızlarında %3.5 ve %5 $NaCl$ çözeltisine maruz mineral katkısız numunelere kıyasla bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum $MgCl_2$ çözeltisinin $NaCl$ çözeltisine nazaran bozucu etkisinin daha fazla olabileceğini göstermektedir.

16. Mineral katkı içermeyen numunelerde 90 günlük deney süresinde oluşan dayanım kaybı daha fazladır. Bu SD ve UK beton numunelerin $MgCl_2$ 'lü ortamlarında daha iyi bir performans göstermelerini izah ediyor.

17. $MgCl_2$ etkisi beton üzerinde kimyasal bozulma mekanizmasıdır. Süreli çalışmalarda $MgCl_2$ konsantrasyonunun yüksek tutulması daha uygun olacağı düşünülmektedir.

18. %10 SD ve %20 UK içeren beton numunelerinde mikro boşlukları doldurması nedeniyle dayanıklılığa (durabiliteye) olumsuz etki eden $MgCl_2$ vb. tuzların karşısında direnç sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Akman, M. S., 1994. Traslı çimento nedir ne değildir. TMMOB İnşaat Mühendisleri odası yayını. panel, sf:55, Ankara.
- Akman, M. S., 2001, Betonarme yapılarda yangın hasarı ve yangın sonunda taşıyıcılığın belirlenmesi, sika teknik bülten, yıl 4, sayı 3, istanbul.
- Aitcin, P. C., 1998. High Performance Concrete. E and FN SPON, 650p, London and Newyork.
- Anonymous, 2004. TS 1114 EN 13055-1, Hafif Agregalar, Bölüm 1, Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin. TSE, Ankara.
- Anonymous, ASTM C 157, Test Method for length change of hardened hydraulic - cement mortar and concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 469, Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Compression, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 496, Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 567, Test Method for Density of Structural lightweight Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 78, Test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third point loding), annual book of ASTM standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 39, Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 330, Spesification for lightweight Aggregates for Structural Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 127, Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts, 2002
- Anonymous, ASTM C 128, Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts, 2002
- Anonymous, ASTM C 29, Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 192, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 138, Test Method for Density(Unit Weight), Yield and Air Content of Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Anonymous, ASTM C 642, Test Method for Density, Absorption and Voids, Annual Book of ASTM Standarts, 2002.
- Aykaç, S., Bakırcı, Ş., 2009. Karışımda Kullanılan deniz suyunun beton basınç dayanımına Etkisi.
- Baradan, B., Aydın, S., 2001. Betonun durabilitesi (dayanıklılık, kalıcılık) durability of concrete. Dokuz eylül üniversitesi.
- Beycioğlu, A., Doğan, D., Çakır, D., Subaşı, S., Başığit, B., 2010. Silis dumanının beton teknolojisinde kullanımı- myo-os 2010- Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu 21-22 ekim 2010.

- Bingöl, F., Tohumcu, İ. 2013. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları. Deü mühendislik fakültesi mühendislik bilimleri dergisi cilt: 15 sayı: 2 sh. 31-44 ocak 2013.
- Bolat, H., Subaşı, S., Çullu, M., Akkaya, U., Beton Yolları Bekleyen Tehlikeler e- issn: 1305-631X.
- Bolen, P. W., 1993. Perlite Mineral Commodity Summaries, US Bureau Of Mines, Department of The Interior, P.126-127, USA.
- Büyüktanır, A., 2010. Ultrases (ultrasound) , Ankara .
- Cabrera, J., Hassan, K. E., Maliehe, R. S., 2000. "The effect of mineral admixtures on the properties of high performance concrete". Cement and concrete composites, 22:267-271.
- Can, M., Etemoğlu, A. B., Avci, A., 2002. Deniz suyundan tatlı su eldesinin teknik ve ekonomik analizi.
- Cengiz, D., Atış, F., Özcan, O., Karahan, C., Bilim, U., Sevim, K. A., Demir., 2003. TMH silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi-türkiye mühendislik haberleri/ sayı 426 – 2003/4.
- Chandra, S., and Berntsson, L., 2003. Lightweight Aggregate Concrete. 430p Noyes Publications. U.S.A.
- Chia, K.S., Zhang, M. h., 2002. Water permeability and chloride penetrability of high strength lightweigth aggregate concrete. Pergoman-Cement and Concrete Research (32),639-645p.
- Cilson, N., Aksoy, N., Beton yapı hasarları onarım ve korunması ve sıcak iklimlerde beton.
- Clarke, L. J., 2010. Hafif Agregalı Yapısal Beton, Britanya Çimento Birliği.
- Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ., 1999., Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş "iston" 2 ulusal kırmataş sempozyumu 99, İstanbul 1999, isbn b.16.0. kgm.o.63.o0.03/606 1.
- Demirbaş, A., Öztürk, T., Karataş, F., 2001. Long-term wear on outside walls of building sulphur dioxide corrosion, Cem and Concr Res, vol.31, no.4, and pp. 3-6s.
- Demirboğa, R., Gül, R., 2004. Durability of mineral admixed lightweight aggregate concrete. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum.
- Dizdaroğlu, H., 2000. Klorun korozyona etkisi, ünye çimentodan aberler, Ordu, 4(14), 15s.
- Duval, R., Kadri, E. H., 1998. Influence of Silica Fume on the workability and the compressive strength of high-performance concretes. Cement and concrete Research, Vol. 28, No. 4, pp. 533-547.
- Erdoğan, T. Y., 2003. Beton, odtü geliştirme vakfı yayıncılık ve İletişim a.ş. Yayını, 513 604s.
- Erdoğan, T. Y., 1995. Betonlu oluşturan malzemeler, agregalar. Türkiye hazır beton birliği yayını, , İstanbul.
- Esmailzadeh, A., 2013. Mineral katkılı hafif betonlarda sülfat etkisi. Yüksek lisans tezi. Erzurum.
- Friedemann, K., Krumbach, R., Seyfarth, K., 1999. High Strength Concrete Durability Investigation by Using The CDF test. Lacer No:4, 97-112p.

- Gökçe, H. S., Şimşek, O., Durmuş, G., Demir, İ., 2010. Ham perlit agregalı hafif beton özelliklerine alternatif geliştirilmiş perlit kullanımının etkisi. Politeknik dergisi cilt:13 sayı: 2 s. 55-63, 2010.
- Gül, R., Geçten, O., 1994. Hafif Betonların Kullanılabilirliği DSİ Teknik Bülteni, Sayı 81.
- Gül, R., Aydın, A. C., 1998. "Hızlandırıcı katkı maddelerinin betona uygulanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar", iii. Ulusal kimya kongresi, Erzurum.
- Gül, R., Demirboğa, Kurt, M. R., Aydın, A.C., 2000. "Freeze-Thaw Resistance Of Light Weight Aggregate Concrete", Second Int. Symposium On Structural Lightweight Aggregate Concrete, Norway.
- Gül, R., Demirboğa, R., Güvercin, T., 2006. Compressive strength and Ultrasound Pulse Velocity of Mineral admixed mortars, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, vol. 13, pp. 18-24.
- Gül, R., Demirboga, R., 2003. Thermal conductivity and compressive strength of Expanded Perlite Aggregate Concrete with Mineral admixtures, Energy & Buildings 35 (11) (2003) pp. 1155-1159.
- Güvendiren, M., Ünalın, H. E., Öztürk. T., 2002. Hidrojen depolama amacıyla Magnezyum tozlarının öğütülmesinde katkı maddelerinin etkisi. Mühendis ve Makina - Git 44 sayı 517.
- Kadiroğlu, İ., 2000. Deniz suyunun beton karma suyu olarak kullanılabilirliği hazır beton dergisi eylül – ekim 48-51s.
- Kayali, O., Zhu, B., 2004. Chloride induced reinforcement corrosion in lightweight aggregate high strength fly ash concrete. construction and building materials (19), 327-336p.
- Khaled, A., Soudki., 2005. PEng. Concrete problems and repair techniques.
- Khoury, A. G., Anderberg, Y., 2000. Concrete spalling review.
- Kuyumcu, H. M., 2006. Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi. Sakarya üniversitesi fen bilimleri enstitüsü.
- Malhotra, V. M., 1990. Properties of high strength lightweight concrete incorporating fly ash and silica fume. aci sp-121, 645-666p.
- Neville, A. M., 1975. Properties of Concrete, Pitman Publishing, London.
- Neville, A. M., 1988. Properties of Concrete. inc. Third edition, 779p, New York.
- Özcan, F., 2005. Silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri ve hızlandırılmış kür ile dayanım tahmini.
- Özkul, H., 2004. Meslek liseleri için her yönü ile beton, türkiye hazır beton birliği yayını, İstanbul, 75s.
- Pekdemir, M., 2010. Pomza ile üretilen betonların bazı mekanik özelliklerinin incelenmesi yüksek lisans tezi, Atatürk üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Erzurum.
- Polat, K., 2007. Genleştirilmiş perlit ve pomza ile hava sürükleyici katkının betonda kılcal geçirimsizlik ve don hasarına etkisi, Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Saad, A., 2005. Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves. science and direct –construction and materials(19), 257-263p.
- Sever, C., 1993. Beton yapılarında korozyon, Türkiye mühendislik haberleri, 12.Teknik kongre, (366) ,33.

- Short, A., and Kinniburgh., 1978. *Lightweight Concrete*. Applied Science Publishers Ltd, 443p, London, U.K.
- Taşdemir, M. A., 1982 .Taşıyıcı hafif betonların elastik ve elastik olmayan davranışları, doktora tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Taşdemir, C., 2003. Hafif betonların isi yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri / tmh – türkiye mühendislik haberleri sayı 427 – 2003/5.
- Taşdemir, C., Şengül, Ö., 1982. Hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri, İstanbul.
- TS 3323, 1979. Beton basınç deney numunelerinin hazırlanması, Hızlandırılmış kürü ve basınç dayanım deneyi. türk standartları enstitüsü, Ankara.
- TS 706, 1980. Beton agregaları. türk standartları enstitüsü, Ankara.
- TS 3529, TS 3526, TS 3673, TS 3527, TS 3530, TS 3814, TS EN 206-1, TS635, TS 500 TS 3114, TS 11222, TS 1226 Standartları.
- TS 802., 1985. Beton karışım hesapları. türk standartları enstitüsü, ankara.
- TS EN 197-1 “Genel çimentolar - bölüm 1: Genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, Türk standartları enstitüsü, 2002.
- TS EN 450, 1998. Uçucu küller-çimentoda kullanılan uçucu küller Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulus, İ., 2007. Ham perlit agregasi kullanılarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliğinin araştırılması, Erzurum.
- Uyan, M., Akkaya, Y., 2003. Deniz sularının karma suyu olarak beton özelliklerine etkisi türkiye hazır beton birliği hazır beton dergisi eylül – ekim 80-84s.
- Ünal, O., Yurtcu. Ş., 2007. Betonarme yapılarda hazır beton kullanımı, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2007 (1) 51 – 64.
- Yaşarer, F., 2008. Pomzalı boyalarla kaplanan ve deniz suyunda bekletilen betonların performansı.
- Yazıcı, H., 2001. Özel betonlar- hafif beton – <http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/>.
- Yazıcı, H., Türkel, S., Yiğiter, H., Aydın, S., 2003. Beton İçindeki Bağlayıcı miktarının betonun deniz suyuna dayanıklılığına etkisi.TMMOB, IMO İstanbul şubesi 5.Ulusal beton kongresi, 27-36s.
- Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2005. Pomza taşı ile elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması. Türkiye Pomza sempozyumu ve sergisi, Denizli. 153s.
- Yeğinobalı, A., 1999. Betonun Dayanıklılığı I, Fiziksel Etkenler, T.C.M.B. Cimento ve Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara.
- Yeğinobalı, A., 2001b. Katkılı beton mu, katkılı çimento mu-çimento ve beton dünyası, 5(30) 33-45s.
- Yeğinobalı, A., 2003. Çimentoda yeni standartlar ve mineral katkıları.
- Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H., 2004. C tipi uçucu kül katkılı betonların bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması.
- Yiğit, D., 1992. Perlit, DPT DİK endüstriyel hammaddeler raporu, Ankara.
- Yıldız, K., 2012. Pomza ve zeolit katkılı betonun yol kaplamalarında kullanılabilirliği ve NaCl etkisinin araştırılması/ *Journal of Advanced Technology Sciences* Vol 1, No 1, 69-79.
- Yılmaz., D. A., 2003. Yeni Kuşak Hiper Akışkankanlaştırıcı Beton Katkıları Türkiye Mühendislik Haberleri, 426:125-129.

Yörükoğulları, E., 2005. Doğal zeolitlerin karayollarında buz/kar çözücü olarak kullanımı. Anadolu üniversitesi fen fakültesi.

ÖZGEÇMİŞ

Mahyar SHOAEI, 1988 Mart ayında Zanjañ'da (İran) doğdu. İlk ve orta öğrenimini Zanjañda tamamladı. İyi bir lise eğitim ve öğretimin ardından Lisans eğitim için 2006 yılında Zanjañ AZAD Üniversitesi Mühendislik Fakültesi inşaat Mühendislik bölümünde iyi bir puan ile kazandı ve 2010 yılında mezun oldu. Yüksek Lisans için 2011 yılında Erzuruma geldi ve 2013 yılında Atatürk Üniversitenin mühendislik fakültesinden mezun oldu.