



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ZEOLİT ve SİLİKA DUMANI KATKILI BETONLARIN YÜKSEK  
SICAKLIK ETKİSİNDE MEKANİK ve GEÇİRİMLİLİK ÖZELLİKLERİ**

**NECMİ OKUMUŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya/HATAY**

**TEMMUZ-2012**

**ZEOLİT ve SİLİKA DUMANI KATKILI BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK  
ETKİSİNDE MEKANİK ve GEÇİRİMLİLİK ÖZELLİKLERİ**

**NECMİ OKUMUŞ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yrd. Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM danışmanlığında hazırlanan bu tez  
12/07/2012 aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr.  
Umur Korkut SEVİM  
Başkan

Yrd. Doç. Dr.  
Selçuk KAÇIN  
Üye

Yrd.Doç.Dr Yasin  
ERDOĞAN  
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

Prof. Dr. İlhan ÜREMİŞ  
Enstitü Müdürü

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

## İÇİNDEKİLER

|                                                                       |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                            | V    |
| ABSTRACT .....                                                        | VI   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                  | VII  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                               | VIII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                 | X    |
| 1. GİRİŞ .....                                                        | 1    |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....                                            | 5    |
| 2.1. Basınç Dayanımı .....                                            | 5    |
| 2.2. Su Emme .....                                                    | 9    |
| 2.3. Kapiler Su Emme .....                                            | 10   |
| 2.4.Yarmada Çekme Dayanımı .....                                      | 11   |
| 2.5. Diğer Deneyler .....                                             | 12   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                           | 14   |
| 3.1. Genel Bilgiler .....                                             | 14   |
| 3.1.1. Betonu Oluşturan Malzemeler .....                              | 14   |
| 3.1.1.1. Çimento .....                                                | 14   |
| 3.1.1.1.1.Çimentonun Oksitleri,Ana Bileşenleri ve Reaksiyonları ..... | 15   |
| 3.1.1.1.2. Çimentonun Hidratasyonu .....                              | 16   |
| 3.1.1.1.3 Çimentonun İnceliği.....                                    | 18   |
| 3.1.1.2. Agregalar.....                                               | 19   |
| 3.1.1.2.1.Agregada Rutubet Durumu .....                               | 19   |
| 3.1.1.2.2.Birim Ağırlık.....                                          | 20   |
| 3.1.1.2.3.Özgül Ağırlık .....                                         | 21   |
| 3.1.1.2.4 Komposite .....                                             | 23   |
| 3.1.1.2.5 Tane Boyutu veDağılımı .....                                | 23   |
| 3.1.3.Karışım ve Bakım Suyu .....                                     | 26   |
| 3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar.....     | 28   |
| 3.2.1. İnce Öğütülmüş Mineral Katkıların Sınıflandırılması .....      | 29   |
| 3.2.2.Puzolanik Malzemeler .....                                      | 29   |
| 3.2.2.1.Puzolanların Tanımı .....                                     | 29   |

|              |                                                                               |    |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2.2      | Puzolanik Malzeme Tipleri .....                                               | 30 |
| 3.2.2.3.     | Puzolanik Reaksiyonlar .....                                                  | 30 |
| 3.2.2.4.     | Puzolanik Malzemelerin Kullanılması .....                                     | 31 |
| 3.2.2.5.     | Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metodları .....                          | 32 |
| 3.2.2.6.     | Doğal ve Yapay Puzolanların Betona Mineral Katkı<br>Olarak Uygunlukları ..... | 32 |
| 3.2.3.       | Bağlayıcı Malzemeler Olarak İnce Öğütülmüş Katkılar .....                     | 32 |
| 3.2.3.1.     | Su Kireci . .....                                                             | 32 |
| 3.2.3.2.     | Duvar Harcı Çimentosu.....                                                    | 33 |
| 3.2.3.3.     | Curuf Çimentosu .....                                                         | 33 |
| 3.2.4.       | İnce Öğütülmüş Mineral Katkılar .....                                         | 33 |
| 3.2.5.       | İnce Öğütülmüş Mineral Katkıların Kullanım Amacı .....                        | 34 |
| 3.3.         | Zeolitler .....                                                               | 34 |
| 3.3.1.       | Zeolitlerin İnşaat Sektöründe Kullanım Alanları .....                         | 36 |
| 3.3.1.1.     | Türkiye’deki Doğal Zeolitler. ....                                            | 40 |
| 3.3.1.1.1.   | Önemli Zeolit Türleri .....                                                   | 40 |
| 3.3.1.1.1.1. | Analsim .....                                                                 | 40 |
| 3.3.1.1.1.2. | Şabazit.....                                                                  | 41 |
| 3.3.1.1.1.3. | Höylandit.....                                                                | 41 |
| 3.3.1.1.1.4. | Lamontit .....                                                                | 41 |
| 3.3.1.1.1.5. | Klinoptiloid .....                                                            | 42 |
| 3.3.1.1.1.6. | Nartolit .....                                                                | 42 |
| 3.4.         | Silis Dumanı.....                                                             | 43 |
| 3.4.1.       | Silis Dumanın Özellikleri .....                                               | 44 |
| 3.4.1.1.     | Silis Dumanının Fiziksel özellikleri.....                                     | 44 |
| 3.4.1.1.1.   | Renk .....                                                                    | 45 |
| 3.4.1.1.2.   | İncelik.....                                                                  | 45 |
| 3.4.1.1.3.   | Özgül Ağırlık .....                                                           | 46 |
| 3.4.1.1.4.   | Gevşek Halde Birim Ağırlık .....                                              | 46 |
| 3.4.1.1.5.   | Puzolanik Aktivite ve Su İhtiyacı.....                                        | 46 |
| 3.4.2.       | Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri ve Kompozisyonu .....                      | 47 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.Yüksek Sıcaklık Özellikleri .....                                        | 47 |
| 3.6.Beton Deneyleri .....                                                    | 51 |
| 3.6.1. Taze Beton Deneyleri.....                                             | 52 |
| 3.6.1.1.Slump (Çökme) Deneyi.....                                            | 52 |
| 3.6.2.Sertleşmiş Beton Deneyleri .....                                       | 52 |
| 3.6.2.1.Basınç Deneyi .....                                                  | 52 |
| 3.6.2.2.Basınçlı Su Geçirgenliği Deneyi.....                                 | 53 |
| 3.6.2.3.Kapilel Su Emme Deneyi.....                                          | 54 |
| 3.6.2.4.Su Emme Deneyi .....                                                 | 55 |
| 3.6.2.5.Küp Yarma Deneyi .....                                               | 56 |
| 4. MALZEME ÖZELLİKLERİ .....                                                 | 57 |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....                              | 57 |
| 4.1.1.Çimento .....                                                          | 57 |
| 4.1.2.Zeolit .....                                                           | 58 |
| 4.1.3.Su .....                                                               | 59 |
| 4.1.4.Akışkanlaştırıcı ve Özellikleri.....                                   | 59 |
| 4.1.5.Silis Dumanı.....                                                      | 60 |
| 4.1.6.Agrega .....                                                           | 61 |
| 4.1.6.1.İnce Agreg (Doğal kum).....                                          | 61 |
| 4.1.6.2.İri Agreg (Kırma Taş 4-11 cm) .....                                  | 62 |
| 4.1.6.3.İri Agreg (Kırma Taş 11-22 cm) .....                                 | 63 |
| 4.2.Deney metodları .....                                                    | 64 |
| 4.2.1.Hazırlanan Numune Tipleri.....                                         | 64 |
| 4.2.2.Deney Çalışmaları.....                                                 | 64 |
| 4.2.2.1. Yürütülen Deneyler.....                                             | 64 |
| 4.2.3. Notasyon .....                                                        | 66 |
| 4.2.4. Karışım Dizaynları .....                                              | 67 |
| 5.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....                                      | 68 |
| 5.1. Sertleşmiş Beton Numeneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları ..... | 68 |
| 5.1.1.Basınç Deneyi .....                                                    | 68 |
| 5.1.2. Yarma Deneyi .....                                                    | 71 |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 5.1.3. Su Emme .....                       | 73 |
| 5.1.4.Basınçlı Su Geçirgenliği Deneyi..... | 75 |
| 5.1.5. Kapiler Su Emme Deneyi.....         | 77 |
| 6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....               | 79 |
| 6.1.Sonuçlar .....                         | 78 |
| 6.2.Öneriler. ....                         | 82 |
| KAYNAKÇA.....                              | 83 |
| TEŞEKKÜR.....                              | 86 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                             | 87 |

**ÖZET****ZEOLİT ve SİLİKA DUMANI KATKILI BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE MEKANİK ve GEÇİRİMLİLİK ÖZELLİKLERİ**

Bu çalışmada, doğal zeolit ve silika dumanının betonun geçirimsizlik ve dayanım özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda yüksek sıcaklığın üretilen beton numunelerin dayanım ve geçirimsizlik özelliklerini nasıl etkilediği de ayrıca araştırılmıştır. Çalışmada, doğal zeolit olarak Manisa-Göğdes yöresinden elde edilen doğal zeolit kullanılmıştır. Tüm karışımlarda Su –bağlayıcı oranı 0,4 olarak sabit tutulmuştur. Doğal zeolit çimentonun yerine ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır. Silika dumanı ise ağırlıkça %8 sabit ikame oranında kullanılmış ve 7 karışım hazırlanmıştır. Üretilen 7 farklı karışımın basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, basınçlı su geçirgenlikleri, kapillarite katsayıları ve su emmeleri 28. günde test edilmiştir. Üretilen numunelerin bir kısmı ise 28. gün sonunda 450 °C sıcaklıktaki fırında 3 saat bekletildikten sonra aynı testlere tabi tutulmuştur. Deney sonuçları doğal zeolit mineral katkı olarak çimentoyla ağırlıkça %20 oranında yer değiştirilerek kullanılabileceğini göstermiştir. %10 ve %20 zeolit içeren numuneler kontrol betonuna göre düşük su geçirgenliği ve yüksek dayanım değeri vermişlerdir. %10 zeolit ve %8 silis dumanı içeren numuneler ise 28. günde en yüksek basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır. yüksek sıcaklık numunelerde dayanım kayıplarına ve geçirimsizliğin artmasına sebep olurken, zeolit ve silika dumanının bu hasarı azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

2012, 99 Sayfa

**Anahtar Kelimeler: Doğal Zeolit ,Silika dumanı, Beton, Geçirimsizlik, Mukavemet, Yüksek Sıcaklık , Yangın.**

**ABSTRACT****ZEOLITE and SILICA FUME UNDER THE INFLUENCE OF HIGH-TEMPERATURE MECHANICAL AND PERMEABILITY PROPERTIES OF CONCRETE**

A laboratory investigation was carried out to evaluate the strength and permeability properties of concrete containing natural zeolite and silica fume. In the same time, the effect of high temperature on the strength and permeability properties of concrete was investigated. The zeolite used in this study was obtained from Manisa-Gördes region. Water-binder ratio was 0.4 for all mixtures. Natural zeolite replaced the portland cement on mass basis at the replacement ratios of 0%, 10%, 20% and 30%. For the silica fume replacement ratio with cement was 8% on mass basis. In total, 7 concrete mixtures were prepared and tested for compressive strength, splitting tensile strength, water permeability, sorptivity coefficient and water absorption at 28 days. Some of the produced specimens were subjected to the same test at 28 days, after keeping them three hours in an oven at 450°C. The test results showed that natural zeolite can replace the cement 20% by mass, because concrete containing 10% and 20% zeolite developed higher strength values and lower water permeability and absorption values than control concrete. On the other hand, concrete containing 10% natural zeolite and 8% silica fume had the highest compressive strength value at 28 days. While excessive heat caused strength loss, an increased permeability in specimens with zeolite and silica fume reduced the damage.

**Keywords:** Natural zeolite, silica fume, concrete, permeability, strength, high temperature, fire



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                |                                                           |
|----------------|-----------------------------------------------------------|
| A .....        | : Kesit alanı                                             |
| B .....        | : Numune kesitinin kenar uzunluğu                         |
| L .....        | : Destek silindirleri arasındaki mesafe                   |
| (Lo).....      | : Harç numunenin ilk boy uzunluğu                         |
| (Lt) .....     | : Harç numunenin (t) gün sonra yapılan ölçümdeki uzunluğu |
| P .....        | : Uygulanan kuvvet                                        |
| Wilk .....     | : Numunenin aşınma öncesi ağırlığı                        |
| Wson .....     | : Numunenin aşınma sonrası ağırlığı                       |
| Wdyk .....     | : Doygun yüzey kuru ağırlık                               |
| Wk .....       | : Kuru ağırlık                                            |
| $\sigma$ ..... | : Eğilme dayanımı                                         |

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

Sayfa

|                                                                                                 |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Çizelge 2.1. DZ katkılı numunelerin basınç dayanımları (MPa) .....                              | 4    |
| Çizelge 2.2. Farklı Zeolit miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetleri Mpa... 5        | 5    |
| Çizelge 2.3. Harçların basınç mukavemeti (Bilim,2007).....                                      | 7    |
| Çizelge 2.4. Silis Dumanı numunelerinden 7,28 ve 90 günlük.Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm.) ..... | 10   |
| Çizelge 3.1. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları.....                | 14   |
| Çizelge 3.2. Çimentonun ana bileşenleri..... ..                                                 | 15   |
| Çizelge 3.3. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri .....                                    | 16   |
| Çizelge 3.1. Kritik sıcaklık ve dayanımda azalmanın çelik donatı türüne göre Değişimi .....     | 49   |
| Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşim.....                                        | 56   |
| Çizelge 4.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....                                    | 57   |
| Çizelge 4.3. Kullanılan Zeolitin kimyasal özellikleri..... ..                                   | 58   |
| Çizelge 4.4. Silis dumanı kimyasal ve fiziksel özellikleri..... ..                              | 59   |
| Çizelge 4.5. Beton numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi sonuçları.....                  | 60   |
| Çizelge 4.6. Beton numunelerde kullanılan (5-11 mm) agregaya ait elek analizi sonuçları .....   | 61   |
| Çizelge 4.7. Beton numunelerde kullanılan (11-22mm) agregaya ait elek analizi Sonuçları .....   | 62   |
| Çizelge 4.8. Notasyon .....                                                                     | 66   |
| Çizelge 4.9. Karışım dizaynları.....                                                            | 66.. |
| Çizelge 5.1. Basınç Deneyi Sonuçları (Kürden çıkarılan numuneler).....                          | 67   |
| Çizelge 5.2. Basınç Deneyi Sonuçları (450 °C sıcaklığa maruz numuneler).....                    | 68   |
| Çizelge 5.3. Yarma Deneyi Sonuçları (Kürden çıkarılan numuneler).....                           | 70   |
| Çizelge 5.4. Yarma Deneyi Sonuçları (450°C sıcaklığa maruz numuneler).....                      | 70   |
| Çizelge 5.5.Su Emme Deneyi Sonuçları (Kürden çıkarılan numuneler) .....                         | 72   |
| Çizelge 5.6. Su Emme Deneyi Sonuçları (450 °C sıcaklığa maruz numuneler).....                   | 72   |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 5.7. Basınçlı Su Geçirgenliği Deney (Kürden çıkarılan numuneler).....       | 74 |
| Çizelge 5.8. Basınçlı Su Geçirgenliği Deney (450 °C sıcaklığa maruz numuneler)..... | 74 |
| Çizelge 5.9. Kapiler Su Emme Katsayıları (Kürden çıkarılan numuneler).....          | 76 |
| Çizelge 5.10. Kapiler Su Emme Katsayıları (450 °C sıcaklığa maruz numuneler) .....  | 76 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3. Agrega tanelerinin içerdikleri su durumu .....                     | 19 |
| Şekil 3.2. Birim ağırlığın belirlenmesi.....                                | 20 |
| Şekil 3.3. Özgül ağırlığın belirlenmesi .....                               | 21 |
| Şekil 3.4. Elek Analizi İçin kullanılan Elekler.....                        | 23 |
| Şekil 3.5. Analsim ...(Anonymous, 2007).....                                | 40 |
| Şekil 3.6. Şabazit ...(Anonymous, 2007) .....                               | 40 |
| Şekil 3.7. Höylandit (Anonymous, 2007). ....                                | 40 |
| Şekil 3.8. Lamontit (Anonymous, 2007). ....                                 | 41 |
| Şekil 3.9.Klinoptilolit (Anonymous, 2007) ...                               | 41 |
| Şekil 3.10. Nartolit (Anonymous, 2007). ....                                | 41 |
| Şekil 3.11. Slump (Çökme) Deneyi .....                                      | 51 |
| Şekil 3.12. Basınç Dayanımı Test Cihazı .....                               | 52 |
| Şekil:3.13. Basınçlı Su Geçirgenliği .....                                  | 53 |
| Şekil 3.14. Küp Yarma Deneyi .....                                          | 55 |
| Şekil 4.1. Beton numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi grafiği... .. | 60 |
| Şekil 4.2. Agrega Elek Analizi (5-11 mm) ... ..                             | 61 |
| Şekil 4.3. Agrega Elek Analizi (11-22 mm) .....                             | 63 |
| Şekil 5.1. Basınç Dayanımları.....                                          | 69 |
| Şekil 5.2. Yarma deneyi grafiği .....                                       | 71 |
| Şekil 5.3. Su emme deneyi sonuçları ... ..                                  | 73 |
| Şekil 5.4. Basınçlı su geçirgenliği grafiği... ..                           | 75 |
| Şekil 5.5. Kapiler su emme yükseklikleri .....                              | 77 |

## 1.GİRİŞ

Günümüzde, çimento endüstrisi gün geçtikçe gelişmekte ve ilerlemektedir. Çimento klinkeri üretim teknolojisi ekolojik olarak zararlı ve enerji tüketimi yüksektir. Doğaya zararlı olan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  ve  $\text{SO}_3$  gibi gazların portland klinkeri üretiminde yüksek miktarda ortaya çıkması ve yayılması çevreye büyük oranda zarar vermektedir. (Yeginobalı vd., 2000). Hem çevresel zararlı etkilerin azaltılabilmesi hem de çimento üretiminin daha düşük maliyetli olması için hidrolik çimentolara pozolan katılmaktadır. Zeolitte bu pozolanlardan birtanesidir, zeolitin doğal mineral katkı olarak kullanımının sebebi; yüksek iyon değişim kapasitesi, moleküler elek olma özelliği, yüksek silis bileşimine sahip olması, düşük yoğunluğu ve kristal yapısı bozulmadan dehidratasyona uygunluğudur. Bu özellikler zeoliti diğer mineral katkılardan üstün kılmaktadır. Zeolitin moleküler elek olması zeolitin öğütülmesini kolaylaştırmakta, özgül yüzeyinin normal portland çimentosunun özgül yüzeyinden yüksek olması beton içinde boşlukların azalmasını sağlamaktadır. Zeolitin çimento'dan düşük yoğunluğa sahip olması, betonun birim ağırlığını da düşürmekte ve normal betona göre birim ağırlığı daha düşük betonlar elde edilmektedir(Yeginobalı vd., 2000).

1756 yılında Cronstedt tarafından, ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyu dışarı çıkartırken köpürmelerinden dolayı “kaynayan taş” olarak isimlendirilen zeolitler, alkali ve toprak alkali, kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlar olarak tanımlanır (Dpt, 1996). Dünya nüfusunun artması, basit ve tek katlı yapılar yerine, karmaşık ve çok katlı yapıların kullanımının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bina yüksekliği ve kat sayısı arttıkça, kullanılan malzemenin niteliği de önem kazanmaktadır (Erdem vd., 1997). Aynı zamanda klinker üretiminde çok fazla miktarda enerji tüketilmektedir. Hızla büyüyen dünya nüfusu ve teknolojik gelişmeler son yüzyılda enerjiye olan ihtiyacı bir kat daha arttırmıştır. Bu ihtiyacın artışı karşısında enerji kaynaklarının sınırlı ve üretiminin masraflı oluşu insanları mevcut enerjiyi optimum kullanımı konusunda arayışlara yönlendirmiştir (Sarıkaya, 2006). Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak pozolanlı çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir (Erdem vd., 1997). Doğal zeolitlerin kullanılmasıyla elde edilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliği ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin hem ilk yatırımlarında hem de yapıların kullanımları

süresince ortaya çıkan enerji harcamalarında önemli tasarruflar sağlayacaktır (Bektaş vd.,2003). Çimento üretiminde harmanlama veya yüksek miktarda mineral katkı kullanımı çimento üretimini ekolojik açıdan daha kabul edilebilir bir seviyeye getirmektedir (Kim, 1996). Bu amaçla yapılan çalışmalar da beton ve betonu oluşturan malzemelerin niteliğinde değişkenlikler yaparak olası gaz salınımlarını azaltmak, ekonomi sağlamak gibi çimento üretimini daha uygun şartlara getirmek için yeni malzemeler kullanılmaktadır, zeolit'te bu malzemelerden bir tanesidir.

## **Zeolit**

Zeolit doğal ya da yapay olmak üzere atomik düzeyde gözenekli yapıya sahip sulu alümina silikat bileşiklerine verilen isimdir. İlk olarak İsveç'li mineralog Fredrick Cronstedt tarafından 1756 yılında bulunmuştur. Bu kristaller ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun köpürmesinden dolayı Yunanca kaynayan taş anlamına gelen Zeolit adını almıştır.

1756 yılında İsveçli kimyacı ve mineralog Frederic Cronstedt' in bir bakır madeninde yeni bir mineral bulmasıyla tanımlanan doğal zeolitler iki asır boyunca yalnızca volkanik kayaların boşluklarında yer alan mineraller gözüyle bakılmış ve kristal yapının analizi yapılmamıştır. Zeolitler üzerinde ilk deneysel çalışmalar 1857 yılında A. Dumour tarafından yapılan zeolitlerin su tutma tersinirliği ile 1858 yılında E. Erchorn' un gerçekleştirdiği iyon değişim özelliklerinin incelenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Dünya zeolit rezervlerini tam olarak tespit edilmiş rakamlarla vermek mümkün değildir. Dünyada zeolit oluşumları 1950' lerden sonra saptanmaya başlamış ve hemen hemen bütün kıtalarda yaygın olarak görülmüştür. Yeryüzünde sedimanter kayalarda en fazla klinoptilolit mevcut olmakla birlikte, en az onun kadar ticari değeri olan mordenit, filipsit, şabazit, erionit ve analsim minerallerine de oldukça sık rastlanmaktadır. Zeolit konusunda rezerv miktarlarından ziyade, tespit edilen oluşumlarından mineralojik-kimyasal-fiziksel detay araştırmalarının yapıp yapılmadığından bahsetmek daha yerinde olacaktır. Çünkü özellikle volkanosedimanter bölgelerde tesbit edilen zeolit

oluşumları, en kaba tahminler ile ve tüm sınır değerleri en düşük seviyelerde tutulsa bile milyar ton' lar ifade edilebilen yayılmalara sahiptir. Bu tip jeolojik bölgelere sahip ülkelerin birçoğu yüksek zeolit rezervlerine sahiptir. Bu durumda teknolojik parametreler açısından araştırmalarını tamamlamış ülkeler sanki dünya ülkeleri arasında en büyük rezervlere sahip gibi görünmektedir. Bu değerlendirmeler çerçevesinde önemli zeolit üreticisi olan Küba, Eski SSCB, A.B.D, Japonya, İtalya, Güney Afrika, Macaristan ve Bulgaristan' ın önemli rezervlere de sahip olduğu söylenebilir.

Ülkemiz ise doğal zeolitler açısından ideal jeolojik ortamlara sahip olmasına rağmen, ülkemizde ilk defa 1971 yılında Gölpazarı-Göynük civarında analsim oluşumları saptanmıştır. Daha sonra Ankara'nın batısında analsim ve klinoptilolit yatakları bulunmuştur. Volkan tortul oluşumlarının gözlenebildiği ülkemizde daha çok klinoptilolit ve analsim türleri yoğunlukta olup diğer türlere çok az rastlanılmıştır. Türkiye' de detaylı etüdü yapılmış tek zeolit sahası Manisa –Gördes civarındaki MTA ruhsatlı sahadır. Sahada 18 milyon ton görünür zeolit rezervi ve 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi tespit edilmiştir. Balıkesir-Bigadiç bölgesinde ise, Türkiye'nin en önemli zeolit yataklanmaları tespit edilmiş olup kolaylıkla işletilebilir. Nitelikte yaklaşık 500 milyon ton rezerv 1995 yılında tahmin edilmektedir. Diğer bölgelerde detaylı bir çalışma yapılmamış olup, ülkemiz genelinde toplam rezervin 50 milyar ton civarında bulunduğu tahmin edilmektedir.

Ülkemizde kesin doğal zeolit rezerv tespit çalışması bulunmamaktadır. Bunun başlıca nedeni, henüz bilinen zeolit oluşumlarının birçoğunda volkan içerisindeki zeolit zonlarının sınırlarının belirlenmemiş olmasıdır. Ancak, Gördes, Bigadiç, Emet, Kırka ve Karamürsel gibi bazı bölgeler için gerek zeolit zonları gerekse kayaç içerisindeki zeolit oranları ile ilgili yapılan ayrıntılı çalışmalar milyarlarca ton zeolit tüf rezervini ortaya koymuştur. Özellikle Gördes ve Bigadiç'de kayaç içerisindeki zeolit oranı ortalama % 80 civarındadır. Türkiye' deki yatakların büyüklüğü ve kalitesine rağmen işletilebilirliği ve kullanım alanları üzerindeki bilgilerin azlığı, zeolit kaynaklarının değerlendirilmesine engel olmaktadır. Dünyada doğal zeolitlerin kullanımı ve üretimi hızla gelişmekte ise de ülkemizde bu zamana kadar, zeolit üretimi yapılmamıştır.

Bu çalışmada, doğal zeolit ve silika dumanının betonun geçirimsizlik ve dayanım özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda yüksek sıcaklığın üretilen beton numunelerin dayanım ve geçirimsizlik özelliklerini nasıl etkilediği de yapılan deney ve araştırmalarla belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan , doğal zeolit Manisa-Gördes yöresinden temin edilmiştir. Tüm karışımlarda Su /bağlayıcı oranı 0,4 olarak sabit tutulmuş ve hazırlanan karışımlar arasında ki oran slup(çökme ) deneyi yardımıyla akışkanlaştırıcı kullanılarak karışımların çökmeleri  $18\pm 2$  cm de sabit tutularak hazırlanmıştır. Karışımlarda hazırlanan numune türleri , %0 ile şahit numune, %10, %20 ve %30 oranında zeolit kullanılarak M1, M2, M3 numuneleri ve %10, %20 ve %30 zeolit + %8 oranında her karışıma ağırlıkça sabit konulan silika dumanı ile hazırlanan M5,M6 ve M7 numuneleri olmuş ve toplamda 7 farklı karışım hazırlanmıştır. Üretilen 7 farklı karışımın basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, basınçlı su geçirgenlikleri, kapilarite katsayıları ve su emmeleri 28. günde test edilmiştir. Üretilen numunelerin bir kısmı ise 28. gün sonunda 450 °C sıcaklıktaki fırında 3 saat bekletildikten sonra aynı testlere tabi tutulmuştur. Deney sonuçları doğal zeolitinin mineral katkı olarak çimentoyla ağırlıkça %20 oranında yer değiştirilerek kullanılabileceğini göstermiştir. %10 ve %20 zeolit içeren numuneler kontrol betonuna göre düşük su geçirgenliği ve yüksek dayanım değeri vermişlerdir. %10 zeolit ve %8 silis dumanı içeren numuneler ise 28 günde en yüksek basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır. Yüksek sıcaklık numunelerde dayanım kayıplarına ve geçirimsizliğin artmasına sebep olurken,zeolit ve silika dumanının bu hasarı azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Doğal zeolitin betonda kullanımı ile ilgili literatürde çok fazla sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmı burada verilmektedir. Bu tez çalışmasını konu alan literatür bilgileri tarandığı zaman, yapılan çalışmaları şu şekilde toplayabiliriz.

### 2.1. BASINÇ DAYANIMI

Öz (2006), yapmış olduğu çalışmada ; hazırlanan numunelerde DZ (doğal zeolit) miktarı arttıkça basınç dayanımı değerleri azaldığını bildirmiştir.

Çizelge 2.1. DZ katkılı numunelerin basınç dayanımları (Mpa)

| Kür süresi                | DZ Oranı (%) |      |      |      |
|---------------------------|--------------|------|------|------|
|                           | 0            | 10   | 20   | 30   |
| 3 günlük basınç dayanımı  | 21,6         | 15,6 | 13,2 | 6,9  |
| 7 günlük basınç dayanımı  | 32,5         | 26,5 | 19,7 | 13,2 |
| 28 günlük basınç dayanımı | 34,7         | 32,8 | 30,4 | 17,7 |
| 90 günlük basınç dayanımı | 47,7         | 38,4 | 36,5 | 27   |

Basınç dayanımdaki azalmaların erken yaşlarda çok yüksek olduğu görülmüştür. Fakat kür süresi arttıkça basınç dayanımındaki azalma oranları düşmektedir.

Karaüç (2008), Yaptığı çalışmada, çimento yerine karışıma farklı oranlarda uçucu kül veya zeolit katılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinden yürütülen deney sonuçları esas alındığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır;

ZEOb(%10); (ZEOb:Bağlayıcı miktarındaki zeolit oran) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %5 fazla, ZEOb (%20) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %7 fazla, ZEOb (%30) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %5 daha azdır. Bu sonuçlara gösteriyor ki: %10 oranlı zeolit’li karışım, hem ekonomiklik olarak hem de kalite olarak bizlere avantaj sağladığını söylemektedir..

Çizelge 2.2. Farklı Zeolit miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetleri (Mpa), (Karaüç 2008)

| Beton Türü    | 7 günlük |       | 28 günlük |       | 90 günlük |       | 365 günlük |   |
|---------------|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|---|
| Şahit beton   | 49,17    | 51,49 | 51,74     | 53,44 | 57,83     | 59,26 | 62,44      | - |
| (%10)<br>ZEOb | 51,22    | 52,74 | 52,48     | 54,93 | 59,84     | 61,82 | 65,33      | - |
| (%20)<br>ZEOb | 48,12    | 50,95 | 52,21     | 53,24 | 57,05     | 58,24 | 63,24      | - |
| (%30)<br>ZEOb | 47,52    | 49,83 | 50,84     | 52,49 | 56,45     | 57,12 | 61,18      | - |

Şişman ve ark. (2008), Hafif beton üretiminde doğal zeolit kullanılabiliirliği üzerine yaptıkları çalışma sonucunda, üretilen hafif betonların basınç dayanımının oldukça yüksek çıkması, bu betonların taşıyıcı elemanlarda da kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle tarımsal yapıların tek katlı olmaları ve yapı yükünün az olması nedeniyle rahatlıkla taşıyıcı elemanlarda kullanılması düşünülebilir. Ayrıca birim ağırlığının normal betona göre % 40 daha düşük olması nedeniyle yapı yükünün daha azaltılması sağlanmış olacaktır. Bu sayede gerek malzeme tasarrufu, gerekse çeşitli doğal afetler sonucunda tarımsal yapılarda karşılaşılan büyük can ve mal kayıplarının azaltılabileceğini de ifade etmiştir.

Bilim (2011), ZSDÇ (zeolit ve silis dumanı katkılı çimento) harçlarına ait basınç mukavemeti değerleri aşağıda Çizelge 2.3 ‘te verilmiştir. Beklendiği üzere, harç karışımlarının basınç mukavemeti tüm ikame oranları için geçen zamanla birlikte artış gösterdiğini ifade etmiştir. Kontrol harcının basınç mukavemeti, 2. günde 21.85 Mpa, 7.

günde 32.37 Mpa, 28. günde 43.90 Mpa, 56.günde 50.00 Mpa ve 90.günde 51.20 Mpa olmuş. ZSDÇ harçlarının basınç mukavemetleri ise, 2. günde 10.27 Mpa ila 22.36 Mpa, 7. günde 25.91 Mpa ila 42.82 Mpa, 28. günde 44.88 Mpa ila 62.02 Mpa, 56. günde 52.03 Mpa ila 67.56 Mpa ve 90. gün sonunda ise 54.66 Mpa ila 71.28 Mpa arasında değiştiğini özellikle, ZSDÇ5 ve ZSDÇ10 harçlarından 2. gün sonunda elde edilen basınç dayanımı, kontrol karışımına eşdeğer olurken, ZSC15 karışımından itibaren dayanımlarda düşüşler meydana geldiği gözlemlenmiştir. ZSDÇ5 ve ZSDÇ10 harçlarının kontrol karışımına kıyasla gösterdiği 2 günlük bu yüksek erken mukavemetin, zeolit ve silis dumanının sahip olduğu yüksek özgül yüzey değeri ile ilişkili olduğu ve %15 yer değişim seviyesinden itibaren ortaya çıkan bu düşüşlerin ise ortamda yeterli miktarda  $\text{Ca(OH)}_2$  bulunmamasından kaynaklandığı söylenebilir. 7. günde, %20'ye kadar yapılan zeolit yer değişimi, ZSDÇ harçlarının basınç dayanımlarını kontrol karışımına kıyasla arttırırken, %30 zeolit içeren harcın basınç dayanımı ise kontrol karışımından biraz daha düşük olmuş. Diğer taraftan, kür süresinin artması ile birlikte, zeolit+silis dumanı içeren harçların performansında dikkat çekici bir artış meydana gelmiş ve gelişen puzolanik reaksiyonlara bağlı olarak ZSDÇ harçlarının 28, 56 ve 90 gün sonundaki basınç dayanımları, tüm yer değişim seviyeleri için kontrol karışımından daha yüksek olmuştur. Meydana gelen puzolanik reaksiyonlar neticesinde, kapiler boşlukların azalması ve hamur-agrega ara yüzeyinin iyileşmesi, ZSDÇ harçlarının dayanımlarında görülen bu gelişmenin sebebi olarak düşünülmektedir.

Çizelge 2.3 .Harçların basınç mukavemeti (Bilim 2007)

| Karışım | Basınç mukavemeti (Mpa) |       |        |        |        |
|---------|-------------------------|-------|--------|--------|--------|
|         | 2 gün                   | 7 gün | 28 gün | 56 gün | 90 gün |
| Kontrol | 21,85                   | 32,37 | 43,9   | 50     | 51,2   |
| ZSDÇ5   | 22,36                   | 42,17 | 58,97  | 61,23  | 65,7   |
| ZSDÇ10  | 20,73                   | 42,82 | 62,02  | 67,56  | 71,28  |
| ZSDÇ15  | 17,02                   | 39,59 | 58,51  | 66,41  | 70,25  |
| ZSDÇ20  | 14,75                   | 34,74 | 54,25  | 58,94  | 60,89  |
| ZSDÇ30  | 10,27                   | 25,91 | 44,88  | 52,03  | 54,66  |

Feng. (1990), Zeolitik mineral katkılı yüksek dayanımlı ve akışkan betonlarda ağırlıkça % 10 oranında çimento yerine zeolit ve karışımın %31–35 arasında süper akışkanlaştırıcı katılırsa beton dayanımı 80 Mpa ve çökmesi 18 cm olmaktadır. Bu dayanım, normal portland çimentolarının basınç mukavemetini %10’dan, % 15’e kadar çıkartmaktadır. Aynı zamanda kanama ayrışma da olmadığını ifade etmektedir.

Sancak ve Şimşek (2006), Yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklık etki altında silis dumanı katkılı beton üretim ağırlık kaybı ve basınç mukavemeti değerlerini incelemiş ve sonuçta; Hafif ve normal betonların basınç dayanımları 100°C’ye kadar önemli oranda azalma göstermemiş, hatta bir miktar artış göstermiştir. Sıcaklık 800°C ve 1000°C’lere çıkarıldığında, katkılı ve katkısız hafif betonlar, bağıl olarak normal betonlardan daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir

Topçu ve Canbaz (2009), Beton numuneleri üzerinde yapılan 28 günlük basınç dayanım deneyleri sonuçlarına göre, PKÇ/B 32.5R ile üretilen 400 dozajlı betonlara % 15 SD katılması durumunda basınç dayanımlarında % 12 artış gözlemlediğini bildirmişlerdir. KÇ 32.5 ile üretilen 350 dozajlı betonlarda % 5 SD katılması durumunda basınç dayanımlarında %8, 400 dozajlı betonlarda % 10 SD kullanılması durumunda ise basınç dayanımlarında % 10 artış olduğunu belirtmişlerdir.

## 2.2. SU EMME

Sarıkaya (2006), Zeolitin su emme yüzdesi, Atabey agregasına (karışımında kullanılan agreganın gölgesel ismi) göre yüksek çıkmıştır. Normal agreganın 4 mm alt değerinin % 5 çıkmasına rağmen zeolitin su emme yüzdesi % 30 çıkmıştır. Üretilen betonlardaki zeolit miktarı arttıkça su emme değeri de artmıştır.

Şişman ve ark.(2008), yapmış oldukları çalışmada zeolitin hafif beton üretiminde kullanılması durumunda su emme oranları açısından da olumlu katkısı olacağını ifade etmişlerdir. Su emme oranlarının %8 in altında kalması ve diğer hafif agregalara göre çok daha düşük olması zeolit ile üretilen hafif betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Özellikle sıva da kullanılması ile hem su emme açısından yeterli bir dayanıklılık sağlanmış olacak hem de ısı yalıtımının artırılması ile yapı içerisindeki çevre koşullarına olumlu bir etki yapılmış olacağını ifade etmişlerdir.

Bilim (2011), ZSDÇ (zeolit ve silis dumanı katkılı çimento) harçlarının su emme oranları, %4.42 ila %9.88 arasında değişmiş, porozite değerleri ise %9.92 ila %20.91 aralığında yer almıştır. Bu sonuçlardan, ZSDÇ harçlarının 28 günlük su emme oranı ve porozite değerlerinde yükselen zeolit ikame oranı ile birlikte bir artış meydana geldiği görülmektedir.

Topçu ve Canbaz (2009), Beton numuneleri üzerinde yapılan ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri sonuçlarına göre; PKÇ/B 32.5R ile üretilen 400 dozajlı betonlara % 15 SD katılması durumunda ağırlıkça su emme oranı % 2, hacimce su emme oranında % 1 azalma gözlenmiştir. KÇ 32.5 ile üretilen 350 dozajlı betonlarda % 5 SD katılması durumunda ağırlıkça su emme oranı % 6, hacimce su emme oranı % 5, 400 dozajlı betonlarda % 10 SD kullanılması durumunda ise ağırlıkça su emme oranı % 17, hacimce su emme oranı % 13 azalmıştır.

### 2.3. KAPİLER SU EMME

Emiroğlu ve ark. (2011), Yapmış oldukları çalışmada; birim alanda emilen su miktarlarının (Q/A) kareleri ve kapiler su emme süreleri (t) arasında gerçekleştirilen regresyon analizi ile belirlenen regresyon katsayılarının regresyon grafiği çizilmiş ve eğimlerinden kapilerite katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayıların ortalamaları alınarak her bir beton numunesinin kapilerite katsayıları belirlenmiş ve üretilen betonlara ait kapiler su emme deney sonuçlarına ait ortalama kapilerite katsayıları verilmiştir. Kapilerite katsayıları referans beton, %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonlar için sırasıyla  $2,93 \cdot 10^{-6}$ ,  $9,8 \cdot 10^{-6}$ ,  $10,06 \cdot 10^{-6}$  ve  $10,06 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre en küçük kapilerite katsayısı referans betonda görülürken en yüksek kapilerite katsayısı ise %20 ve %30 YFC ikameli beton numunelerinde görülmüştür.

Dorum ve Yıldız (2011), Çalışmalarında Ege yöresine ait 0/2mm-2/4mm kırma kum, 4/8mm-8/16mm bazalt türü kırmataş agregası ile CEM I 42,5 çimentosu, Nevşehir yöresine ait Pomza, Balıkesir-Bigadiç yöresine ait Zeolit ve Glenium 51 tipi süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Tek tip agrega gronülometrisi kullanımı yoluna gidilmiştir. YDB (yüksek dayanımlı beton) karışım tasarımı için TS 802 ve ACI 211,1 standartlarında belirtilen yöntem ve YDB kriterlerini içeren literatür dikkate alınarak karışıma girecek malzeme miktarları belirlenmiştir. Karışım hesabı programı verileri kullanılarak,  $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$  ebadında üretilen silindirik YDB numuneleri 24 saat sonunda kalıplarından çıkarılarak, sirkülasyonlu kür tankında,  $23 \pm 2$  ,0C kirece doymun suda 28, 56, ve 90 gün süreyle kür edilmiştir. Bu süreler sonunda, numuneler üzerinde kapiler su emme (TS 4045) sonuçları; Kapiler su emme verilerine göre Pomza ikame oranının olduğu gözlenmiştir. Kapiler su emme verilerine göre Pomza ikame oranının artmasına karşın, Zeolit miktarının düşürülmesi sonucunda, 28. günde sırasıyla %68,617 artış, %63,176 düşüş ve %339,61 artış olduğu, 56. günde sırasıyla %1006,06 artış, %83,08 düşüş ve %419,79 artış olduğu, 90. günde sırasıyla %615,28 artış, %89,06 düşüş ve %405,89 artış olduğu gözlemlenmiştir.

## 2.4. YARMADA ÇEKME DAYANIMI

Demir(2009), Üretilen beton numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımları Çizelge 2.4.'de verildiği gibidir. Betonların yaşı arttıkça yarmada çekme dayanımlarda da artış görülmektedir.

Çizelge 2.4. Silis Dumanı numunelerinden 7, 28 ve 90 günlük Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

| Katkı miktarı | Silis Dumanı |        |        |
|---------------|--------------|--------|--------|
|               | 7 gün        | 28 gün | 90 gün |
| 0%            | 33,56        | 36,79  | 38,55  |
| 5%            | 34,63        | 38,77  | 40,34  |
| 10%           | 37,29        | 42,32  | 44,73  |
| 15%           | 38,67        | 43,37  | 45,28  |
| 20%           | 39,36        | 44,03  | 46,74  |
| 25%           | 39,05        | 43,89  | 46,5   |

Tablo 2.4'de görüldüğü gibi 7 günlük yarmada çekme dayanımları incelendiğinde; silis dumanı yarmada çekme dayanımının artmasını sağlamıştır. %10'a kadar yapılan ikame miktarında uçucu kül ve silis dumanı arasında çok fazla bir fark oluşturmamış, genel olarak yarmada çekme dayanımları birbirine yakın çıkmıştır. Bu grupta en yüksek yarmada çekme dayanımını SDB 20 (%20 Silis Dumanlı ikameli beton) 4.34 N/mm<sup>2</sup> beton numunesi vermiştir. SD oranı %20'ye kadar arttıkça yarmada çekme dayanımlarının arttığı görülmektedir.

## 2.5. DİĞER DENEYLER

Kıbaroğlu (2007), Zeolit puzolan olarak en önemli uygulama alanı, sürekli yer altı suyu korozyonuna maruz yerlerde hidrolik çimento olarak kullanılabileceğini söylemiştir. Zeolit katkı stabiliteyi sağlamaktadır. Zeolit materyalin kullanıldığı en çarpıcı örnek 1912 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde 386 km uzunluğundaki su kanalı imalidir. Yapım için gerekli olan Portland çimento miktarının yaklaşık % 25'inin zeolit katkılı çimento ile sağlanması yaklaşık 1.000.000\$'lık bir kazanç sağlamıştır.

Kıbaroğlu (2007), Eski Bizanslıların Napoliten yeşil tüfleri yol, su kanalları ve kentsel binaların yapımında kullanmaları puzolanik materyalin ilk ve yoğun kullanıldığı en eski dönemlerdir. İtalya'nın diğer bölgeleri ve Almanya'daki \_zelli bölgesindeki benzer özelliklerdeki altere tuf ve volkanik küller, bu dönemde Romalılar tarafından bütün Avrupa'nın çimento üretiminde kullanılmak amacıyla işletilmişlerdir. Zeolitik puzolanlar, son beton ürünün daima olarak yer altı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin su altyapılarda kullanılacak puzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmelerindendir.

Recumijk (1974), bilinen zeolit uygulamalarının en önemlilerini şöyle özetlemiştir: Zeolitler; düzenli kafes yapıda olup çok önemli bir iyon değiştirme özelliği vardır. Toz veya kayaç halde bulunabilirler. Silisyum, alüminyum oranına bağlı olarak kafes yapılı silisçe zengin zeolitler daha stabildir, sulu solüsyonlarda Ph 4–12 arasında değişir. Zeolitlerdeki iyon değişim mekanizması diğer materyallerden farklıdır. Zeolitler radyoaktif iyonların tekrar elde edilmelerinde de kullanılmaktadırlar. Adsorbsiyon; dehidrat zeolitler pekiyi iyon tutucu özelliktedir. Değişik moleküler boyuttaki bileşiklerin karışımını ayırmada özel por boyutları rol oynar. SO<sub>2</sub> gazının kirletilmiş havadan uzaklaştırılmasında mordenit gibi zeolitler yararlı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca zeolitler sigara filtrelerinde cıva buharının uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Zeolitler geniş olarak katılar ve sıvılar ve doğal gazlar için de kurutucu olarak kullanılır. Zeolit ve adsorbe edilmiş ürünün yeniden elde edilmesi ısıtma veya diğer bir adsorbe



edici ile yer değiştirilmesiyle başarılı bir sonuç elde edilebilmektedir. Katalizör olarak zeolitlerden çeşitli katalitik reaksiyonlarda aktif olarak yararlanılmaktadır. Kaolinit gibi zeolitler de kâğıtların beyazlaştırılmasında ve yumuşak dolgu maddesi olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca inşaat materyallerinde de başarı ile kullanılır. Yalnız su dengesi etki ettiğinden bu tip inşaat materyallerinde kafes yapılı zeolitlerin kullanılmamasına dikkat edilmelidir.

Feng, (1990), Zeolitik mineral katkılı yüksek dayanımlı ve akışkan betonlarda, % 10 oranında çimento yerine zeolit katılıp ve karışımın %31–35 arasında süper akışkanlaştırıcı katılırsa beton dayanımı 80 Mpa ve çökmesi 18 cm olmaktadır. Bu dayanım, normal portland çimentolarının basınç mukavemetinin %10'dan % 15'e kadar çıkartmaktadır. Aynı zamanda kanama, ayrışma da olmamaktadır.

Oymael ve ark.(2007), Üretimlerinde puzolanlı çimento kullanılan mikrobetonlar da sülfatlara dayanıklılık ile ilgili yapılan bir çalışmalarında, PKÇ 32,5/B-M (CEM II/B-M) çimentosu ve özelliğe kumla 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik numuneler üzerinden sülfatlara dayanıklılık konusu araştırılmıştır. %0, %5, ve % 10'luk konsantrasyonlardaki  $MgSO_4$  ve  $Na_2SO_4$  çözeltilerinde 28 gün saklanan numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın orijinalliği mikrobeton numunelerin ilk gün sonrası sülfatlara konmuş olmasıdır. Söz konusu çalışmada  $MgSO_4$  10 çözeltisindeki numunelerin  $Na_2SO_4$  içindekilerden daha fazla yıpranmış olduğu, bu yıpranmanın basınç dayanımlarına yansımış olduğu görülmektedir.

Kıbaroğlu (2007), Eski Bizanslıların Napoliten yeşil tüfleri yol, su kanalları ve kentsel binaların yapımında kullanmaları puzolanik materyalin ilk ve yoğun kullanıldığı en eski dönemlerdir. Puzolan çimento ve beton endüstrisinde; zeolitik tüf yatakları birçok ülkede puzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolitik puzolanlar, son beton ürünün daima olarak yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin su altyapılarda kullanılacak puzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmelerindendir.

### **3. MATERİYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Genel Bilgiler**

##### **3.1.1. Betonun Oluşturan Malzemeler**

Beton: su, çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin de kullanılması ile elde edilen, düşük teknoloji ile üretilen ve oldukça yaygın kullanım alanına sahip ucuz bir yapı malzemesidir. İri agregası olmayan beton ise harç olarak tarif edilmektedir. Sadece çimento ve sudan ibaret karışım ise çimento hamuru olarak tabir edilmektedir(Erdoğan, 2003).

Aşağıda betonu oluşturan malzemeler hakkında genel bilgiler verilmektedir.

##### **3.1.1.1. Çimento**

Çimento, su ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Çimento ve su birleştiği takdirde, çimento hamuru denilen yumuşak, plastik bir karışım ortaya çıkar. Çimento ve su birleştiği andan itibaren ekzotermik, yani ısı veren türden reaksiyonlar başlamakta ve bu reaksiyonların devam etmesi neticesinde de, plastik durumdaki çimento hamuru giderek sertleşip, dayanımı artan bir yapıya kavuşmaktadır(Erdoğan, 1995).

Çimento hamurunun başlangıçta gösterdiği plastik özellik nedeniyle, taze beton da plastiklik göstermektedir. Bu özellik sayesinde, taze betonu karıştırmak, kalıplara taşıyıp yerleştirmek ve sıkıştırmak kolaylıkla mümkün olabilmektedir. Çimento hamurunun zamanla sertleşme özelliği sebebiyle, betonda da zamanla sertleşme ve dayanım kazanma meydana gelmekte, istenilen şekilde sert bir “sunı taş” elde edilmektedir(Erdoğan, 1995).

### 3.1.1.1.1. Çimentonun Oksitleri, Ana Bileşenleri ve Reaksiyonları Portland Çimentosunun Oksitleri

Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları.

Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları

| Oksit           | Sembol                             | Çimento kimyasına göre sembolü | Miktar (%) |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------|------------|
| Kireç           | CaO                                | C                              | 60-67      |
| Silis           | SiO <sub>2</sub>                   | S                              | 17-25      |
| Alümin          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | A                              | 3-8        |
| Demir Oksit     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | F                              | 0,5-6      |
| Kükürt Trioksit | SO <sub>3</sub>                    | <u>S</u>                       | 1-3        |
| Magnezyum Oksit | MgO                                | M                              | 0,1-4      |
| Alkaliler       | Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O | N+K                            | 0,2-1,3    |

Çimento kimyasına göre su, H<sub>2</sub>O, sadece H harfiyle gösterilmektedir. Bu durumda kalsiyum hidroksit, Ca(OH<sub>2</sub>), sadece CH ve alçıtaşı CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ise CSH<sub>2</sub> olarak ifade edilmektedir.Çimento içerisinde çok küçük miktarlarda yer alan magnezyum oksit (MgO) ve alkalilerin (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) çimentoya hiçbir faydası yoktur. Bunlar çimento içerisinde fazla miktarlarda yer aldıklarında zararlı olabilecek hacim artışları gösterebilirler. Bunların zararlı olabileceği halde çimento içerisinde yer almasının nedeni, ekonomik olarak bunlardan kurtulmanın mümkün olmayışıdır (Erdoğan 1995).

Yukarıda gösterilen oksitler, döner fırın içerisinde reaksiyona girdiklerinde çimentonun ana bileşenlerini meydana getirirler. Bu bileşenler karma oksitler olarak

adlandırılır ve aynı zamanda klinkerin de ana bileşenleridir. Oluşan ana bileşenler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

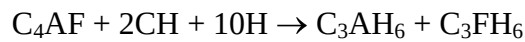
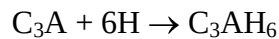
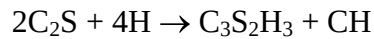
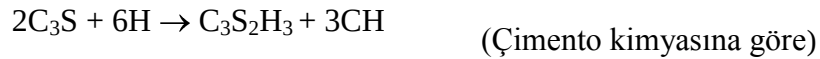
Çizelge 3.2. Çimentonun ana bileşenleri

| Bileşen Adı                 | Formülü                                                   | Kısaltılmış Adı       | Miktar (%) |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|------------|
| Trikalsiyum silikat         | $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$                                | $\text{C}_3\text{S}$  | 25-60      |
| Dikalsiyum silikat          | $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$                                | $\text{C}_2\text{S}$  | 15-40      |
| Trikalsiyum alüminat        | $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$                       | $\text{C}_3\text{A}$  | 2-15       |
| Tetrakalsiyum alüminoferrit | $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{C}_4\text{AF}$ | 5-15       |

### 3.1.1.1.2. Çimentonun Hidratasyonu

En genel manada hidratasyon, çimento ile su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyondur. Çimentonun prizi ve sertleşmesi bu reaksiyonlar sonucunda meydana gelir. Çimento ve suyun birleşmesiyle, ana bileşenlerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonlar pratik olarak şu şekilde ifade edilebilir. Kalsiyum silikatlar ( $\text{C}_3\text{S} - \text{C}_2\text{S}$ ) ve su (H) reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat ( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ , kısaca C-S-H) denilen bir ürün ile kalsiyum hidroksiti meydana getirir. Çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran da oluşan bu C-S-H jelidir. Meydana gelen C-S-H’nin parçacıkları arasındaki çekim kuvveti, bağlayıcılık özelliği yaratmaktadır. C-S-H’nin büyüklüğü moleküler mertebededir ve çimento tanesinin 1/1000’i büyüklüğündedir (Erdoğan, 1995).

Kalsiyum silikatların reaksiyon formülü şu şekildedir.



$C_3A$  ve suyun birleşmesi ise çok hızlı bir şekilde cereyan eder. Bu çimentoda “ani sertleşme” yaratarak taze betonun kullanımını ve betonun bağlayıcılık kazanabilmesini engeller. Bu nedenledir ki, üretim esnasında çimentoya bir miktar alçı taşı katılmaktadır. Böylece  $C_3A$ , su ve alçı, ayrı bir reaksiyona girer ve bu reaksiyonlar sürerken, kalsiyum silikatların reaksiyonu ve C-S-H ’ın oluşması da sıhhatli bir şekilde devam eder.  $C_3A$  bileşeni ilk saatlerde ve ilk gün içerisinde çimentonun bağlayıcılık değerine küçük bir miktar katkıda bulunmakla birlikte çimento için en tehlikeli bileşen olabilmektedir.

Su ve alçı,  $C_4AF$  ile de reaksiyona girer. Fakat,  $C_4AF$ ’nin su ve alçıyla birleşmesi ile elde edilen özellikler,  $C_3A$ ’nın sonuçlarına benzer ancak oranı çok küçük olduğundan sonuç üzerindeki rolü büyük değildir.

Özetle,  $C_3A$  ve  $C_4AF$  bileşenleri, uygun miktarda alçı ile kullanıldıklarında çimentonun bağlayıcılık özelliğini bir miktar etkilerler. Ancak, esas bağlayıcılık özelliği  $C_3S$  ve  $C_2S$  bileşenleri tarafından sağlanmaktadır (Erdoğan 1995).

Çimentonun su ile birleşmesi neticesinde bileşenlerin kazandığı özellikler ise, Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri

|                                  | Bileşenlerin Özellikleri |        |        |         |
|----------------------------------|--------------------------|--------|--------|---------|
|                                  | $C_3S$                   | $C_2S$ | $C_3A$ | $C_4AF$ |
| Reaksiyon Hızı                   | Orta                     | Yavaş  | Hızlı  | Orta    |
| Hidratasyon Isısı                | Orta                     | Az     | Çok    | Orta    |
| Kısa Dönemde Bağlayıcılık Değeri | Yüksek                   | Düşük  | Düşük  | Düşük   |
| Nihai Bağlayıcılık Değeri        | Yüksek                   | Yüksek | Düşük  | Düşük   |

### 3.1.1.1.3. Çimentoğun İnceliği

Çimento inceliği, çimento tanelerinin ortalama boyutunu ifade etmektedir. İnceliğin yüksek olması, çimento tanelerinin daha küçük boyutlara sahip olacak şekilde öğütüldüğünü ifade eder. Çimento tanelerinin çapı, 1-200  $\mu\text{m}$  arasında değişlik gösterir. Büyük çoğunluk 20-30  $\mu\text{m}$  arasındadır. Çimento inceliği  $\text{cm}^2/\text{g}$  olarak ifade edilir. Blaine aleti kullanılarak ve hava geçirgenliği prensibine uyarak, 1 g çimento numunesindeki tanelerin toplam yüzeyi  $\text{cm}^2$  cinsinden belirlenir. Blaine aleti ile özgül yüzey tayini, diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiğinden, incelik tayininde en çok kullanılan yöntem olmaktadır(Erdoğan 1995).

Çimentolarda istenen en düşük incelik, çimentoların cinsine göre değişiklik göstermektedir. Türkiye’de üretilen değişik tipteki çimentolarda aranan en düşük incelik, özgül yüzey olarak, 2800-4000  $\text{cm}^2/\text{g}$ , Portland çimentolarında aranan en düşük incelik ise 2800  $\text{cm}^2/\text{g}$ ’dır. ABD’nin ASTM Standartlarına göre üretilen portland çimentolarında da aranan en düşük incelik 2800  $\text{cm}^2/\text{g}$ ’dır.

İncelik, çimentonun priz süresi, hidratasyon ısısı ve dayanımı olmak üzere çimento özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ağırlıkları aynı olan iki çimento numunesinde, daha ince tanelerden oluşanın içerisinde, diğerine göre daha çok sayıda çimento tanesi bulunur. Çimentonun inceliği arttıkça tane sayısında artma olmakta ve bu nedenle su ile temas edebilecek yüzey fazlalaşmaktadır. O bakımdan, ince olarak öğütülmüş çimentolarda kimyasal reaksiyonlar daha hızlı yer alarak sertleşme daha hızlı ve daha iyi gelişmektedir. Öte yandan incelik artması ile açığa çıkan ısı hızında da artış görülmektedir (Erdoğan 1995).

Çimento tanelerinin aşırı ince veya iri olmasının çimento özelliklerine bazı etkileri vardır. Taneler aşırı derecede ince ise, öğütme işlemi sırasında veya depolama esnasında, çimento çevreden bir miktar nem alarak hidratasyona başlayabilir ve bu vakitsiz hidratasyon sebebiyle bağlayıcılık değeriinde kayıp olur. Taneler gereğinden fazla iri ise, hidratasyon hiç bir zaman mükemmel olamaz ve kimyasal olaylar sağlıklı gelişemez. Bu durum, çimentonun bağlayıcılık değeriini de olumsuz yönde etkiler. (Erdoğan 1995).

### 3.1.1.2. Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %75'i agregata tarafından oluşturulmaktadır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler arasında en pahalı olan çimentodur. Agreganın maliyeti çimento maliyetine göre oldukça düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agregata kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

Beton yapımında agregata kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik beton üretmek değildir. Agregata betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Agreganın sağladığı teknik yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çimento hamuru zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Betonun içerisinde bulunan agregata taneleri, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde engellemektedir. O nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş olan bir malzemeye oranla, betonun göstereceği hacim değişikliği, ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlaklar daha az olmaktadır.

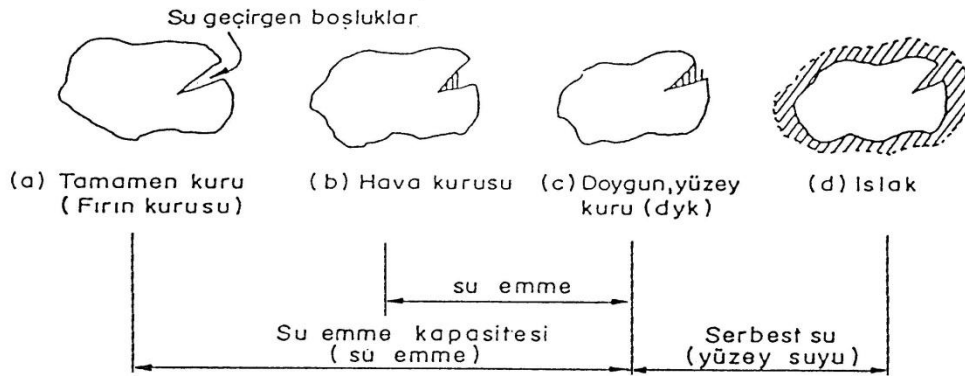
Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle, sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemelerdir. Agregata dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır (Erdoğan, 2003).

#### 3.1.1.2.1. Agregada Rutubet Durumu

Agregata taneleri içerisinde iki tip boşluk bulunabilir. Bunlardan birisi, tane yüzeyinde ince çatlaklar şeklinde oluşmuş veya tane içerisinde olup da yüzeydeki boşluklarla bağlantılı olan “su geçirgen boşluklar”dır. Bu tür boşlukların içerisine su girip çıkabilir. Diğeri ise, agregata yapısından gelen, agregata taneleri içerisinde oluşmuş olan “su geçirmez boşluklar”dır. Bunlara su giremez.

Agrega tanelerinin, karşı karşıya kaldıkları ıslanma ve kuruma durumlarına göre, “su geçirgen boşluklar”ın içerisinde hiç su bulunmayacağı gibi, bu boşlukların içerisi kısmen veya tamamen su dolu da olabilir. Hatta, taneler suya doymun olup, tanelerin yüzeyi bir miktar su filmi ile kaplı da olabilir (Erdoğan 1995)

Agrega tanelerinden oluşan agregat yığını, içerdiği su miktarına göre Şekil 3.6.’de gösterilen dört değişik durumdan birisine sahiptir. Bunlar; (a) agreganın içerisinde hiç su olmadığı tamamen kuru durum, (b) agreganın su geçirgen boşluklarının içerisinde bir miktar suyun olduğu hava kurusu durum, (c) su geçirgen boşluklarda tamamen su bulunduğu fakat agregat tane yüzeyinin kuru olduğu doymun-yüzey kuru durum, (d) su geçirgen boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve aynı zamanda tanelerin yüzeyinde bir miktar su filminin bulunduğu, ıslak durum (Erdoğan 1995, Neville ve Brooks 1993).



Şekil

### 3.1. Agregat tanelerinin içerdikleri su durumu

#### 3.1.1.2.2. Birim Ağırlık

Birim ağırlık, belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığıdır. Bu belirli hacim (V), tanelerin işgal ettiği gerçek hacim ( $V_a$ ) ile taneler arası boşlukların toplam hacmi ( $V_b$ )’nin toplamıdır. Bu duruma göre şu formül yazılabilir:

$$V = V_a + V_b$$

Bu tanımlara göre birim ağırlık, aşağıdaki formül yardımıyla elde edilir.

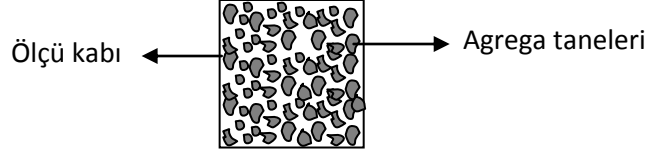
$$\Delta = \frac{P_a}{V}$$



$\Delta$  : Agreganın birim hacim ağırlığı

$P_a$  : Agreganın ağırlığı

$V$  : Ölçü kabının hacmi



Şekil 3.2. Birim ağırlığın belirlenmesi

Agregalarda birim ağırlık, gevşek veya sıkışık deney yöntemleri ile belirlenir. Gevşek birim ağırlığın belirlenmesinde; agregası, ölçü kabına üstten serbest şekilde boşaltılarak doldurulur. Bu sırada agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir.

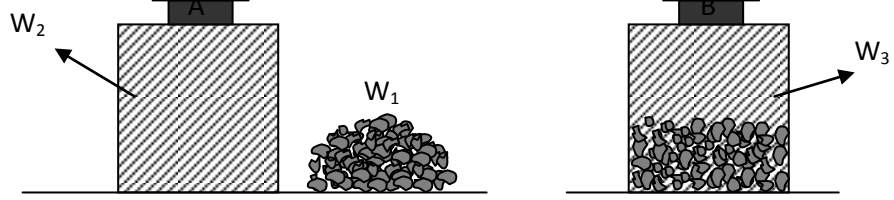
Sıkışık birim ağırlığının belirlenmesinde ise; agregası, ölçü kabına, şişleme çubuğu ile sıkıştırılarak veya kaba, titreşim uygulayarak yerleştirilmelidir. Bu nedenle, agreganın birim ağırlık değerinin hangi koşullar altında belirlendiğinin ifade eden “kuru-gevşek”, “kuru-sıkışmış”, “nemli-gevşek”, “nemli-sıkışmış” gibi terimleri kullanmak gerekmektedir. Doğal olarak bir agreganın sıkışık birim ağırlığı değeri genelde 1,20 ile 1,80 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişir. Birim ağırlık değerleri, agreganın granülometrisine, kusurlu malzemenin miktarına, yerleştirme şekline ve agreganın özgül ağırlığına bağlı olarak değişir.

### 3.1.1.2.3. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, agreganın işgal ettiği gerçek birim hacmine isabet eden ağırlıktır (Postacıoğlu, 1986). Numunenin hacmi, tek tek agregası tanelerinin hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Bir başka deyişle, özgül ağırlığın hesabında, taneler arasındaki boşluk dikkate alınmaz.

3.3.’de bir agregaya ait özgül ağırlığın nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Şekil 3.3’A da, agregası deney numunesi ( $w_1$ ) ile ağzı cam kapakla kapatılmış içi su dolu ölçü kabı ( $w_2$ ) tartılmaktadır. Şekil 3.8.B’ de ise, agregası numunesi, ölçü kabı içine konulduktan sonra bir kez daha tartı yapılmaktadır ( $w_3$ ). Cam kaba konulan agreganın

gerçek hacmi kadar su miktarında azalma olduğu açıktır. Su miktarındaki azalma,  $(w_1+w_2)-(w_3)$  kadardır. Bütün tartılar gram cinsinden yapıldığından bu büyüklük,  $\text{cm}^3$  cinsinden  $(w_1)$  ağırlığındaki agreganın gerçek (mutlak) hacmini verir.



Şekil 3.3. Özgül ağırlığın belirlenmesi

Agreganın özgül ağırlığı ( $\delta$ ), en genel olarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\delta = \frac{w_1}{(w_1 + w_2 - w_3)}$$

Agreganın doymun-yüzey kuru haldeki özgül ağırlığı;

$$\delta = \frac{w_{dyk}}{(w_{dyk} + w_2 - w_3)}$$

Agreganın kuru haldeki özgül ağırlığı ise

$$\delta = \frac{w_k}{(w_k + w_2 - w_3)}$$

$w_1$  : Numunenin hava kurusu ağırlığı

$w_{dyk}$  : Numunenin doymun-yüzey kuru ağırlığı

$w_k$  : Numunenin etüv kurusu ağırlığı

$w_2$  : Su ile dolu ölçü kabı ağırlığı

$w_3$  : İçine numune konmuş su dolu kabın ağırlığıdır.

#### 3.1.1.2.4. Kompasite

Herhangi bir agreganın birim ağırlığı ( $\Delta$ ) ve özgül ağırlığının ( $\delta$ ) bilinmesiyle, aynı zamanda bu agreganın kompasitesi, yani birim hacmindeki tanelerin işgal ettiği gerçek hacim belirlenmiş olur. Agreganın kompasitesi ( $k$ ),

$$k = \Delta / \delta$$

ifadesiyle hesaplanır. Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğuna göre, kompasite hep 1'den küçük değer alacaktır. Bu durumda, yığın halindeki agreganın birim hacmindeki boşluk ( $P$ ), kompasiteyi 1'e tamamlayan değer olacaktır.

$$P = 1 - k$$

Beton içerisinde düşük kompasiteli agrega kullanılmasının bazı zararları vardır. Bunlar;

- Boşluk değeri yükseleceğinden betonun mukavemeti de düşük olur.
- Fazla çimento kullanılması gerekeceğinden maliyet artar.
- Betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı (durabilite) azalır.

#### 3.1.1.2.5. Tane Boyutu ve Dağılımı

Bir agrega yığını içerisindeki tanelerin, büyüklüklerine göre gösterdikleri dağılım oranına gradasyon (granülometri) denilmektedir. Agreganın gradasyonunun saptanmasında, agrega taneleri, büyüklüklerine göre, belirli gruplara ayrılır. Her boy grubundaki tanelerin toplam ağırlıkları bulunarak, bunların tüm agrega içerisinde ne oranda yer aldığı saptanır.

Gradasyon veya granülometri olarak isimlendirilen, agrega tanelerinin büyüklüklerine göre dağılım oranı, elek analizi adı verilen bir yöntemle bulunabilmektedir. TS 130 (1978) göz önüne alındığında, elek analizi deneyinde, 125

mm, 90 mm, 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm kare göz açıklıklı elekler kullanılır.



Şekil 3.4. Elek Analizi İçin kullanılan Elekler

Elek analizi yönteminde elekler, en büyük göz açıklıklı olan en üstte, daha küçük olan bir altta ve en küçük olan da en altta olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru dizilir. En küçük elekten geçebilecek agregayı da yerlere dökülmeden bir arada tutabilmek amacıyla, en küçük göz açıklıklı eleğin altına da delikleri olmayan bir kap (tava) yerleştirilir.

Değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş ( $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ) agrega numunesi, en büyük elek üzerine yerleştirilir ve sağa-sola, yukarı-aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agrega hassas olarak tartılarak her elek üzerinde ağırlıkça, yüzde ne kadar agrega kaldığı (veya her elekten yüzde ne kadar agrega geçtiği) hesaplanır. Böylece, değişik boy sınıflarındaki agrega miktarı, yani agreganın tane dağılımı belirlenir (TS 130 1978).

Bir agrega yığının gradasyonunu saptayabilmek amacıyla yapılacak olan elek analizinde, alınması gereken agrega numunelerinin miktarı, en büyük tane boyutuna göre belirlenir. Elek analizinde kullanılmak üzere, alınması gereken minimum malzeme miktarları hakkında detaylı bilgi TS 707 (1980)'de yer almaktadır.

Daha kolay görülebilmesi için yüzde olarak ifade edilen elek analizi sonuçları, genellikle yarı logaritmik bir grafik üzerinde eğri şeklinde gösterilir. Böyle bir grafikte, elek boyutları yatay eksen üzerinde, agreganın yüzdeleri de düşey eksen üzerinde gösterilir.

Gradasyon eğrisinden, o numunenin ince agreganın miktarını veya herhangi bir boy sınıfına dahil agreganın miktarını kolayca saptayabilmek mümkündür. Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatları farkı, agreganın yığnında o iki elek arasında kalan malzeme yüzdesini verir. Gradasyon eğrisinin, %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması ise agreganın iri tanelerden oluştuğunu ifade eder. Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane yok demektir. Bu tür bir granülometriye sahip agregalara “kesikli (süreksiz)” granülometrilili agregalar denir (Özkul ve ark. 1999).

Agreganın gradasyonunun beton karışımında yer alacak malzeme oranları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Ayrıca agreganın gradasyonu, taze betonun işlenebilirliğini de etkilediğinden, istenilen bir kıvama sahip beton elde edebilmek için kullanılacak karma suyu miktarını da değiştirmektedir. Buna bağlı olarak su-çimento oranı etkilenmekte, su-çimento oranı ve malzeme oranları etkilenen bir betonun da hemen hemen bütün özellikleri etkilenmektedir. Kısacası gradasyon, taze betonun işlenebilme ve sertleşmiş betonun dayanım, durabilite, birim ağırlık, büzülme gibi önemli özelliklerini etkilemektedir. TS 706 (1980)-Beton Agregaları isimli standartta, tane dağılım oranlarının hangi sınırlar içinde olması gerektiği verilmektedir. En büyük tane boyutuna göre belirlenen agreganın dağılım oranlarının yer alabileceği alt ve üst sınırlar, gradasyon eğrileri ile gösterilmiştir. Kullanılacak agreganın tane dağılımı, A ve B eğrileri içerisinde ise, agreganın gradasyonu “çok iyi”, B ve C eğrileri arasında ise de “kullanılabilir” olarak tanımlanır.

### 3.1.1.3. Karışım ve Bakım Suyu

Çimento ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisi olan su, beton yapımının da üç değişik amaca yönelik olarak kullanılmaktadır: Bunlardan en önemlisi ilk sırada belirtilen amaç olmaktadır.

- (1) Çimento ve agrega ile birlikte beton karılmasında, “karışım suyu olarak”,
- (2) Yerine yerleştirilen prizini alarak bir miktar mukavemet kazanan betonun yüzeyine uygulanan “bakım ya da kür suyu” olarak,
- (3) Betonda kullanılacak agregaların temiz olmalarını sağlamak veya beton karma işlemi bittikten sonra betoniye temizlemek üzere, “yıkama suyu” olarak.

(1) *Karışım suyu olarak* : Betonu oluşturan malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyu iki önemli görevi yerine getirmektedir: Birincisi, toz halindeki çimento taneleri ile birleşerek hidrasyon adı verilen kimyasal reaksiyonların başlamasını sağlamak, ikincisi ise çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak, malzemelerin birbiriyle daha kolay karıştırılabilmesini, yerine yerleştirilip sıkıştırılabilmesini kısacası “işlenebilme” yi sağlamaktır.

Kaynaklarda, karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir (Neville 1995). Beton yapımında karışım suyu olarak kullanılacak su, mümkün olabildiği kadar temiz olmalı, içerisinde taze ve sertleşmiş beton özelliklerine zararlı etki yapabilecek kadar kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat, yağ ve endüstri atıkları gibi yabancı madde bulundurmamalıdır (Erdoğan 1995).

(2) *Bakım (kür) suyu olarak* : Yerine yerleştirilen taze betonun sertleşmesi esnasında, betonun içerisindeki mevcut suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek gereklidir. Hidrasyon için son derece önemli olan suyun bir miktarının buharlaşarak kaybolması, çimento reaksiyonlarının tam olarak oluşmamasına ve beklenen dayanımdan daha düşük bir dayanımın ortaya çıkmasına neden olur. Bu durumu önleyebilmek için, taze beton içerisindeki suyun buharlaşarak kaybolmasını mümkün olabildiği kadar azaltacak önlemler almak gereklidir. Bu amaçla, taze betonun yüzeyinin, sulanarak veya ıslak bezlerle ve benzeri yöntemlerle örtülerek, korunması gereklidir.

(3) *Yıkama suyu olarak* : Beton yapımında kullanılan agregaların temiz olmaları gerekmektedir. Agregada yüzeyinde bulunabilecek kil toprakları, silt ve organik maddeler beton özelliklerini olumsuz yönde etkilerler.

Agregada yüzeyini bir tabaka gibi sarmış bu zararlı maddeler hesaplarda belirlenen suyun bir miktarını emerek, su-çimento oranını ve buna bağlı olarak beton özelliklerini etkileyebildikleri gibi, agregada ve çimento hamuru arasında oluşması gereken bağda da önemli ölçüde azaltırlar. Bunun sonucunda beklenenden daha düşük dayanımlı bir beton ortaya çıkar. Bu nedenle, betonda kullanılması düşünülen agregaların yıkanarak mutlaka temiz duruma getirilmesi gereklidir.

### **3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar**

Mineral katkıları çok ince öğütülmüş olup, karışımdan önce ya da karışım esnasında beton bileşimine ilave edilen ayrı bir bileşendir. Çok fazla sayıda malzeme mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Örneğin;

1-Kömür yakarak elektrik üreten santrallerden elde edilen ince taneli küller gibi atık ya da endüstriyel yan ürünler veya demir ve diğer metallerin üretiminden elde edilen cüruflar.

2-Volkanik tüf, volkanik cam, diatomik toprak ve çeşitli kaya tozları gibi doğal malzemeler.

3-Pişirilmiş kil ve şeyl gibi ısıl işleminden geçirilmiş doğal malzemeler.

4-Doğal çimentolar ve su kireci gibi bağlayıcı malzemeler.

İncelikleri normal Portland çimentosu kadar yüksek olan mineral katkıları toz halinde kullanılır. Bu katkıları, böylece Portland çimentosunun hidratasyonu sırasında Portland çimento hamuruna ek olarak hamur oluşturarak işlenebilirliği arttırmak vs gibi beton karışımının özelliğini değiştirir. Mineral katkıları beton içerisinde kullanılırken çimentonun ya da ince agreganın bir miktarının yerine konmak sureti ile kullanılırlar(Erdoğan, 1997).

Mineral katkıları taze ve katılaşmış betonun bir çok özelliklerini etkileyebilir. Taze ya da plastik durumdaki beton için, karışım oranları, su ihtiyacı, priz karakteristikleri, işlenebilirlik, kanama ve hidrasyon ısısı gibi özellikler mineral katkı ilavesi ile etkilenebilecek özelliklerdir.

Katılaşmış haldeki beton için, dayanım kazanma hızı, son dayanım, geçirgenlik, durabilite, donmaya karşı dayanıklılık, sülfat atağı, alkali-silika reaksiyonu, karbonatlaşma ve termal çatlaklara karşı dayanım gibi özellikler, mineral katkı kullanımı ile oldukça etkilenebilecek özelliklerdir. Mineral katkının beton özelliklerinin üzerinde olan etkisi, yalnızca katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı değildir. Beton yapımında kullanıldığı miktara da bağlıdır.

Çok ince öğütülmüş mineral katkıların üretimi ya çok pahalı değildir ya da bu maddeler birer yan üründür. Böylece mineral katkıların kullanımı, beton üretiminde oldukça tasarruf sağlar. Çok büyük hacimlerde endüstriyel atıkların Portland çimentosu ile kısmi olarak yer değiştirilmesi sureti ile kullanımı, enerji ve doğal kaynakların korunmasına da yardımcı olacaktır.

Kömür yakan elektrik santrallerinden elde edilen uçucu kül ve demir üretiminden elde edilen cüruf ve kolemanit konsantratör atığı gibi endüstriyel yan ürünlerin yıllık üretimi çok büyük değerleri bulmaktadır. Örneğin dünyada 1990'larda elde edilen uçucu külün miktarının yılda 500.000.000 ton'dan fazla olduğu tahmin edilmektedir. Çok büyük olan bu yan ürün hacimleri çeşitli çevresel problemler oluşturmaktadır. Uygun mineral katkı olarak endüstriyel yan ürünlerin veya atıkların kullanımı sadece betonun mühendislik özelliğini iyileştirmemektedir, bunun yanı sıra çevresel problemlerin azalmasına da katkıda bulunmaktadır.



### 3.2.1. İnce Öğütülmüş Mineral Katkıların Sınıflandırılması

İnce öğütülmüş mineral katkıları 3 genel tip içinde sınıflandırılabilirler:

- 1-Puzolanik malzemeler ya da ilave bağlayıcı özelliğe sahip fakat esas olarak puzolanik malzemeler
- 2-Bağlayıcı özelliği olan malzemeler
- 3-Diğerleri

Beton için yaygın olarak kullanılan mineral katkıları genellikle puzolanik olanlardır. Bazen bu puzolanik malzemeler puzolanik olmalarının yanı sıra kendileri de bağlayıcı özelliğe sahiptirler. Bağlayıcı özelliği olan mineral katkıların kullanımı, bazı kaya tozları gibi puzolanik malzemelerin kullanımından çok daha azdır. Bu nedenle ilerideki kısımlarda tartışma, genel olarak, yukarıdaki sınıflandırmanın birinci grubundaki puzolanik malzemeler üzerinde yoğunlaştırılacaktır.

### 3.2.2. Puzolanik Malzemeler

#### 3.2.2.1. Puzolanların Tanımı

ASTM C 125 (1994) ve ASTM C 618 (1994)'e göre puzolanlar, silisli ya da silisli ve alüminli malzemeler olup çok az ya da hiç bağlayıcı değeri olmayan; fakat ince öğütülmüş durumda ve nemin bulunduğu ortamda, kalsiyum hidroksitle normal sıcaklıkta kimyasal olarak reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip bileşen oluşturan malzemedir. Esas oksitleri olan silis ve alümine ilave olarak puzolanların kimyasal yapısında demiroksit, kalsiyumoksit ( $\text{CaO}$ ), alkali ve karbon bulunmaktadır. Bu maddelerin miktarları ise puzolanların elde edildiği kaynağa göre değişmektedir.

Volkanik küller, tüfler (tras), camlar, pomzalar, pomzamsılar, pişirilmiş kil ve özelliği, diatomik topraklar, toz edilmiş taş kömürünün yakılmasıyla elektrik üreten santrallerden elde edilen uçucu küller, silikon metal ya da alaşımlarının elde edilmesinden yan ürün olarak meydana çıkan silika dumanı ve prinç kabuğunun (çeltik)

yanmasından elde edilen küller, puzolanik karakteristik gösteren malzemeler olarak bilinirler. Linyit kömürünün ya da alt bitümlük kömürün yanmasından elde edilen bazı uçucu küller puzolanik özelliklerine ilave olarak bir miktar çimentosal bağlayıcılık karakteri gösterirler. Demir üretiminden elde edilen ve hızlıca soğutulup ince taneli hale getirilen cüruf da bağlayıcılık özelliğine ilave olarak puzolanik malzeme gibi davranır. Bu malzemelerin bağlayıcı özellik göstermesinin sebebi ise, kimyasal bileşimlerindeki kalsiyumoksit miktarının yüksek olmasıdır.

2000 yıl önce eski Romalılar İtalya'nın Puzoli şehrindeki volkanik topraklar ile kirecin karışımından hidrolik bağlayıcı elde ettikleri için puzolan kelimesi bu ikisinin arasındaki kimyasal tepkime için kullanılmaktadır.

### **3.2.2.2. Puzolanik Malzemelerin Tipleri**

Puzolanlar genellikle aşağıdaki gibi gruplandırılırlar;

1. Doğal Puzolanlar- Volkanik küller, camlar, tüfler, pişirilmiş killer ve özelliği, diatomik topraklar gibi doğal olarak bulunan malzemeler,
2. Yapay Puzolanlar- Uçucu kül, silika dumanı ve daneli cüruf gibi endüstriyel yan ürünlerdir (Erdoğan, 2003).

### **3.2.2.3. Puzolanik Reaksiyon**

İnce öğütülmüş puzolanlar nemin bulunduğu ortamda kalsiyum hidroksitle bir araya getirildiğinde normal sıcaklıklarda bazı kimyasal reaksiyonlar yer almaya başlar.

Kireç puzolan reaksiyonunun esas ürünü kalsiyum-silika-hidratedir. Kireç puzolan reaksiyonunun C-S-H haricinde diğer ürünleri ise kalsiyum-alimüne-hidrate, hidrate olmuş gehlenit, kalsiyum karbo alimünat, kalsiyum alimüna monosülfat ve etrengittir (Erdoğan, 1997). Sonuç olarak, hidrolik bağlayıcı özelliği olan kimyasal bir bileşik meydana gelir. Nemli ortamda, ince öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksitin arasında oluşan kimyasal reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$\text{CH} + \text{S} + \text{H} \rightarrow \text{C-S-H}$  (kalsiyum silika hidrate). Bu reaksiyon yavaş bir reaksiyondur.

Çimento kimyasında  $\text{C}=\text{CaO}$ ,  $\text{H}=\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{S}=\text{SiO}_2$  bu kimyasal reaksiyon sonucu C-S-H oluşur ve bu madde bağlayıcı özelliğe sahiptir.

#### 3.2.2.4. Pozolanik Malzemelerin Kullanımı

İnce öğütülmüş bir pozolan bağlayıcılık özelliğinden faydalanmak üzere üç değişik şekilde kullanılır.

1- Direkt olarak, Kalsiyum hidroksitle karıştırılarak

2-Katkılı çimentoların üretiminde katkı olarak (Portland pozolan çimentoları gibi)- Üretim sırasında çimento fabrikalarında Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülerek.

3-Doğrudan beton karışımına ilave olarak – karışım sırasında ya da karışım operasyonundan önce pozolanı karışıma bir bileşen gibi ilave etme yolu ile.

Pozolanların kalsiyum hidroksitle direkt olarak karıştırılması yaygın bir uygulama değildir. Ancak çok eski zamanlarda bu yol yaygın olarak kullanılmıştır. Yol alt temeli ya da diğer bazı uygulamalarda kireç pozolan karışımı hala kullanılmaktadır. Diğer taraftan ikinci ve üçüncü şekil yaygın olarak kullanılmaktadır.

Pozolan ister Portland pozolan çimentosu olarak ister beton karışımının bir ilave malzemesi olarak kullanılsın, Portland çimentosunun kalsiyum-silikat bileşiklerinin hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girer. Bilindiği gibi Portland çimentosunun bileşikleri olan  $\text{C}_3\text{S}$  ve  $\text{C}_2\text{S}$ 'nin hidratasyonu sonucunda C-S-H jelleri ile kalsiyum hidroksit oluşur. İnce öğütülmüş pozolan, Portland çimentosunun hidratasyonu sonucunda meydana çıkan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda bağlayıcı özelliği olan fazladan C-S-H cevheri ortaya çıkmış olur

### **3.2.2.5. Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metodları**

ASTM C 311 (1994),doğal puzolanların ve uçucu küllerin Portland çimentosu betonunda kullanılabilmesi için yapılması gereken deneylerin ve örnek almanın nasıl yürütüleceğini kapsamaktadır.Yukarıda bahsedilen benzer deneyleri doğal puzolanlar, uçucu küller ve puzolanik katkılar için TS 197-1 (2002) da kapsamaktadır.

### **3.2.2.6. Doğal ve Yapay Puzolanların Betona Mineral Katkı Olarak Uygunlukları**

Puzolanların kalsiyum hidroksitle olan reaksiyonları kendilerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır.ASTM C 618 (1994), doğal ve yapay puzolanların betonda mineral katkı olarak kullanılabilmeleri için sahip olmaları gereken kimyasal ve fiziksel özellikleri kapsar.

### **3.2.3. Bağlayıcı Malzemeler Olarak İnce Öğütülmüş Mineral Katkılar**

Bağlayıcı malzemeler, su ile karıştırıldıktan sonra hidrasyona uğradıklarında bağlayabilme özelliği kazanan malzemelerdir. Beton için mineral katkı olarak kullanılan bağlayıcı malzemelerin türleri; su kireci, cüruf çimentosu, pişirilmiş kille karıştırılan kireçtir. Bağlayıcı özelliği olan su kirecinin beton katkısı olarak kullanımı çok yaygın değildir.

#### **3.2.3.1. Su Kireci**

Bu malzemeler silisli ya da killi kireç taşlarının yakılması ile elde edilir. Yanmadan sonra geriye kalan klinker içinde bulunan kireç ve silikat ya da silis bu malzemeye hidrolik bağlayıcı özelliği verir. Su kireci 900-1000°C’de pişirilmeye tabi tutulur. Bu kireç su altı yapılarında kullanılmak için uygun değildir. Çok uzun sürede priz alır. Dayanım kazanması ise doğal çimento ve Portland çimentosuna göre çok düşüktür.

### 3.2.3.2. Duvar Harcı Çimentosu

Bu hidrolik çimento Portland çimentosunun ya da katkılı çimentolar ve kireç taşı gibi plastiklik veren malzemelerin bir karışımından oluşmaktadır. Hidrate olmuş kireç ya da su kireci karışımın priz zamanı, işlenebilme, su tutma ve durabilite özelliklerini iyileştirmek için karışıma katılır. Bu tür çimentolar özelliğiyle duvar örmede bağlayıcı harç yapımında kullanılır.

### 3.2.3.3 Cüruf Çimentosu

Bu hidrolik çimento, öğütülmüş cüruf ve portland çimentosunun ya da cüruf ve yanmış kirecin veya cüruf Portland çimentosu ve yanmış kirecin karışımından oluşur. Burada cüruf % 70 oranındadır. Cüruf çimentosunun beton içinde katkı malzemesi olarak kullanılması betonun işlenebilirliğini, priz zamanını, hidrasyon ısını ve diğer bir çok özelliklerini etkiler.

### 3.2.4 İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar

Hem bağlayıcı özelliği olan hem de puzolanik olmayan ya da çok az aktif olan mineral malzemeler bu grubu oluştururlar. İnce öğütülmüş kuars, silis kumu, dolomitik ve kalsitik kireç taşları ve mermer, granit ve diğer kaya tozları, hidrate olmuş dolomitik kireç bu katkı maddelerinin içine girmektedir. Bu maddeler genelde taze betonun işlenebilirliğini iyileştirmek için kullanılır. Bu malzemeler ince elemanı az olan betonlarda da kullanılır. Örneğin, iri gradasyona sahip olan kum ile yapılan beton ya da çimento miktarı az olan betonlarda kullanılabilir.

Bu maddelerin beton dayanımına etkisi çok düşüktür. Bu maddeler genelde taze betonda işlenebilirliği iyileştirmek, kanamayı azaltmak için kullanılır.

Portland çimentosu üreten fabrikaların fırınlarında tutucular tarafından yakalanan atık madde olan fırın tozları da ince öğütülmüş hem bağlayıcı hem de puzolanik özelliği

olmayan gruba girmektedir. Bu atık madde çok zayıf bağlayıcılığa ve puzolanik özelliğe sahiptir ve oldukça alkalın olup, serbest kireç ve sülfata sahiptir. İçeriğinin kompozisyonu, elde edilen kaynağa ve yanma tekniğine bağlı olmak üzere değişir. Bu maddeler özellikle duvarcılıkta ve harç yapımında kullanılır. Cüruf yada uçucu kül içeren bağlayıcı malzemeler ile birlikte kullanılır. İçerisindeki alkaliler puzolanik malzemelerin reaksiyonunu hızlandırır.

### 3.2.5 İnce Öğütülmüş Mineral Katkıların Kullanım Amacı

İnce öğütülmüş mineral katkıları genellikle karışımdaki çimentonun bir miktarı ya da ince agreganın bir miktarı ile yer değiştirme sureti ile kullanılır. Bu malzemeler, betonda işlenebilirliği ve bitirilebilmeyi (perdahlama) iyileştirmek(eğer karışım içindeki ince malzeme miktarı yeterli değilse), kanamayı ve ayrışmayı (segregasyon) azaltmak, hidrasyon ısını azaltmak, alkali-silis reaksiyonu sonucu meydana gelen genişlemeyi azaltmak, geçirgenliği azaltmak, nihai dayanımı arttırmak, sülfata karşı dayanıklılığı arttırmak (deniz suyu, sülfatlı zeminlerin ve doğal asitli suların etkili saldırılarına olan dayanımı) ve beton yapım maliyetini ve betonlama işleminin masraflarını azaltmak amacıyla kullanılırlar.

Katkı malzemesinin tipine göre Portland çimentosunun %10'u ile %40'ı arasındaki bir kısmı yer değiştirilir. Bu oran kullanım amacına göre ayarlanır. Belli bir mineral katkının beton özelliklerine olan etkisi o katkının inceliğine, bileşimine ve kullanıldığı miktarına bağlıdır,

## 3.3 Zeolitler

1756 yılında İsveçli kimyacı ve mineralog Frederic Cronstedt' in bir bakır madeninde yeni bir mineral bulmasıyla tanımlanan doğal zeolitler iki asır boyunca yalnızca volkanik kayaların boşluklarında yer alan mineraller gözüyle bakılmış ve kristal yapının analizi yapılmamıştır. Zeolitler üzerinde ilk deneysel çalışmalar 1857 yılında A. Dumour tarafından yapılan zeolitlerin su tutma tersinirliği ile 1858 yılında

E. Erchorn' un gerçekleştirdiği iyon değişim özelliklerinin incelenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Dünya zeolit rezervlerini tam olarak tespit edilmiş rakamlarla vermek mümkün değildir. Dünyada zeolit oluşumları 1950' lerden sonra saptanmaya başlamış ve hemen hemen bütün kıtalarda yaygın olarak görülmüştür. Yeryüzünde sedimanter kayalarda en fazla klinoptilolit mevcut olmakla birlikte, en az onun kadar ticari değeri olan mordenit, filipsit, şabazit, erionit ve analsim minerallerine de oldukça sık rastlanmaktadır. Zeolit konusunda rezerv miktarlarından ziyade, tespit edilen oluşumlarından mineralojik-kimyasal-fiziksel detay araştırmalarının yapıp yapılmadığından bahsetmek daha yerinde olacaktır. Çünkü özellikle volkano sedimanter bölgelerde tesbit edilen zeolit oluşumları, en kaba tahminler ile ve tüm sınır değerleri en düşük seviyelerde tutulsa bile milyar ton' lar ile ifade edilebilen yayımlara sahiptir. Bu tip jeolojik bölgelere sahip ülkelerin birçoğu yüksek zeolit rezervlerine sahiptir. Bu durumda teknolojik parametreler açısından araştırmalarını tamamlamış ülkeler sanki dünya ülkeleri arasında en büyük rezervlere sahip gibi görünmektedir. Bu değerlendirmeler çerçevesinde önemli zeolit üreticisi olan Küba, Eski SSCB, A.B.D, Japonya, İtalya, Güney Afrika, Macaristan ve Bulgaristan' ın önemli rezervlere de sahip olduğu söylenebilir.

Ülkemiz ise doğal zeolitler açısından ideal jeolojik ortamlara sahip olmasına rağmen, ülkemizde ilk defa 1971 yılında Gölpazarı-Göynük civarında analsim oluşumları saptanmıştır. Daha sonra Ankara'nın batısında analsim ve klinoptilolit yatakları bulunmuştur. Volkano tortul oluşumlarının gözlenebildiği ülkemizde daha çok klinoptilolit ve analsim türleri yoğunlukta olup diğer türlere çok az rastlanılmıştır. Türkiye' de detaylı etüdü yapılmış tek zeolit sahası Manisa –Gördes civarındaki MTA ruhsatlı sahadır. Sahada 18 milyon ton görünür zeolit rezervi ve 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi tespit edilmiştir. Balıkesir-Bigadiç bölgesinde ise, Türkiye'nin en önemli zeolit yataklanmaları tespit edilmiş olup kolaylıkla işletilebilir. Nitelikte yaklaşık 500 milyon ton rezerv 1995 yılında tahmin edilmektedir. Diğer bölgelerde detaylı bir çalışma yapılmamış olup, ülkemiz genelinde toplam rezervin 50 milyar ton civarında bulunduğu tahmin edilmektedir.

Ülkemizde kesin doğal zeolit rezerv tespit çalışması bulunmamaktadır. Bunun başlıca nedeni, henüz bilinen zeolit oluşumlarının birçoğunda volkanik içerisindeki zeolit zonalarının sınırlarının belirlenmemiş olmasıdır. Ancak, Gördes, Bigadiç, Emet,

Kırka ve Karamürsel gibi bazı bölgeler için gerekli zeolitli zonlar gerekse kayaç içerisindeki zeolit oranları ile ilgili yapılan ayrıntılı çalışmalar milyarlarca ton zeolit tuf rezervini ortaya koymuştur. Özellikle Gördes ve Bigadiç’de kayaç içerisindeki zeolit oranı ortalama % 80 civarındadır.

Türkiye’ deki yatakların büyüklüğü ve kalitesine rağmen işletilebilirliği ve kullanım alanları üzerindeki bilgilerin azlığı, zeolit kaynaklarının değerlendirilmesine engel olmaktadır. Dünyada doğal zeolitlerin kullanımı ve üretimi hızla gelişmekte ise de ülkemizde bu zamana kadar, zeolit üretimi yapılmamıştır. Pilot çapta ürün kullanımı belirleme çalışmaları için küçük yapılmaktadır.

### 3.3.1 Zeolitlerin İnşaat Sektöründe Kullanım Alanları

Zeolitler inşaat sektöründe başlıca şu şekillerde kullanılırlar.

- Puzzolan çimento
- Hafif agrega
- Boyutlandırılmış taş

Doğal zeolitlerin sulu alt yapılarda kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesine sağlayabilmektedir.

İlk puzzolan çimentosu yol, su geçidi ve kamu binalarının yapılması için Napoli yakınlarındaki zeolitik tüfler kullanılarak İtalya tarafından üretilmiştir. Zeolitik puzzolan çimentoları sürekli su ile temas içinde olan yapılarda etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Zeolitik tüfler dünyanın birçok yerinde içlerinde zeolit olduğu bilinmeden yalnız silis bileşimlerinden yararlanılmak amacıyla kullanılmaktadır. Yugoslavya, Bulgaristan ve Almanya’ da büyük miktarlarda zeolitik tuf, puzzolan çimentosu üretimi için işletilmektedir.

Zeolitler 200 yıldan beri yapı taşı olarak kullanılmışlardır. Zeolitli tüflerin hafif oluşu kadar dayanıklı oluşları ve kolaylıkla kesilip işlenebilmeleri de yapı taşı olarak kullanılmalarının en önemli nedenleridir. Güney Meksika’ da birçok binalar % 90



mordenit ve klinoptilolit içeren zeolitik tüflerden kesilmiş taşlardan yapılmışlardır. Aynı şekilde Japonya' nın Otsunomiyo kenti yakınlarında yüzlerce yıldır yapı taşı olarak işletilen zeolitler 100 metreden fazla kalınlığa sahiptirler. Bu yapı taşı olarak işletilen zeolitler, % 80–85 klinoptilolit yanında az miktarlarda montmorilonit, kaledonit ve volkanik cam içerirler. Orta İtalya' daki ünlü Napoli kentinin hemen hemen tüm binaları büyük miktarlarda şabazit ve filipsit içeren sarı zeolit tüflerinden yapılmışlardır. Orta Avrupa' daki birçok büyük binalarda, Almanya' daki Leacher bölgesindeki zeolitik tüflerden kesilmiş yapı taşları kullanılmıştır. Avrupa' daki birçok ülkede, zeolitlerin yapı endüstrisinde değişik biçimlerde kullanılma olanakları araştırılmaktadır. Klinoptilolit, perlit gibi,  $1200-1400^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar ısıtıldığında, içerdiği suyun ani olarak buhar fazına geçmesi ile genişmekte ve bu anda soğuma sağlanırsa hafif ve gözenekli bir silikat malzemesi oluşmaktadır. Böylece genişleştirilmiş zeolitlerde yoğunluk  $0,8\text{ g/cm}^3$  ' e kadar düşmekte, gözeneklilik de % 65' e kadar çıkabilmektedir.

Genleştirilmiş doğal zeolitlerin sıkışma ve aşınmaya karşı dayanımı daha yüksek olup, genişleştirilmiş hafif agrega üretilmektedir. Doğal zeolitik tüfler düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı-sağlam yapıdadırlar. Bu özelliklerinden dolayı hafif yapı taşı olarak yapı endüstrisinde kullanımları mümkündür.

Gelişmiş ülkelerde doğal zeolitlerin yapı endüstrisinde kullanımı görülmektedir. Bu ülkelerin başında Rusya, Kanada, A.B.D., Japonya ve Belçika gelmektedir. Özellikle Rus bilim adamları doğal zeolitlerden yapı endüstrisinde, dekoratif süslemelerde kullanılması için çalışmalar yapmışlar ve bu çalışmaların sonuçlarını patent alarak hayata geçirmişlerdir.

Zeolitik tüf yatakları birçok ülkede puzzolonik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzzolanları, son beton ürününün daima yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda, önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle, betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir.

Zeolitik tüfler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı-sağlam yapıdadırlar. Kolayca kesilip işlenebilmeleri ve hafiflikleri ile iyi bir yapı taşı olarak kullanılabilirler. Doğal zeolitlerden elde edilen hafif yapı malzemelerinin

kullanılmasıyla, yapı ağırlıklarının azaltılması sonucu, deprem güvenliğinin artması da sağlanacaktır. Bu malzemelerin hafif olması yapıların taşıyıcı sistemlerinde ekonomi sağlandığı gibi, deprem yüklerine karşı güvenliği de arttırmaktadır.

Doğal zeolitlerin kullanılmasıyla elde edilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliği ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin hem ilk yatırımlarında hem de yapıların kullanımları süresince ortaya çıkan enerji harcamalarında önemli tasarruflar sağlayacaktır. Bu malzemelerin istenilen boyutlarda üretilebilmesi, ahşap gibi kolay işlenebilmesi, delme ve oyma işlemlerinin çok kolay gerçekleştirilebilmesi, milimetrik duyarlılıktaki boyutları nedeniyle düzgün derzler elde edilmesi, sıva işlemlerinin en az kalınlıklara indirilmesi mümkündür. Bütün bunların sonucunda elde edilen düzgün yüzeyler nedeniyle bu malzemelerin üretilmesi, yapımcılara çağdaş teknolojinin üstün özelliklerini sunacaktır.

Doğal zeolitlerden yapılan hafif yapı malzemelerinin, taşıma ve işçilik giderlerinde önemli tasarruf sağlayacağı bir gerçektir. Bu malzemeler ile yapılan yapının ağırlığı azalacak ve deprem güvenliği artacaktır. Bu malzemelerden yapılan blokların düzgün yüzeyli ve düzgün kenarlı olması, duvarların sıvasız bırakılmasına veya sadece ince sıva ile sıvanması olanak verecektir. Bu malzemelerin çeşitli yüksek dayanım gücüne sahip türde üretilmeleri mümkündür. Bu malzemeler yüksek düzeyde ısı yalıtım özelliğine sahiptirler. Doğal zeolitlerin özelliklerinden dolayı bu malzemeler, iklim ve çevre koşullarından etkilenmez. Dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Bu malzemelerin hafifliği nedeniyle, büyük boyutlarda üretilmesi mümkündür. Büyük boyutlu ve düzgün yüzeyli bloklarla duvar örülmesi özel bir beceri gerektirmez. Ahşap gibi kesilebilir, delinebilir, tesisat kanalları açılabilir. Bu özellikleri ile yapımı hızlandırır, malzeme israfını ortadan kaldırır. Doğal zeolitlerden yapılan bu yapı malzemelerinin atışe dayanıklı olması yangın güvenliğini artırır ve yangından korunmuş mekânların yaratılmasını sağlar.

Avrupa'nın bilinen ve ana hammadde olarak silika kumu kullanarak hafif inşaat blokları üreten "Autoclaved Cellular Concrete, (ACC)" teknolojisine rakip olarak geliştirilen yeni bir teknolojiye doğal zeolitler kullanılarak daha ekonomik olarak daha üstün özelliklerde hafif inşaat blokları geliştirilmiştir.

"Light Zeolite Concrete (LZC)" olarak adlandırılan bu yeni hafif inşaat bloklarının bazı özellikleri aşağıda özetle verilmektedir.

- LZO değişik yoğunluklarda üretilebilmektedir. 750–1000 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklar en yaygın olanlardır. Bu yoğunluklarda üretilen hafif inşaat blok'unun sıkıştırılabilme gücü (compressive, strength) 7,5–10 Mpa'dır. 750 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki bir blok aynı boyutlardaki bir beton bloğun 1/3 ağırlığında, diğer yöntemlerle üretilmiş olan gözenekli hafif blokların 2/3 ağırlığındadır. Bu nedenle taşıma ve inşaat-montaj işlemlerinde önemli tasarruflar sağlamaktadır.
- LZO hafif inşaat bloklarının sıkıştırılabilme gücü 5–30 Mpa arasında istenilen değerde ayarlanabilmektedir. İçi boş olarak üretilerek hafif olmaları sağlanan diğer inşaat bloklarından daha fazla taşıma gücüne sahiptir.
- LZO, klasik inşaat bloklarına kıyasla, boyutları çok daha değişmez ve tekrarlanabilir olarak retiler. Bu nedenle inşaat sıvasında bloklar arasında kullanılacak harçtan önemli tasarruflar yapılabilir. Bir LZO reticisinin iddiasına göre klasik inşaat bloklarında bloklar arası için 10 mm harç kalınlığına ihtiyaç duyulurken, bu kalınlık LZO için 4 mm'dir.
- LZO blokların ısı yalıtımı diğer inşaat bloklarına kıyasla çok üstündür.
- LZO bloklar ayrıca ses ve gürültü yalıtımı da sağlamaktadır.
- LZO bloklar yanmaz malzemelerdir. Yapılan bir test 1000 C sıcaklıkta bile LZO'de herhangi bir değişiklik olmadığını; 1250 C'de hafif ergimelerin başladığını ve 1800 C'de ergidiğini göstermiştir. (Baradan 2007).

### 3.3.1.1. Türkiye’deki Doğal Zeolitler

#### 3.3.1.1.1. Önemli Zeolit Türleri

Günümüzde yapılan çalışmalar sonucu yaklaşık kırk çeşit doğal zeolit bulunmuştur. Doğal zeolitlerin büyük bir bölümünü oluşturan mineraller analsim, şabazit, klinoptilolit, erionit, feriyonit, höylendit, mordenit ve filipsittir.

##### 3.3.1.1.1.1. Analsim

$\text{Na (AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$  kimyasal formülüne sahip olan analsim, çoğunlukla kristal biçimdedir. Kristal sistemi kübiktir. Sertliği 5.5, özgül ağırlığı  $2.3 \text{ g/cm}^3$  tür. Cam parlaklığında, saydam, renksiz, beyaz-kırmızımsıdır.



Şekil 3.5. Analsim

Üfleçte kolayca erir. Hidrotermal oluşumlu olup bazalt gibi mağmatik taşların oyuk ve kabarcıklarında bulunur. Derişik HCl asitle muamele edildiğinde jelâtinleşir. Analsim alevi sarıya boyar ve eridiği zaman renksiz cam biçimini alır. Kapalı bir tüp içerisinde bırakıldığı zaman ortama su verir. Kalsiyumca zengin analsim türü dehidrate olduğunda ortam sıcaklığında metan ve etan gibi molekülleri hapseder (Kıbaroğlu, 2007).

### 3.3.1.1.2. Şabazit

$(Ca, Na)_2 (Al_2 Si_4 O_{12}) 6 H_2O$  kimyasal formülüne sahip olan şabazit hegzagonal ve kristalleri küpe benzer şekillerde bulunur. Sertliği 4.5, özgül ağırlığı  $2.1 \text{ g/cm}^3$  civarındadır. Cam parlaklığında, saydam, yarısaydam, renksiz, beyaz ve kırmızımsı olur (Şekil 3.6.). HCl asitle çözünür ve silis ayrılır. Bazaltların oyuk ve yarıklarında bulunur. Kapalı tüpte bırakıldığında su verir.



Şekil 3.6. Şabazit

### 3.3.1.1.3. Höylandit

$Ca (Al_2 Si_7 O_{18}) 6H_2O$  kimyasal formülüne sahip olan höylandit monoklinik, kristalleri ince veya kalın levha şeklindedir. Sertliği 4, Özgül ağırlığı  $2.2 \text{ g/cm}^3$  civarındadır. Cam ve sedef parlaklığındadır. Renksiz, beyaz, sarı ve kırmızı olur (Şekil 3.7.). Üfleçte köpürerek erir ve beyaz camsı madde verir. Yeni volkanik taşların oyuklarında bulunur. Kapalı kapta bulunursa su verir (Kibaroglu, 2007).



Şekil 3.7. Höylandit (Anonymous, 2007).

### 3.3.1.1.4. Lamontit

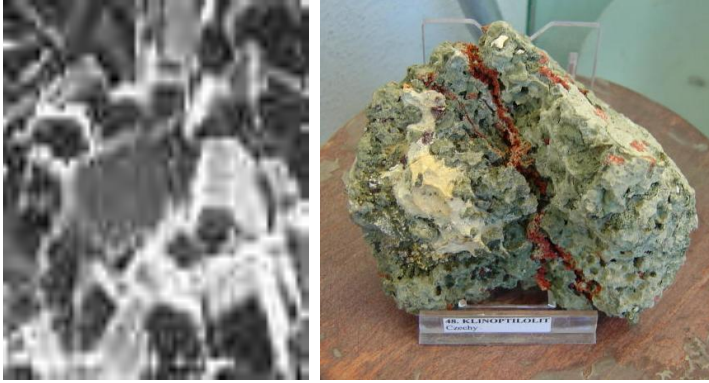
$Ca_4 (Al_8 Si_{16} O_{48}) 16H_2O$  kimyasal formülüne sahip olan lamontit monoklinik sistemde kristalleşir, kristaller uzunca ve uzunlamasına çizgilidir (Şekil 3.8.). Sertliği 2.2 olup donuk sarı veya donuk mavi renklerdedir. Kuru havada toz haline gelir ve suyunun hemen hemen yarısı kaybolur. Bu nedenle kristaller matlaşır ve kırık hale gelir (Kibaroglu, 2007).



Şekil 3.8. Lamontit (Anonymous, 2007).

#### 3.3.1.1.5. Klinoptilolit

$(Na_3K_3)(Al_6Si_{30}O_{72}) \cdot 24H_2O$  kimyasal formülüne sahip olan klinoptilolitin kristal sistemi monoklinikdir. Isıya dayanıklı olup 700 °C'ye kadar kristal yapısını korur. Silika bakımından zengin bir doğal zeolit türüdür. Si/Al mol oranı 0.425/5.25'tir. Asitle işleme sokularak moleküler elekleri hazırlanabilir. Aside karşı dayanıklıdır. Kristal boşluğu %39'dur.  $SO_2$ ,  $H_2S$  ve  $CO_2$  gibi gazların tutulmasında, havanın oksijence zenginleştirilmesinde, kurutma ve saflaştırma teknolojisinde, radyoaktif izotopların tutulmasında kullanılır (Kibaroglu, 2007).



Şekil 3.9. Klinoptilolit (Anonymous, 2007).

#### 3.3.1.1.6. Nartolit

$Na_2(Al_2Si_3O_{10}) \cdot 2H_2O$  kimyasal formülüne sahip olan nartolit, monoklinik sistemdeki kristalleri uzun prizmalı olur. Lifli zeolitlerin en önemli temsilcisidirler. Genelde cam

parlaklığında, ince lifli olanları ipek parlaklığındadır. Rengi genellikle beyaz, sarımsıdır. Üfleçte kolayca erir. Doğada bazalt ve fonolit oyuklarında bulunur (Kıbaroğlu, 2007).



Şekil 3.10. Nartolit (Anonymous, 2007).

### 3.4. Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni  $1\ \mu\text{m}$ ' den küçük, küresel, amorf, camsı silis ( $\text{SiO}_2$ ) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür. Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya kısaca “silis dumanı” adı verilmektedir. Bu malzeme, “mikrosilis”, veya “silis tozu”, veya “silika fume” gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme olmasından dolayı ve yüksek miktarda  $\text{SiO}_2$  içermesi sebebiyle, mükemmel bir puzolanik malzemedir. Çalışmada kullanılan silis dumanı, Antalya Eti Elektrometalurji AŞ'den temin edilmiştir. Silis dumanı, silisyum madeni yada ferrosilikon gibi silisyum alaşımlarının imali sonucunda elde edilmiş aşırı derecede ince (Portland çimentosundan yaklaşık yüz kez daha ince çaplara sahip küresel şekilli berrak olmayan partiküllerdir) toz halinde bir üründür. Bu maddenin içindeki silisyum içeriği % 85'ten % 98'e varan oranlarda değişmektedir. Silis dumanının rengi genellikle açık gri ile koyu gri arasında değişir. İçindeki karbon içeriğinin artmasıyla koyuluk artar. Su ile karıştırıldığında, siyah

renkli bir bulamaç verir. Silis dumanı çok ince bölünmüş partiküllerden meydana gelir. Partiküllerin çoğu 0.1-0.2 mikrometre arasındadır. Çimento partiküllerinin ortalama büyüklük çapının yaklaşık 1/100'ü kadardır. Beton içerisinde kullanılan silis dumanının belirli yüzey alanı genellikle 130000 cm<sup>2</sup>/g ile 280000 cm<sup>2</sup>/g arasında değişmektedir. Yaklaşık olarak 200000 cm<sup>2</sup>/g'dır. Silis dumanının inceliği aşağıdaki diğer malzemeler ile karşılaştırılarak daha iyi örneklendirilir (Erdoğan, 1997).

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| Silis dumanı              | : 200000 cm <sup>2</sup> /gr    |
| Tütün dumanı              | : 100000 cm <sup>2</sup> /gr    |
| Uçucu kül                 | : 4000-7000 cm <sup>2</sup> /gr |
| Normal portland çimentosu | : 3000 cm <sup>2</sup> /gr      |

Silis dumanının özgül ağırlığı genellikle 2,2 ile 2,3 gr/cm<sup>3</sup> arasında bulunanlar betonda kullanım için uygundur. (Normal portland çimentosunun özgül ağırlığı yaklaşık 3.1gr/cm<sup>3</sup>'tür. Deneyimler beton içerisindeki silis dumanının optimum miktarının çimento ağırlığının % 10'una yakın olduğunu gösterir (Erdoğan, 1997). Genellikle silis dumanının sıkıştırılmamış birim ağırlığı 240-300 kg/m<sup>3</sup> civarındadır. Normal portland çimentosunun sıkıştırılmamış birim ağırlığı 1200 kg/m<sup>3</sup>'tür. Başka bir deyişle 50 kg çimento içeren bir çimento torbası, sıkıştırılmamış silis dumanının 33 sadece 10.5-12.5 kg'ını içine alabilir. Bu beton içerisinde kullanım için uygundur. Silis dumanının kimyasal bileşimi metal yada alaşım üretiminin türüne göre değişir. Bir ferrosilikon fırından elde edilen silis dumanı, bir silikon metal üreten fırından elde edilen silis dumanına göre daha çok demir ve magnezyum içermektedir. Çizelge 3.2'de çeşitli ülkelerden bazı tipik silis dumanlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir (Erdoğan, 1997).

### 3.4.1. Silis Dumanının Özellikleri

#### 3.4.1.1. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri



#### 3.4.1.1.1. Renk

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye değişen renkte olabilir. Koyuluk, içeriğindeki karbonun artmasıyla artmaktadır. Silis dumanı su ile karıştırıldığında rengi koyulaşmakta hatta siyaha dönüşmektedir ( Beycioğlu,ve ark,2009).

-Roş

Kromit

-Kuvarsit

-Kok

Elektrot

$\text{CO} + 2\text{SiO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SiO}_2$  (Silis Dumanı)

Ferro-siliko

#### 3.4.1.1.2. İncelik

Silis dumanı çok ince öğütülmüş parçalar içermektedir. Parçaların büyük çoğunluğunun boyu 0.1-0.2  $\mu\text{m}$  arasındadır. Bu boyut, bir Portland çimentosunun taneciklerinin ortalama boyutundan 100 kat daha küçüktür. Genelde 45  $\mu\text{m}$  eleğinin üzerinde kalan malzeme boyut üstü (kalın) olarak kabul edilmektedir. Kalın malzemenin silis dumanı içindeki yeri genellikle %6'nın altındadır. Silis dumanının özgül alanı Blaine aleti ile ölçülememektedir. Nitrojen emme yöntemi ile ölçülen özgül yüzeyi çoğunlukla 130.000-280.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$  arasında değişmektedir. Betonda kullanılan silis dumanı özgül yüzeyi 200.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$  civarındadır.

Silis dumanının inceliği diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyi görülmektedir:

Silis: ~ 200.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

Tütün Külü: ~ 100.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

Uçucu Kül: 4.000~7.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

Normal Portland Çimentosu: 3.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

#### 3.4.1.1.2. Özgöl Ağırlık

Beton için uygun olan silis dumanlarının özgöl ağırlıkları 2,1-2,3 arasındadır.(Portland çimentosunun özgöl ağırlığı 3.1 civarındadır).

#### 3.4.1.1.3. Gevşek Halde Birim Ağırlık

Silis dumanının üretildiği gevşek haldeki birim ağırlığı genelde 200~300 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Gevşek haldeki Portland çimentosunun birim ağırlığı ise 1500 kg/m<sup>3</sup>'tür. ( Beycioğlu,ve ark,2009).

#### 3.4.1.1.4. Pozolanik Aktivite ve Su İhtiyacı

Silis dumanı, çok ince olması ve yüksek silis içeriğinden dolayı genel olarak oldukça yüksek pozolanik aktiviteye sahiptir.Çimentolu ortamda bulunduğu en önemli görevi, C2S ve C3S hidratasyonları sonucu oluşan Ca(OH)<sub>2</sub>'i bağlamak ve yeni bir CSH jeli meydana getirmektir. Bu jel çimento hamurunda normal olarak oluşan CSH jellerinden biraz farklıdır, yoğunluğu daha azdır ancak geçirimsizliği daha fazladır. Böylece silis dumanı taneleri, büyük kristaller yerine çok sayıda daha küçük ve daha sağlam Ca(OH)<sub>2</sub> kristallerinin oluşmasına yardımcı olmaktadırlar. Küçük kürecikler halindeki silis dumanı tanecikleri, uygun oranda akışkanlaştırıcı katkı kullanılması halinde, çimento taneleri arasındaki boşluklarda suyun yerini alarak daha yoğun bir çimento hamuru meydana getirebilmektedirler. Aşırı ince olmasından dolayı, silis dumanının su ihtiyacı oldukça fazladır. Bu su ihtiyacı, uçucu kül ve doğal pozolanlar için verilen üst sınırların çok üzerindedir. Tablo 1'de silis dumanının pozolanik aktivitesi ve su ihtiyacı için bulunan sonuçlar, uçucu kül ve doğal pozolanlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. ASTM C618'in sınırları Doğal pozolan F sınıfı çucu kül C sınıfı, uçucu kül Silis dumanı Dayanım aktivite indisi 28 günde kontrol numunesine oranla % min.75 , Su ihtiyacı Kontrol numunesinin % max.115.Silis dumanının pozolanik aktivitesinin ve su ihtiyacının uçucu kül ve doğal pozolan ile karşılaştırılması. Silis dumanının beton ve harç için etkili bir pozolanik malzeme olduğu ve elde edilen

betonların düz çimento hamuruna göre, daha süreksiz ve su geçirimsiz boşluk yapısına sahip olduğu belirtilmektedir.

#### **3.4.1.1.5. Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri ve Kompozisyonu**

Silis dumanının esas bileşeni kristalize olmayan amorf haldeki silistir. Genelde, beton içinde katkı olarak kullanılan silis dumanının  $\text{SiO}_2$  içeriği %85'in üzerindedir. İkinci esas bileşeni ise yanmamış karbon kalıntılarıdır.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriği ise %1 ile %2 civarındadır.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  gibi oksitler ise genelde %1'den az miktarda bulunur. Silis dumanının kimyasal özelliği, üretilen metalin ya da alaşımın tipine göre değişebilir. (Beycioğlu ve ark., 2009)

### **3.5. YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ**

Baradan ve ark.(2010), Beton ;çelik ve ahşap gibi bir çok yapı malzemesine kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Beton yüksek sıcaklık altında belirli bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirleyici gaz çıkarmaz. Bunun yanında betonun termik iletkenlik katsayısının düşük olması, betonarme içindeki donatı çeliğinin yüksek sıcaklığa karşı korunmasını sağlar. Beton elemanlar servis ömürleri boyunca,uzun süreli olarak farklı sıcaklık koşullarında kalırlar. Bazı elemanlar işlevleri gereği(baca, vb.)bu etki altındadır.Ayrıca açıkta kalan hiperstatik betonarme elemanlarda güneş enerjisinin bile önemli mertebelerde iç gerilmeler doğurduğu kanıtlanmıştır. Yapı elemanlarının betonarme hesaplarda öngörülme bu tür gerilmeler altında çatlaması,deforme olmaması istenir.

Yangın,katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması ile meydana gelen bir olaydır.Yangına dayanıklı yapı malzemeleri üretmek yangına karşı alınacak pasif önlemlerden bir tanesidir. Bu durum, yangından korunmada aktif önlemlerin (yangın söndürücüler,uyarı sistemleri vb) ve pasif önlemlerin (yangına dayanıklı ve yangından koruyucu yapı malzemeleri) önemini ortaya çıkarmıştır. Bu yönetmelikler bir binada bütün eleman ve birleşimlerin fonksiyonlarına, konum ve

taşıyıcı olup olmadıklarına bakılmaksızın belirli bir süre yangına karşı dirençli olmaları büyük ölçüde duman ve zehirli gaz çıkarmaları bir çok ülkede yönetmelikleri zorunlu kılınmıştır. Beton ve çelik yanıcılık açısından sınıflandırıldığında A1 sınıfı hiç yanmaz malzemeler gurubuna girerler. Ancak bu malzemeler alev alıp yanmasalar bile yangın esnasında oluşan yüksek sıcaklığın etkisiyle zarar görürler ve çökerek can ve mal kaybına yol açabilirler. Hasarın mertebesi bir çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında en önemlileri ulaşılan en sıcaklık derecesi ve malzemenin bu sıcaklığa maruz kalma süresidir. Baradan ve ark.(2010)

Çeliğin ve betonun termik genleşme katsayıları birbirine yakındır ( $-1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ). Benzer şekilde çimento harcı ile iri agreganın termal özelliklerinin birbirine yakın olması istenir. Böylece sıcaklık nedeniyle oluşacak farklı uzamaların en alt düzeyde kalması ve betonarme eleman içinde parazit gerilmeler oluşmaması sağlanmış olur. Baradan ve ark.(2010).

250°C'nin altındaki sıcaklıklarda betonun dayanımının etkilenmediği söylenebilir. 250°C civarındaki sıcaklıklara ise beton belirli süre dayanabilmektedir. Betonarme yapı elemanın yüksek sıcaklığa dayanıklılığı ise, pas payı tabakasının kalınlığı, alevin içeriye sızmasına karşı direnci ve ısı transferine karşı direnci gibi parametrelerden etkilenmektedir. Elamanın yük taşıma kapasitesi ve yükleme seviyesi de önemli faktörlerdir. Yüksek sıcaklık betonun dış yüzeylerinde ayrışmaya , kabuk halinde dökülmeye neden olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklık betonarme elemanların ek yerlerinde, betonun iyi sıkıştırılmamış bölgelerinde ve donatıların bulunduğu bölgelerde çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Özellikle pas payının az tutulduğu durumlarda, çeliğin ısıyı çok iyi transfer etmesi zararın mertebesini arttırır. Zararın mertebesini arttırır.

Sıcaklık 300°C nin üzerinde olduğunda betonda belirgin bir dayanım kaybı olmaktadır. Sıcaklığın etkili olduğu süre ,1 saat gibi kısa bir süre ise dayanımda az da olsa düzelmeler dahi olabilir. Suya doymun betonlarda dayanım kaybı kuru betonlara göre daha fazladır. Baradan ve ark.(2010)

Beton bünyesinde su üç farklı şekilde bulunur. Bunlar, hidrate çimento jelinin bünyesinde bulunan hidrat suyu, jel boşluklarında adsorplanmış olan jel suyu, büyük kapiler boşluklardaki ve agregaların boşluklarındaki bulunun serbest sudur. Kılcal boşluklardaki serbest su, CSH'ların içindeki hidrat sularına oranla daha kolay buharlaşır. Bu sular 100°C civarında buharlaşmaktadır. Beton içindeki serbest su, çimento türüne, betonun su/çimento oranına ve ortam koşullarına bağlı olarak betonda büyük mertebeler ulaşabilmektedir. Serbest suyun kaybı ile betonda oluşacak büzülme ve beton içinde oluşan buhar basıncı, pas payı tabakasının çatlamasına ve parçalanarak dökülmesine yol açar. Burada sıcaklığın artış hızı da önemli bir parametredir. Sıcaklığın 300°C'yi aşması durumunda normal şartlarda buharlaşmayan bağlı suların da uçması hasarın mertebesini artırır. Beton basınç dayanımında düşüşler görülmeye başlar.

400 °C'yi aşan sıcaklıklarda ise CSH'ların tahrip olmaya başlar ve beton dayanımı hızları azalır. Betonun dayanımının hızla azaldığı ,900°C civarında ise CSH yapısının tamamen dağıldığı görülür. Baradan ve ark.(2010)

Çimento hamurunda bulunan bir diğer bileşen  $\text{Ca(OH)}_2$ 'in 400°C civarında sönmemiş kirece ( $\text{CaO}$ ) dönüşür. Beton içindeki kirecin, sönmemiş kirece dönüşmesi yaklaşık %33 civarında bir büzülme oluşması demektir. Yangını söndürmek için sıkılan su, oluşan  $\text{CaO}$ 'in tekrar  $\text{Ca(OH)}_2$  'e dönüşmesine neden olmaktadır. Ve buda %44 oranında bir hacim artışına sebep olmaktadır. Çok kısa bir zaman aralığı içerisinde büzülen ve genleşen beton içinde parazit gerilmeler oluşur. Bu durum hasarın büyümesine neden olur. Bu sırada boşluklu bir yapıya sahip olan betondan dışarıya  $\text{Ca(OH)}_2$  süzülür. Yangın geçirmiş betonarme yapılarda gözlenen kireç lekeleri 550°C nin aşıldığı şeklinde yorumlanabilir.

Betonun rengi maruz kaldığı sıcaklık derecesine bağlı olarak değişir. Bu renk değişimi kalıcı olduğundan, yangın sırasındaki sıcaklık derecesini ve kalan dayanımı tahmin edebilmek mümkündür. Genellikle renk, pembeyi, aşan tonlarda ise beton dikkatle incelenmelidir. Griyi aşan, kül renklerinde ise beton ufalanabilir, gözenekli yapıdadır. Baradan ve ark.(2010)

Yangın nedeniyle donatı akma çeliğinin dayanım ,akma sınırı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinde azalmalar ve iç yapısında değişiklikler meydana gelir.Yangın etkisindeki betonarme binalarda tipide önem kazanmaktadır..Donatı ‘‘kritik sıcaklık’’ denilen bir sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda çekme dayanımı kaybına uğrar.Kritik sıcaklık ve dayanımda azalma yüzdelerinin donatı türüne göre değişimi Tablo 3.1’te gösterilmiştir. Baradan ve ark.(2010)

Çizelge 3.1. Kritik sıcaklık ve dayanımda azalmanın çelik donatı türüne göre değişimi

| Donatı tipi                 | Cinsi                | Kritik sıcaklık(°C) | Dayanım kaybı |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Normal                      | Yumuşak çelik        | 550                 | 600°C de %25  |
|                             |                      |                     | 650°C de %50  |
|                             | Yarı sert çelik      | 500                 | 550°C de %25  |
|                             |                      |                     | 600°C de %50  |
| Öngerilemeli Beton Donatısı | Sert çelik           | 450                 | 500°C de %25  |
|                             |                      |                     | 550°C de %50  |
|                             | Kablolar ve Toronlar | 300                 | 350°C de %25  |
|                             |                      |                     | 400°C de %50  |

Özellikle sert ve öngerilmeli beton donatılarında 400-450 ‘C gibi sıcaklık derecelerinde %50 ‘ye varan dayanım kayıpları görülmektedir.Betonarme yapılarda kullanılan yapı çeliklerinin yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıpları 200 °C sıcaklıkta çekme dayanımında görülen artış, dislokasyonların yoğun olduğu tane sınırlarına azot atomlarının difuzyonuna bağlanmaktadır.Ancak 300°C aşıldığında bu etki kaybolur,dayanım ve akma sınırlarında düşmeler başlar.Sıcaklık 600 °C’a yükselince donatı dayanımının yaklaşık yarısını kaybeder.Yangınlarda sıcaklığın 600°C ‘ye kolaylıkla ulaşabildiği ve hatta 1200 °C gibi çok yüksek sıcaklıkların da oluşabileceği bilinmektedir.Bu sıcaklıklarda çelik geri dönmeyen (plastik) deformasyonlara uğramaktadır.Yüksek sıcaklıklara maruz kalan çeliğin elastisite modülünde de düşmeler görülmektedir.Elastisite modülündeki bu azalma 400°C’de %15, 600°C’de ise %40

civarlarındadır.Beton pas payı tabakası kalınlığının yetersiz olduğu durumlarda ,yüksek sıcaklık altında çeliğin elastisite modülünün azalması ,aynı yük altında çok daha fazla uzaması anlamına gelir.Bu durumda çelik donatı beton örtü tabakasını parçalar. Baradan ve ark.(2010)

Doğrudan yangın etkisinde kalan çelik donatı çevresinde ayrıışmış ince beyazımsı bir tabaka görülür.Bu nedenle beton pas payı tabakasının,sıva ve izolasyon malzemelerinin kalınlığının ve kalitesinin,çeliği yeterli süre yüksek sıcaklık etkisinden koruyacak şekilde seçilmesi gereklidir. Baradan ve ark.(2010)

Yüksek sıcaklığa dayanıklı beton üretiminde bağlayıcı olarak en iyi sonucu alüminli çimento vermektedir.Ancak alüminli çimentoların asidik karakteri ve yüksek maliyeti nedeniyle betonarme taşıyıcı elemanlarda kullanımı uygun değildir.Araştırma sonuçları uçucu küllü çimentoların normal Portland çimentolarına kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.Ayrıca puzolanik maddelerin kullanılması hasarın mertebesini azaltmaktadır. Baradan ve ark.(2010)

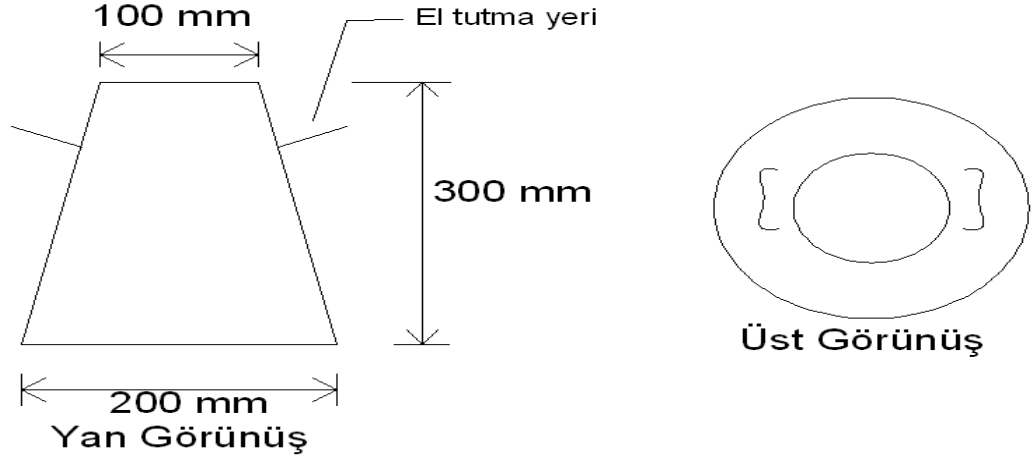
### **3.6. Beton Deneyleri**

Hazırlanan beton karışımlarına taze ve sertleşmiş haldeyken çeşitli deneyler uygulanmıştır.

#### **3.6.1. Taze Beton Deneyleri**

##### **3.6.1.1. Slump (Çökme) Deneyi**

Bu deneyin amacı betonun kıvamını test etmektir. Betonun işlenebilme özelliğini öğrenme amaçlı çeşitli deneyler yapılmaktadır. İnşaat sektöründe ve bilimsel çalışmalarda da çok uygulanan bir deneydir.



Şekil 3.11. Slump (Çökme) Deneyi

Yapılan deneyde şekil 3.10'te de ölçüleri verilen kesik huninin içine beton üç kademedeki ve her kademesinde 25 defa şişlenerek doldurulur. Şişlenerek betonun tam sıkışması sağlanmalıdır. Betonun üst kısmı düzeltildikten sonra, slump hunisi yavaşça yukarı doğru çekilir. Kullanılan şiş yardımıyla çökme miktarı tespit edilir.

### 3.6.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

#### 3.6.2.1. Basınç Deneyi

Tahribatlı test yönteminde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Bu deney için Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi Laboratuvarında bulunan 300 ton kapasiteye sahip tek eksenli basınç presisi kullanılmıştır. Basınç deneylerinde yükleme hızı saniyede 0.35 Mpa olarak sabit tutulmuştur. Bu amaçla daha önceden hazırlanan küp beton numuneleri 28. günde kırılarak kırılma anındaki okunan değer;denklemden yerine konularak bulunan basınç dayanımı değerleri verilmiştir.



Bu deneyde 10\*10\*10 cm boyutlarındaki beton küp numuneleri pres üzerinde test edilerek dayanımların ölçülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.12. Basınç Dayanımı Test Cihazı

#### 3.6.2.2. Basınçlı Su Geçirgenliği Deneyi

Kürden alınan 15\*15\*15 cm lik numuneler, 105°C de standart kuruluğa ulaştırıldıktan sonra, tabandan iletilen basınçlı su yüksekliğinin bulunabilmesi için tabandan 5-8 cm yüksekliğe kadar parafinle kenar yüzeyleri kaplanmış, tabandan iletilen basınçlı suyun numune içerisinde yükseldikten sonra kenarlardan çıkışı engellenmiştir. Şekil 2 de görülen; basınçlı su geçirgenliği deney aletine yerleştirilen numuneler 5 bar basınç altında 72 saat süresince basınçlı suya maruz bırakılmıştır. 72 saat sonunda deney düzeneğinden alınan numuneler yarma deneyi yapılarak ikiye bölünmüş ve tabandan itibaren su işleme derinliği dijital kumpas yardımıyla 10'ar adet farklı noktada ölçülmüştür. Deney sonunda her bir numune için alınan bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları bulunup su işleme derinliği belirlenmiştir.



Şekil:3.13. Basıncılı Su Geçirgenliği Deneyi

### 3.6.2.3. Kapiler Su Emme Deneyi

Kapiler su emme deneyi, Taşdemir (2003) 'in tarif ettiği şekilde yürütülmüştür. Bu amaçla, kür havuzundan alınan 10\*10\*10 cm lik numuneleri 105 'c de 24 saat bekletip standart kuruluğa ulaştıktan sonra, numunelerin 3-4 cm'lik taban çevresindeki kenarları parafinle su geçirmez hale getirilerek, numunelerin sadece tabandan su emmeleri sağlanmıştır. Bu yolla numunelerin aşağıdaki (1) nolu bağıntı kullanılarak numunelerin kapiler su emme katsayıları belirlenmiştir. Numuneler belirli zamanlarda (1.4.9.16.25.36.49.64.81.100.121.144 dk.) tartılarak kapiler olarak emdikleri su miktarları ölçülmüştür, kapiler su emme katsayıları (1) nolu bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Formülde;

$Q$ = numunenin kapilarite yoluyla emdiği su miktarı ( $\text{cm}^3$ ),

$A$ = suya temas eden yüzeyin alanı ( $\text{cm}^2$ ),

$k$ = kapiler su emme katsayısı ( $\text{cm/s}^{1/2}$ )

$t$ = zaman (s) parametrelerini belirtmektedir.

Formüldeki her  $\sqrt{t}$  zamanında (1,4,9,16,25,36,49,64,81,100,121,144 dk.) ilk ona karşılık gelen  $Q/A$ 'lar arasında grafik çizdirilerek ve bu değerlerden geçirilen doğrunun eğimi kapilarite katsayısı olarak alınmıştır.

#### 3.6.2.4. Su Emme Deneyi

28 gün sonunda kür havuzundan alınan numune doygun yüzey kuru hale getirildikten sonra tartılır.( $M_2$ ), Etüve konur 24 saat kurutulan beton numunenin ağırlığı tartılır( $M_1$ ),ve aşağıdaki formülle .

$m_i = [(M_2 - M_1) / M_1] * 100$  betonun su emme değeri belirlenmiştir.10\*10\*10 cm lik numuneler de yapılan bu deneyle  $m_i$ : betonun su emme oranı ( % ) bulunmuştur

Su emme,

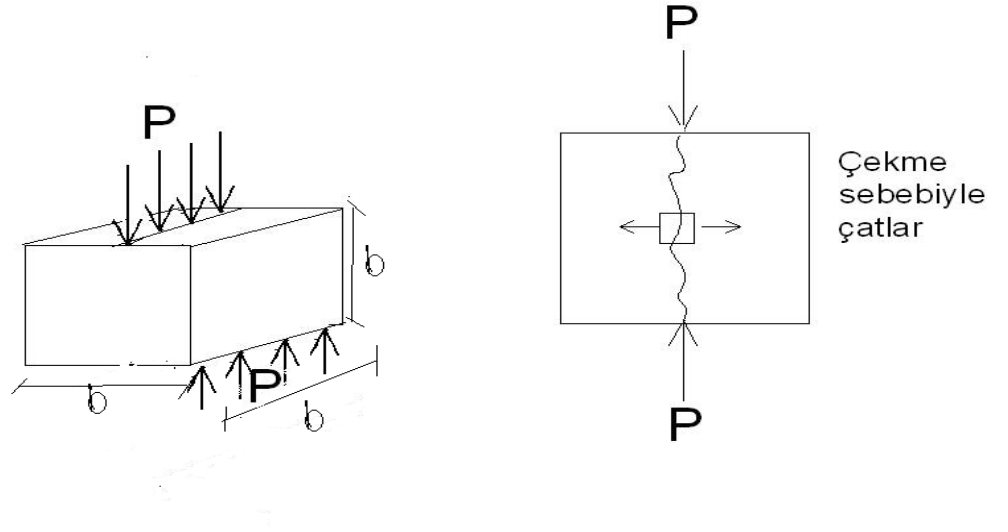
$m_i$  : İnce agreganın su emme oranı ( % )

$M_1$  : Numunenin etüv kurusu ağırlığı ( gr)

$M_2$  : Numunenin DKY(doygun yüzey kuru ) durumdaki ağırlığı ( gr )

### 3.6.2.5. K p Yarma Deneyi

K p yarma deneyi 15\*15\*15 cm boyutlarındaki k p numunelerden oluşur. Bu numune deney gününe kadar k rde bekler. K p prese yerleştirilir ve çizgisel yük alabilmesi için 1cm genişliğinde bir ahşap çita kullanılarak yük dağılımı sağlanır. Presin uyguladığı basınç k p numunede çekme gerilmesi oluşturarak küpün çekmeye karşı dayanımını belirler.



şekil 3.14..K p Yarma Deneyi

$$b=15 \text{ cm , } h=15 \text{ cm } \quad \sigma = \frac{2.P}{\pi.h.R}$$

## 4. MALZEME ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları verilmektedir. Hazırlanan numune boyutları ve bu numuneler üzerinde yürütülen deneyler hakkında bilgi verilmektedir.

### 4.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

#### 4.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1:2002 ile uyumlu normal (CEM I 42,5 R) Portland çimentosu olup, Adana Çimento Sanayi tarafından üretilmiştir. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilip, nem alarak topaklaşma göstermemesi için de çimento, özel koruyucu kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Çimentoya (CEM I 42,5 R) ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2.de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşim

| Kimyasal Analiz                          | Analiz Sonuçları (%) |
|------------------------------------------|----------------------|
| SiO <sub>2</sub>                         | 19,55                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 5,31                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 4,15                 |
| Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 0,06                 |
| CaO                                      | 62,3                 |
| MgO                                      | 3,14                 |
| SO <sub>3</sub>                          | 2,55                 |
| Na <sub>2</sub> O                        | 0,36                 |
| K <sub>2</sub> O                         | 0,88                 |
| Na <sub>2</sub> O +0,658K <sub>2</sub> O | 0,94                 |
| Erimez Kalıntı                           | 0,42                 |
| Serbest CaO                              | 0,31                 |
| Kızdırma Kaybı                           | 1,73                 |

Çizelge 4.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

| Fiziksel Özellikler                    |                                   | Sonuçlar |
|----------------------------------------|-----------------------------------|----------|
| Özgül Ağırlık<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |                                   | 3,15     |
| Priz Süresi                            | İlk (saat:dakika)                 | 03:05    |
|                                        | Son (saat:dakika)                 | 03:50    |
| İncelik                                | Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr) | 3230     |
|                                        | 0,090 mm elekte kalıntı %         | 0,3      |
|                                        | 0,045mm elekte kalıntı %          | 5,2      |

#### 4.1.2. Zeolit

Zeolit mikro gözenekli kristal yapılı, yüksek su emme özelliğine ve geniş yüzeye sahip hafif bir malzemedir. Doğal ve yapay zeolitlerin betonların kimyasal bileşimlerini olumlu etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, Manisa-Gördes bölgesinden temin edilen zeolit kullanılmıştır. Zeolitler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddeleri arasındadır. Zeolit çok küçük gözenekli yapıya sahip malzemedir. Zeolitler, gerek doğal zeolitler gerekse sentetik zeolitler olarak çok geniş bilimsel ve teknolojik tabana sahiptir. Kristal yapı ve kimyasal özellikleri dolayısıyla moleküler elek, iyon değiştirici ve absorban alanlarda geniş kullanıma sahiptirler (Breck, 1974). Zeolitik tüf yatakları birçok ülkede puzzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzzolanlar, beton ürünün yer altı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir (Erdem vd., 1997). Doğal zeolitlerin kullanılmasıyla elde edilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliği ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin hem ilk yatırımlarında hem de yapıların kullanımları süresince ortaya çıkan enerji harcamalarında önemli tasarruflar sağlayacaktır (Bektasvd.,2003).

Çizelge 4.3. Kullanılan Zeolitin kimyasal özellikleri

| Kimyasal Analiz                               | Analiz Sonuçları (%) |
|-----------------------------------------------|----------------------|
| SiO <sub>2</sub>                              | 68,82                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                | 14,16                |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                | 1,84                 |
| CaO                                           | 1,91                 |
| MgO                                           | 1,1                  |
| SO <sub>2</sub>                               | 0,13                 |
| H <sub>2</sub> O                              | 7,38                 |
| K <sub>2</sub> O                              | 3,4                  |
| Özgöl ağırlık<br>gr/cm <sup>3</sup>           | 2,22                 |
| Özgöl yüzey<br>(Blaine), (cm <sup>2</sup> /g) | 8970                 |

#### 4.1.3. Su

Deneyselerde kullanılan karışım ve kür suyu İskenderun şehir şebekesinden alınan içme suyudur. Beton karışım ve kür suyunun kalitesi ile ilgili özel bir Türk Standardı yoktur. Kaynaklarda karma suyu, genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir.

#### 4.1.4. Akışkanlaştırıcı ve özellikleri

Deneysel çalışmalarda, karışımların çökmeleri 18 cm (+-) 2 cm olacak şekilde yks-BASF firmasından elde edilen Glenium 51 tipi akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan akışkanlaştırıcı ASTM C 494 standardına uygun süper akışkanlaştırıcı katkı türüdür.

#### 4.1.5. Silis dumanı

Çalışmalarda kullanılan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalurji fabrikasından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan silis dumanının özgül ağırlığı  $2,32 \text{ gr/cm}^3$  ve birim ağırlığı  $245 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Silis dumanının  $45 \text{ }\mu\text{m}$  elek üzerinde kalıntısı %4.8 dir. Silis dumanının kimyasal ve fiziksel analizi çizelge 1'de verilmiştir

Çizelge 4.4: Silis dumanı kimyasal ve fiziksel özellikleri

| Çimento Tipi         |                                                | Silis dumanı |
|----------------------|------------------------------------------------|--------------|
| Fiziksel Özellikleri | Özgül ağırlık, $\text{g/cm}^3$                 | 2,32         |
|                      | 200 elekte kalan %                             | -            |
|                      | 90 elekte kalan %                              | -            |
|                      | Özgül yüzey (Blaine), $(\text{cm}^2/\text{g})$ | 21080        |
|                      | Magnezyum oksit (MgO)                          | -            |
| Kimyasal Bileşim (%) | Alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )    | 0,71         |
|                      | Silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ )            | 90,36        |
|                      | Kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ )                | 0,45         |
|                      | Demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )        | 1,31         |
|                      | Kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ )              | 0,41         |
|                      | Potasyum oksit ( $\text{K}_2\text{O}$ )        | 1,52         |
|                      | Sodyum oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ )         | 0,45         |
|                      | Kızdırma kaybı                                 | 3,11         |
|                      | Serbest kireç ( $\text{CaO}$ )                 | -            |
|                      | Çözünmeyen kalıntı                             | 2,2          |
|                      |                                                |              |
|                      |                                                |              |



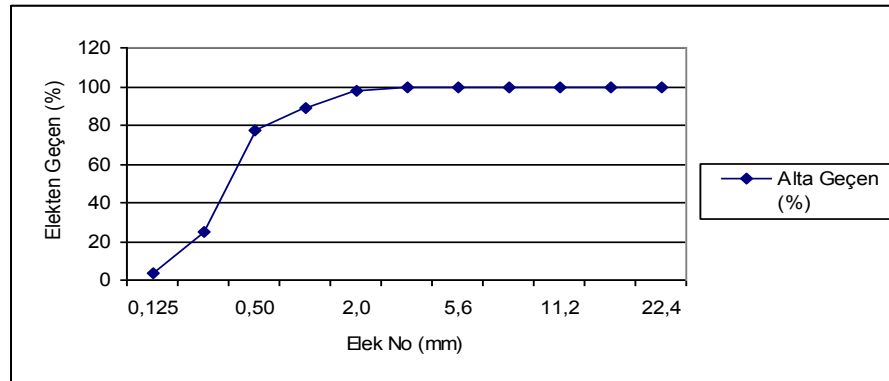
#### 4.1.6. Agregat

##### 4.1.6.1. İnce Agregat (Doğal Kum)

Beton numunelerin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz kum kullanılmış olup, kuma ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.4 ve Şekil 4.1’de verilmiştir. Aynı şekilde, bu kuma ait fiziksel özellikler de çizelge 4.5’ te sunulmaktadır. Kullanılan kumun beton ve harç üretiminde kullanılması (ASTM-C33)’e uygundur. Kullanılan agregaların piknometre deney sonucuna göre ;0-4 mm kırma kum için :  $\gamma = 2.60 \text{ gr/cm}^3$  alınmıştır

Çizelge 4.5.. Beton numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi sonuçları

| ELEK<br>AÇIKLIĞI  | DOĞAL KUM   |             |            |
|-------------------|-------------|-------------|------------|
|                   | ÜSTTE KALAN | ÜSTTE KALAN | ALTA GEÇEN |
| mm                | Ag(gr)      | (%)         | (%)        |
| 22,4              | -           | 0           | 100        |
| 16                | -           | 0           | 100        |
| 11,2              | -           | 0           | 100        |
| 8                 | -           | 0           | 100        |
| 5,6               | 0,5         | 0           | 100        |
| 4                 | 1           | 0           | 100        |
| 2                 | 10,6        | 2           | 98         |
| 1                 | 46,9        | 11          | 89         |
| 0,5               | 99,2        | 23          | 77         |
| 0,25              | 326,6       | 75          | 25         |
| 0,125             | 419,7       | 96          | 4          |
| İNCELİK<br>MODÜLÜ | -           | 2,07        | -          |



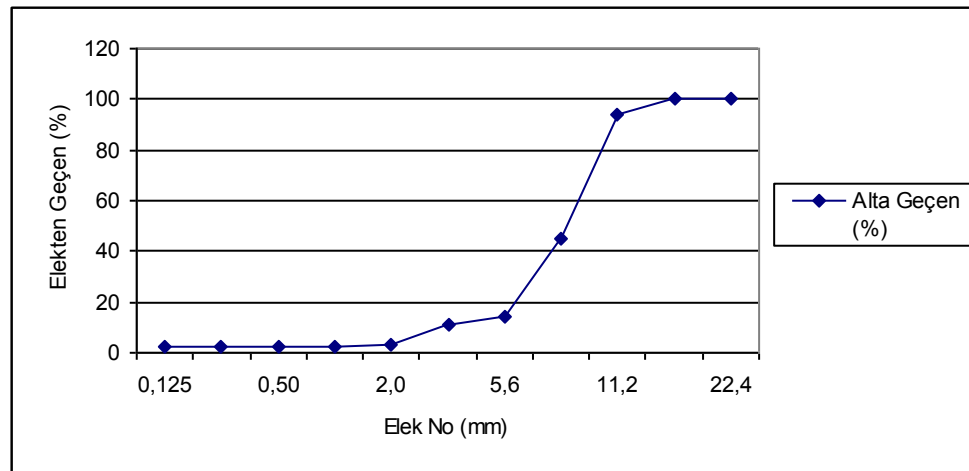
Şekil 4.1. Beton numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi grafiği

#### 4.1.6.2. İri Agregat (Kırma taş 4-11 mm)

Beton numunelerin hazırlanmasında iki farklı granolometri aralığına sahip agregat kullanılmıştır. Bunlarda 4-11 mm dane çapı aralığının sahip agregatıdır. Bu agregata ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.6 ve Şekil 4.2’de sunulmaktadır. Kullanılan agregatların piknometre deney sonucuna göre ;4-11 mm ,iri agregat için :  $\gamma = 2.55 \text{ gr/cm}^3$  alınmıştır

Çizelge 4.6 Beton numunelerde kullanılan (5-11 mm) agregata ait elek analizi sonuçları

| ELEK<br>AÇIKLIĞI  | 1 NO KIRMATAŞ (5-11 mm) |                    |                   |
|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Mm                | ÜSTTE KALAN<br>Ag(g)    | ÜSTTE KALAN<br>(%) | ALTA GEÇEN<br>(%) |
| 22,4              |                         | 0                  | 100               |
| 16                |                         | 0                  | 100               |
| 11,2              | 44,8                    | 6                  | 94                |
| 8                 | 238,5                   | 30                 | 45                |
| 5,6               | 588,6                   | 74                 | 14                |
| 4                 | 714,8                   | 89                 | 11                |
| 2                 | 770,8                   | 96                 | 3                 |
| 1                 | 780,8                   | 98                 | 2                 |
| 0,5               | 786,1                   | 98                 | 2                 |
| 0,25              | 789,4                   | 99                 | 2                 |
| 0,125             | 791,5                   | 99                 | 2                 |
| İNCELİK<br>MODÜLÜ |                         | 6,89               |                   |



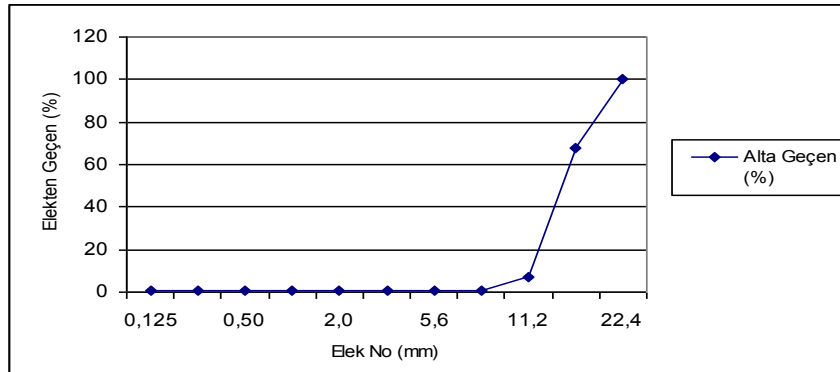
Şekil 4.2 Agregat Elek Analizi (4-11 mm)

#### 4.1.6.3. İri Agregaya (Kırma taş 11-22 mm)

Beton numunelerin hazırlanmasında iki farklı granolometri aralığına sahip agregaya kullanılmıştır. Bunlarda 11-22 mm dane çapı aralığının sahip agregadır. Bu agregaya ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.7 ve Şekil 4.3'te sunulmaktadır. Kullanılan agregaların piknometre deney sonucuna göre ;11-22 mm ,iri agregaya için :  $\gamma = 2.70 \text{ gr/cm}^3$  alınmıştır

Çizelge 4.7 Beton numunelerde kullanılan (11-22mm) agregaya ait elek analizi sonuçları.

| ELEK<br>AÇIKLIĞI  | 2 NO KIRMATAŞ(11-22 mm) |                    |                   |
|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Mm                | ÜSTTE KALAN<br>Ag(g)    | ÜSTTE KALAN<br>(%) | ALTA GEÇEN<br>(%) |
| 22,4              |                         | 0                  | 100               |
| 16                | 93,9                    | 13                 | 68                |
| 11,2              | 680,5                   | 97                 | 7                 |
| 8                 | 693,7                   | 99                 | 1                 |
| 5,6               | 696,1                   | 99                 | 1                 |
| 4                 | 698,2                   | 100                | 1                 |
| 2                 | 700                     | 100                | 1                 |
| 1                 | 700,1                   | 100                | 1                 |
| 0,5               | 700,3                   | 100                | 1                 |
| 0,25              | 700,5                   | 100                | 1                 |
| 0,125             | 700,7                   | 100                | 1                 |
| İNCELİK<br>MODÜLÜ |                         | 9,08               |                   |



Şekil 4.3. Agregaya Elek Analizi (11-22 mm)

## 4.2. Deney Metotları

### 4.2.1. Hazırlanacak Numune Tipleri

Deneyler Zeolit-Silis dumanı içeren ve içermeyen beton karışımlar üzerinde yürütülmüştür. Yapılan bu deneyler kısım 4.2.2.'de verilmektedir. Deneylerde 0.4 s/ç oranında 400 dozlu beton numuneler kullanılmıştır. Çalışmalar bu numuneler üzerinde yürütülmüştür. Zeolitin ve silis dumanının değişim yüzdesi %0-%0, %10-%0, %20-%0, %30-%0, %10-%8, %20-%8, %30-%8 olup çimento ile ağırlıkça yer değişimi şeklindedir.

Yukarıdaki özelliklere sahip olarak hazırlanan beton numuneler ve su içinde küre tabi tutulmuş olup, ortam sıcaklığı  $20 \pm 2$  °C dır.

### 4.2.2. Deneysel Çalışmalar

#### 4.2.2.1. Yürütülen Deneyler

- 1) Kimyasal bileşimlerin tayini,
- 2) Basınç dayanımı: %0-%0, %10-%0, %20-%0, %30-%0, %10-%8, %20-%8, %30-%8 zeolit-silis dumanı ikamesiyle hazırlanan 0.4 su/çimento oranında beton numuneler 28 gün sonunda basınç testine tabi tutulmuştur.
- 3) Silindir Yarma dayanımı: %0-%0, %10-%0, %20-%0, %30-%0, %10-%8, %20-%8, %30-%8 zeolit-silis dumanı ikamesiyle hazırlanan 0,4 su/çimento oranında 10\*10\*10 boyutlarındaki küp numunelere yarma deneyi uygulanarak, 28. gün çekme dayanımları bulunmuştur.

- 4) Kapiler su emme ; : %0-%0, %10-%0, %20-%0, %30-%0, %10-%8, %20-%8, %30-%8 zeolit-silis dumanı ikamesiyle hazırlanan 0.4 su/çimento oranında ;10\*10\*10cm lik beton numuneler suyla temas eden kısımları hariç diğer kenarları parafinlenerek deney uygulanmış (1,4,9,16,25,36,49,64,81,100,121,144 dk) zaman aralıklarında tartılarak sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlar gerekli formüllerde kullanılıp  $k = \text{kapiler su emme katsayısı (cm/s}^{1/2}\text{)}$  'ları belirlenmiştir.
- 5) Basınçlı su geçirgenliği ; : %0-%0, %10-%0, %20-%0, %30-%0, %10-%8, %20-%8, %30-%8 zeolit-silis dumanı ikamesiyle hazırlanan 0.4 su/çimento oranında hazırlanan;15\*15\*15 cm lik beton numuneler üzerinde, basınçlı su etki yüzeyi haricinde, bu yüzeyin çevresindeki kenarlar deney yapılış şekli ve su çıkışının olmamamsı için parafinlenmiş ve 5 bar basınç altında 72 saat süresince basınçlı suya maruz bırakılmıştır. 72 saat sonunda deney düzeneğinden alınan numuneler yarma deneyi yapılarak ikiye bölünmüş ve tabandan itibaren su işleme derinliği dijital kumpas yardımıyla 10'ar adet farklı noktada ölçülmüştür. Deney sonunda her bir numune için alınan bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları bulunup su işleme derinliği belirlenmiştir.
- 6) Su emme,
- mi : İnce agreganın su emme oranı ( % )
- M1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı ( g )
- M2 : Numunenin DKY(doygun yüzey kuru ) durumdaki ağırlığı ( g )
- 28 gün sonunda kür havuzundan alınan numune yüzeyi kurutulduktan sonra tartılır(M2), Etüve konur 24 saat kurutulan beton numunenin ağırlığı tartılır(M1), ve aşağıdaki formülle .
- $$m_i = [(M_2 - M_1) / M_1] * 100$$
 betonun su emme değeri belirlenmiştir. 10\*10\*10 cm lik numuneler de yapılan bu deneyle mi: betonun su emme oranı ( % ) sonuçlar bulunmuştur.
- 7) 2,3,4,5 ve 6 .maddelerdeki, deneyler 450 °C'de 3 saat bırakılan numeneler üzerinde tekrarlanmıştır.

#### 4.2.3 Notasyon

Deneylerden elde edilen sonuçlar çizelgelerde gösterilirken aşağıdaki notasyon kullanılacaktır.

M1 0,4 su/çimento oranlı, dozlu şahit karışımları, M2-M3-M4-M5-M6-M7 harfleri ise 0,4 su/çimento oranlı dozlu %0-%0, %10-%0, %20-%0, %30-%0, %10-%8, %20-%8, %30-%8 8 zeolit-silis dumanı ikamesinin çimentonun ağırlığınca olan yüzdesini göstermektedir.

Çizelge 4.8 Notasyon

| Numune İsimleri | Su/Çimento | DOZ | Zeolit-Değişim Oranı | Silis dumanı Değişim Oranı |
|-----------------|------------|-----|----------------------|----------------------------|
| M1              | 0,4        | 400 | Şahit(%0-%0)         | Şahit(%0-%0)               |
| M2              | 0,4        | 400 | 10%                  | 0%                         |
| M3              | 0,4        | 400 | 20%                  | 0%                         |
| M4              | 0,4        | 400 | 30%                  | 0%                         |
| M5              | 0,4        | 400 | 10%                  | 8%                         |
| M6              | 0,4        | 400 | 20%                  | 8%                         |
| M7              | 0,4        | 400 | 30%                  | 8%                         |

#### 4.2.4 Karışım Dizaynları

1 M<sup>3</sup> betona giren malzeme miktarları (kg)

Çizelge 4.9 Karışım dizaynları

| Karışımlar | Su    | Çimento | Zeolit | Silis dumanı | Süper<br>akışkanlaştırıcı | Agrega 0-4 | Agrega 4-11 | Agrega 11-22 |
|------------|-------|---------|--------|--------------|---------------------------|------------|-------------|--------------|
| M1         | 180,0 | 450,0   | 0,0    | 0,0          | 13,5                      | 700,9      | 474,7       | 502,6        |
| M2         | 180,0 | 405,0   | 45,0   | 0,0          | 16,8                      | 694,2      | 470,1       | 497,8        |
| M3         | 180,0 | 360,0   | 90,0   | 0,0          | 20,2                      | 687,5      | 465,6       | 492,9        |
| M4         | 180,0 | 315,0   | 135,0  | 0,0          | 40,2                      | 680,7      | 461,0       | 488,1        |
| M5         | 180,0 | 369,0   | 45,0   | 36,0         | 20,2                      | 688,8      | 466,5       | 493,9        |
| M6         | 180,0 | 324,0   | 90,0   | 36,0         | 40,2                      | 682,1      | 461,9       | 489,1        |
| M7         | 180,0 | 279,0   | 135,0  | 36,0         | 46,8                      | 675,3      | 457,3       | 484,3        |

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 5.1 Sertleşmiş Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

#### 5.1.1 Basınç Deneyi

28 gün suda bekletilen 10\*10\*10 cm boyutlarındaki küp numunelerden elde edilen basınç dayanımları Çizelge 5.1’ de verilmektedir.

Çizelge 5.1: Basınç Deneyi Sonuçları (Kürden çıkarılan numuneler)

| KARIŞIMLAR | BASINÇ DAYANIMI (Mpa) |
|------------|-----------------------|
| M1         | 62,92                 |
| M2         | 69,85                 |
| M3         | 69,43                 |
| M4         | 50,91                 |
| M5         | 78,70                 |
| M6         | 61,75                 |
| M7         | 43,15                 |

Çizelge 5.1 incelendiğinde, sadece zeolit katkılı numunelerde %20 ‘ye kadar zeolit katkısının basınç dayanımını arttırdığı, daha yüksek miktarda zeolit katkısının ise dayanımı şahit numuneye göre düşürdüğü görülmektedir. Silis dumanının basınç dayanımına olumlu etkisi %10 zeolit içeren numunelerde oldukça belirgindir. Bu numuneler 78,69 Mpa ile 62,92 Mpa basınç dayanımına sahip şahit numunelerden oldukça yüksek basınç dayanımı değeri vermişlerdir. %20 zeolit + %8 silika dumanına sahip M6 karışımları şahit numuneye yakın dayanımı değerleri vermelerine rağmen %20 zeolit içeren M3 karışımlarının altında basınç dayanımı değeri vermişlerdir. M6 ve M7 karışımlarında silika dumanının basınç dayanımına olumlu bir etkisi görülmemektedir

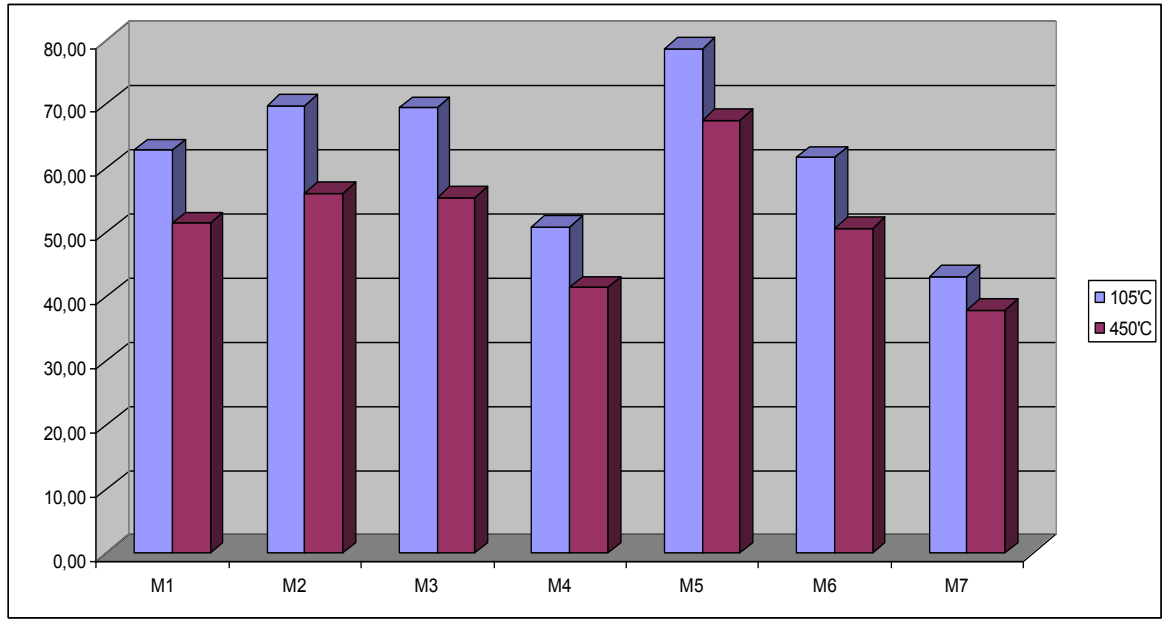


Çizelge 5.2: Basınç Deneyi Sonuçları (450 C sıcaklığa maruz numuneler)

| KARIŞIMLAR | BASINÇ DAYANIMI<br>(Mpa) |
|------------|--------------------------|
| M1         | 51,55                    |
| M2         | 56,15                    |
| M3         | 55,45                    |
| M4         | 41,50                    |
| M5         | 67,50                    |
| M6         | 50,70                    |
| M7         | 37,96                    |

450°C sıcaklığa 3 saat maruz bırakılan 10\*10\*10 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sonuçları Çizelge:5.2 de verilmiştir. Çizelge:5.2 incelendiğinde %10 ve %20 zeolit içeren M2 ve M3 karışımlarının şahit numuneden daha yüksek ve 56 Mpa civarında bir dayanıma sahip olduğu görülmüştür.%30 zeolit içeren M4 karışımı ise şahit numuneden daha düşük dayanım göstermişlerdir.%10 zeolit ve %8 silis dumanının beraber kullanıldığı M5 karışımı yüksek sıcaklık altında oda sıcaklığında olduğu gibi en yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaşmıştır. M5 karışımına sahip numuneler 67,5 Mpa gibi şahit numuneden yaklaşık %30 daha yüksek bir basınç dayanım değeri vermiştir.%20 zeolit ve %8 silika dumanı içeren M6 karışımı 450°C sıcaklık altında kontrol numunesine yakın basınç dayanımı değeri verirken ,%30 zeolit ve %8 silika dumanı içeren M7 karışımı kontrol numunesinin altında basınç dayanımı değeri vermiştir.

450°C'ye maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı sonuçları bu sıcaklığa maruz kalmayan numunelerin basınç sonuçlarıyla uyumludur.Basınç dayanımı yüksek olan karışımlar yüksek sıcaklık altında da yine yüksek basınç dayanımı değerleri vermişlerdir.



Şekil 5.1: Basınç Dayanımları Grafiği

Her iki sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %10-%20 arasındaki bir zeolit katkısının basınç dayanımında artış meydana getirdiği ve bu artışların yüksek sıcaklık altında da devam ettiği görülmektedir. Bunun yanında %10 zeolit ve %8 silika dumanı içeren betonlar her iki sıcaklıkta da en yüksek dayanımı verirken %20 ve %30 zeolit'le beraber kullanılan silika dumanının dayanıma fazla bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bunun kullanılan silika dumanı miktarının çok fazla olmamasından (%8) kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 5.1 incelendiğinde silika dumanı içermeyen M1, M2, M3 ve M4 karışımlarının yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıpları birbirlerine yakındır. Diğer yandan zeolit ve silika dumanının beraber kullanıldığı M5, M6 ve M7 karışımlarının yüksek sıcaklık altında ki dayanım kayıpları ise daha azdır. Bunun sebebi zeolit ve silika dumanının beraber kullanılmasıyla daha kuvvetli bir bağ yapısı elde edilmesi olabilir.

Numunelerin 450°C'de 3 saat beklemeleri sunucunda basınç dayanımında %12 ile %20 arasında kayıplar oluşmuştur. Basınç dayanımında meydana gelen bu kayıpların sebebi 400°C'yi aşan sıcaklıklarda CSH'ların tahrip olmaya başlamasıdır. (Baradan ve ark. 2010)

### 5.1.3 Yarma Deneyi

28 gün suda bekletilen 10\*10\*10 cm boyutlarındaki küp numunelerden elde edilen yarma dayanımları Çizelge 5.3’ de verilmektedir.

Çizelge 5.3: Yarma Deneyi Sonuçları (Kürden çıkarılan numuneler)

| Karışımlar | Yarma Değerleri (MPa) |
|------------|-----------------------|
| M1         | 4,047                 |
| M2         | 4,314                 |
| M3         | 3,987                 |
| M4         | 3,416                 |
| M5         | 4,076                 |
| M6         | 3,877                 |
| M7         | 3,446                 |

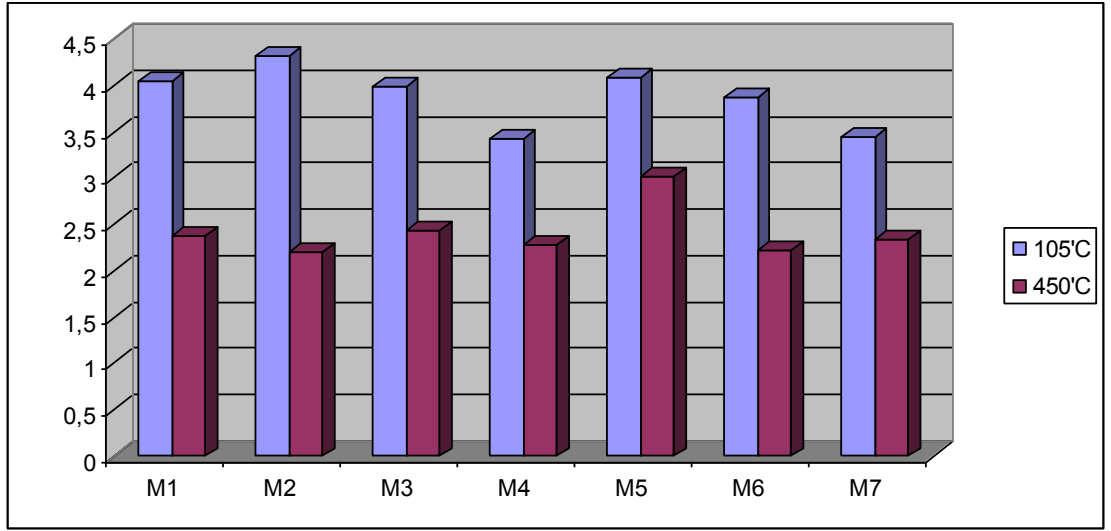
%10 zeolit içeren M2 ve M5 karışımlarının yarma dayanımları şahit numuneye göreyüksektir. Daha fazla zeolit ikamesinde yarma dayanımı düşmektedir. Çizelge 5.3 incelendiğinde silis dumanı katkısının yarma dayanımına olumlu yönde bir etkisi görülmektedir.

Çizelge 5.4 Yarma Deneyi Sonuçları (450 C sıcaklığa maruz numuneler)

| Karışımlar | Yarma Değerleri (MPa) |
|------------|-----------------------|
| M1         | 2,37                  |
| M2         | 2,7                   |
| M3         | 2,44                  |
| M4         | 2,28                  |
| M5         | 3,02                  |
| M6         | 2,22                  |
| M7         | 2,34                  |

450°C’de 3 saat bekleyen 10\*10\*10 cm boyutlarındaki numunelerin yarma dayanımı sonuçları Çizelge.5.4 ‘de verilmiştir.

Çizelge.5.4 ‘de görüldüğü gibi %10 zeolit içeren M2 ve %10 zeolit ve % 8 silika dumanı içeren M5 karışımları yüksek sıcaklık altında şahit numuneden çok daha yüksek yarma dayanımına sahiptir. Bununla beraber zeolit ve zeolit+silika dumanı katkılı tüm karışımlar 450°C’de 3 saat kaldıktan sonra şahit numuneden yüksek yada çok yakın yarma dayanımı geliştirmişlerdir.



Şekil 5.2 :Yarma deneyi grafiği

Şekil 5.3 incelendiğinde yarma dayanımı açısından sıcaklıktan en az etkilenen karışımın M5 karışımı olduğu görülmektedir.M5 karışımı aynı zamanda yüksek sıcaklık altında en fazla yarma dayanımı değeri veren karışımdır. Benzer sonuç basınç dayanımı deneyinde görülmüştür.

450°C’de 3 saat beklemeleri numunelerde %25 ile %42 arasında yarma dayanımı kayıplarına yol açmaktadır. 300 C’yi geçen sıcaklıklarda bağıl sular buharlaşır buda hasarın mertebesini arttırır.Sıcaklığın 400°C’yi geçmesiyle CSH’lar tahrip olmaya başlar, ayrıca  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’te  $\text{CaO}$ ’e dönüşür.(Baradan 2010).Yarma dayanımında oluşan bu kayıpların sebebi oluşan bu durumdur.

### 5.1.2 Su Emme Deneyi

28 gün suda bekletilen 10\*10\*10 cm boyutlarındaki küp numunelerden elde edilen ağırlıkça Su Emme değerleri Çizelge 5.5’ de verilmektedir.

Çizelge :5.5.Su Emme Deneyi Sonuçları (Kürden çıkarılan numuneler)

| Karışımlar | Ağırlıkça Su Emme (%) |
|------------|-----------------------|
| M1         | 3,2                   |
| M2         | 2,9                   |
| M3         | 2,8                   |
| M4         | 3                     |
| M5         | 2,8                   |
| M6         | 2,5                   |
| M7         | 3,1                   |

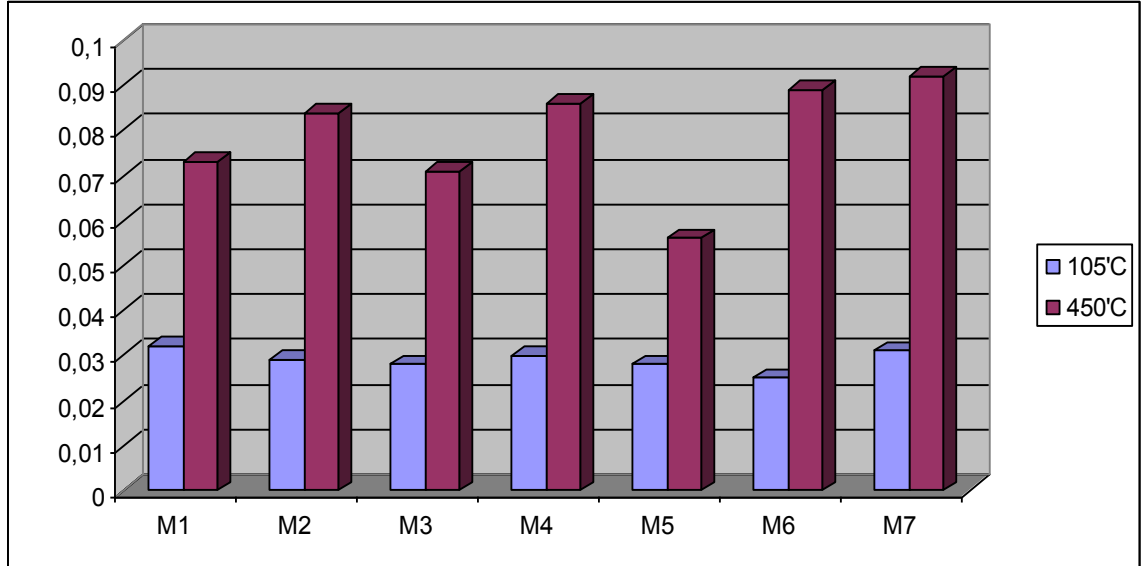
Çizelge 5.5 incelendiğinde, tüm zeolit ve silis dumanı katkılı numuneler şahit numuneden daha az su emme değeri gösterirken , en düşük su emme değerini %20 zeolit ve %8 silis dumanına sahip M6 karışımındaki numuneler göstermiştir.%20 zeolit katkısına kadar hem silis dumanı olan hem de silis dumanı olmayan numunelerde su emme değeri düşerken ,%30 zeolit katkısı su emme değerini bir miktar arttırmasına karşın yinede şahit numuneden daha düşük su emme değeri göstermiştir.

Çizelge :5.6.Su Emme Deneyi Sonuçları (450 C sıcaklığa maruz numuneler)

| Karışımlar | Ağırlıkça Su Emme (%) |
|------------|-----------------------|
| M1         | 7,3                   |
| M2         | 8,4                   |
| M3         | 7,1                   |
| M4         | 8,6                   |
| M5         | 5,6                   |
| M6         | 8,9                   |
| M7         | 9,2                   |

450 °C’de 3 saat bekleyen numunelerin su emme değerleri Çizelge 5.6’da verilmektedir. Çizelge 5.6 incelendiğinde karışımların su emme değerleri birbirlerine yakın olmakla

birlikte en az su emme değerini %10 zeolit ve %8 silika dumanı içeren M5 karışımı vermiştir. Beton karışımında puzolanik malzemelerin kullanılması hasarın mertebesini azaltmaktadır. (Baradan ve ark.2010)



şekil 5.3.:Su emme deneyi sonuçları

şekil 5.3 İncelendiğinde numunelerin 450°C’de 3 saat beklemeleri su emmelerini oldukça arttırmıştır.Bunun nedeni daha öncede belirtildiği gibi 400°C’yi aşan sıcaklıklarda CSH’ların parçalanması ve CaO’e dönüşerek betonun yüzeyine çıkmasıdır.

#### 5.1.4 Basınçlı Su Geçirgenliği Deneyi

28 gün suda bekletilen 15\*15\*15 cm boyutlarındaki küp numunelerden elde edilen Basınçlı Su Geçirgenliği Deneyi Sonuçları Çizelge 5.7’ de verilmektedir.

Çizelge 5.7: Su İşleme Derinlikleri (Kürden çıkarılan numuneler)

| Karışımlar | Su İşleme Derinliği(mm) |
|------------|-------------------------|
| M1         | 23,2                    |
| M2         | 19,8                    |
| M3         | 20,5                    |
| M4         | 22,2                    |
| M5         | 29,3                    |
| M6         | 25,4                    |
| M7         | 23,3                    |

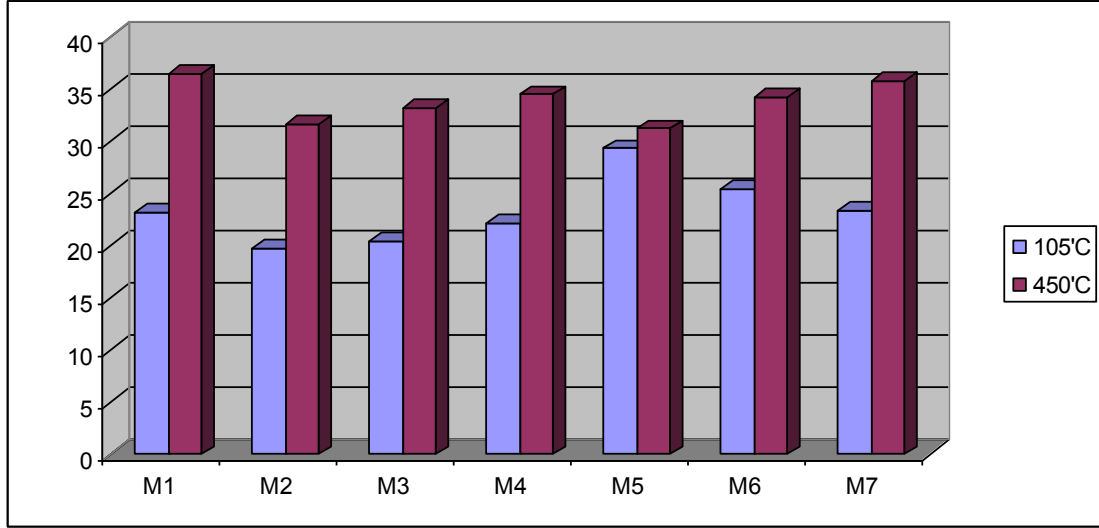
Basınçlı su geçirgenliği deneyinden elde edilen 105°C deki su işleme derinliği sonuçları incelendiğinde %10 zeolit içeren M2 karışımının şahit numuneden daha düşük su işleme derinliğine sahip olduğu görülmektedir.%20 ve %30 zeolit içeren M3 ve M4 karışımları da şahit numunenin bira altında bir su işleme derinliğine sahiptirler. Bunun yanında zeolit ile beraber kullanılan silis dumanı su işleme derinliğini dolayısıyla geçirgenliği arttırmıştır

Çizelge 5.8: Su İşleme Derinlikleri (450 C sıcaklığa maruz numuneler)

| Karışımlar | Su İşleme Derinliği(mm) |
|------------|-------------------------|
| M1         | 36,5                    |
| M2         | 31,7                    |
| M3         | 33,2                    |
| M4         | 34,5                    |
| M5         | 31,2                    |
| M6         | 34,2                    |
| M7         | 35,8                    |

450°C'e sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınçlı su geçirgenliği deneyi sonucunda ölçülen su işleme derinlikleri Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5.8 incelendiğinde tüm katkılı karışımların 450 °C'de şahit numunelerden daha az su işleme gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.4.Basınçlı su geçirgenliği grafiği

Çizelge 5.8'de ve Şekil 5.4 birlikte incelendiğinde sıcaklığın su işleme derinliğini artırdığını ancak zeolit ve silika dumanı katkısının sıcaklığın yarattığı tahribatı azaltarak su işleme derinliğini yani numuneye nüfuz eden basınçlı suyun miktarını azalttığını görmüştür.



### 5.1.5 Kapiler Su Emme Deneyi

28 gün suda bekletilen 10\*10\*10 cm boyutlarındaki küp numunelerden elde edilen Kapilerite Katsayıları Çizelge 5.9’ da verilmektedir.

Çizelge 5.9:Kapiler Su Emme Katsayıları (Kürden çıkarılan numuneler)

| Karışımlar | k=kapilarite katsayıları<br>(cm/dak <sup>1/2</sup> ) |
|------------|------------------------------------------------------|
| M1         | 0,0028                                               |
| M2         | 0,0045                                               |
| M3         | 0,004                                                |
| M4         | 0,0037                                               |
| M5         | 0,0036                                               |
| M6         | 0,0039                                               |
| M7         | 0,004                                                |

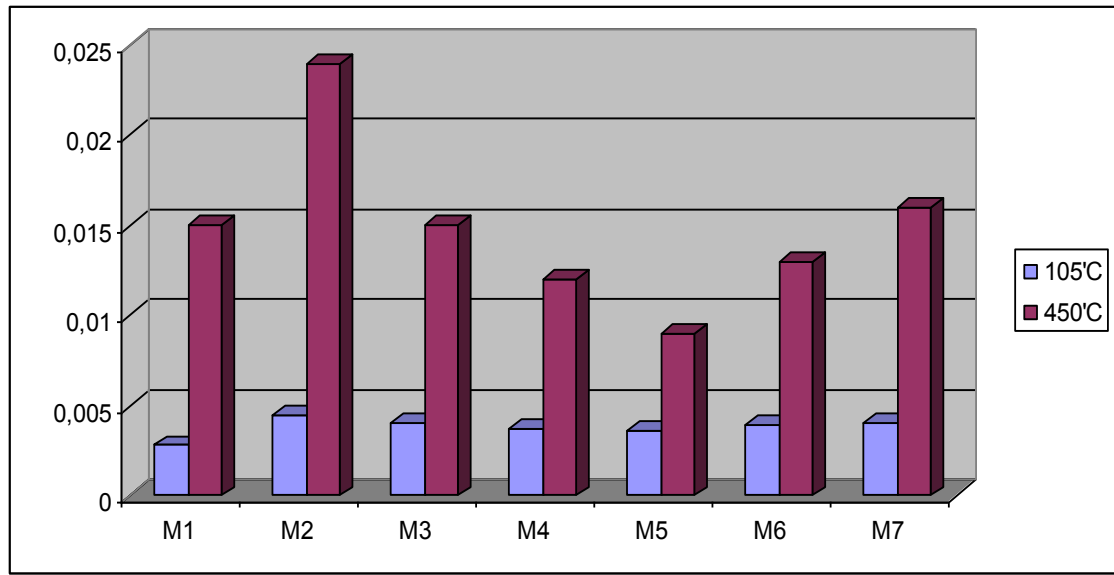
Kapiler su emme katsayıları incelendiğinde bütün katkılı numunelerin şahit numuneden daha yüksek kapiler geçirgenliğe sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanında sadece zeolit içeren M2, M3 ve M4 karışımlarında artan zeolit miktarı kapilariteyi düşürürken, zeolitle beraber silis dumanı içeren numuneler de tam tersi bir durum söz konusu olmuştur.

Çizelge 5.10:Kapiler Su Emme Katsayıları (450 C sıcaklığa maruz numuneler)<sup>1/2</sup>

| Karışımlar | k=kapilarite katsayıları<br>(cm/dak <sup>1/2</sup> ) |
|------------|------------------------------------------------------|
| M1         | 0,015                                                |
| M2         | 0,024                                                |
| M3         | 0,015                                                |
| M4         | 0,012                                                |
| M5         | 0,009                                                |
| M6         | 0,013                                                |
| M7         | 0,016                                                |

Çizelge 5.10 ve Şekil 5.5 birlikte incelendiğinde 450°C’de 3 saat boyunca kalmalarının karışımların kapilarite katsayılarında çok büyük artışlara sebep olduğu, kapiler geçirgenliklerinde arttığı görülmektedir. M5 karışımı yine yüksek sıcaklık sonunda

kapilaritesi en düşük karışım olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca 450°C'e sıcaklığa maruz kalmayan numunelerin kapilarite katsayıları incelendiğinde zeolit ve zeolit +silika dumanı içeren numunelerin kapilarite katsayıları şahit numuneden yüksekken, 450°C'de 3 saat kaldıktan sonra M2 karışımı hariç diğerleri şahit numuneden daha düşük yada aynı kapilarite katsayısı değerlerini vermişlerdir. M2 karışımı en az puzolan katkı karışımıdır. Diğer karışımlarda puzolan katkısı daha öncede söylendiği gibi yüksek sıcaklık altında hasarın mertebesini azaltmıştır.



Şekil 5.5:Kapiler su emme yükseklikleri

## 6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

1. Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, sadece zeolit katkıli numunelerde %20 'ye kadar zeolit katkısının basınç dayanımını arttırdığı %30 miktarda zeolit katkısının ise dayanımı şahit numuneye göre düşürdüğü görülmektedir. Silis dumanının basınç dayanımına olumlu etkisi %10 zeolit içeren numunelerde her iki sıcaklık koşulunda da oldukça belirgindir.
2. 450°C sıcaklıkta 3 bekletilen karışımlardan M2 ve M3 karışımları şahit numuneden daha yüksek bir dayanıma sahip iken, %30 zeolit içeren M4 karışımı ise şahit numuneden daha düşük dayanıma sahiptirler. %10 zeolit ve %8 silis dumanının beraber kullanıldığı M5 karışımı yüksek sıcaklık altında oda sıcaklığında olduğu gibi en yüksek basınç dayanımı değerine ulaşmıştır. M5 karışımına sahip numuneler 450°C sıcaklık altında şahit numuneden yaklaşık %30 daha yüksek bir basınç dayanım değeri vermiştir.
3. Numunelerin 450°C'de 3 saat beklemeleri sunucunda Basınç dayanımında %12 ile %20 arasında kayıplar oluşmuştur. Sıcaklığın 450°C olması CSH'ları tahrip ederek basınç dayanımı kayıplarına sebep olmuştur.
4. 450°C'ye maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı sonuçları kürden çıkarılan numunelerin basınç dayanımı sonuçlarıyla uyumludur. Basınç dayanımı yüksek olan karışımlar yüksek sıcaklık altında da yine yüksek basınç dayanımı değerleri vermişlerdir. Silika dumanı içermeyen M1,M2,M3 ve M4 karışımlarının yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıpları birbirlerine yakındır. Diğer yandan zeolit ve silika dumanının beraber kullanıldığı M5,M6 ve M7 karışımlarının yüksek sıcaklık altında ki dayanım kayıpları ise daha azdır. Bunun sebebi zeolit ve silika dumanının beraber kullanılmasının mikroyapıda yaptığı iyileştirmelerdir.
5. Yarma dayanımı sonuçları %10 zeolit içeren M2 ve M5 karışımlarının yarma dayanımlarının şahit numuneden daha yüksek yarma dayanımı değeri verdiğini, daha fazla zeolit ikamesinin ise yarma dayanımını düşürdüğü göstermektedir.

6. %10 zeolit içeren M2 ve %10 zeolit ve % 8 silika dumanı içeren M5 karışımları 450°C sıcaklık altında şahit numuneden çok daha yüksek yarma dayanımı değeri göstermişlerdir. Bunun yanında 450°C'de 3 saat bekleyen zeolit ve zeolit+silika dumanı katkılı tüm karışımlar şahit numuneden yüksek yada çok yakın yarma dayanımı geliştirmişlerdir. 450°C'de 3 saat beklemeleri numunelerde %25 ile %42 arasında yarma dayanımı kayıplarına yol açmıştır. Sıcaklığın 450°C olması geçmesiyle CSH'ların tahrip olmasına sebep olmakta, buda yarma dayanımının düşmesine sebep olmaktadır.
7. Tüm zeolit ve silis dumanı katkılı numuneler şahit numuneden daha az su emme değeri gösterirken , en düşük su emme değerini %20 zeolit ve %8 silis dumanına sahip M6 karışımındaki numuneler göstermiştir
8. 450°C'de 3 saat bekleyen numunelerin su emme değerleri incelendiğinde karışımların su emme değerleri birbirlerine yakın olmakla birlikte en az su emme değerini %10 zeolit ve %8 silika dumanı içeren M5 karışımı vermiştir. Bunun sebebi beton karışımında kullanılan puzolanik malzemenin hasarın mertebesini azaltmasıdır.
9. Numunelerin 450°C'de 3 saat beklemeleri su emmelerini oldukça arttırmıştır. Bunun nedeni daha öncede belirtildiği gibi 450°C'yi aşan sıcaklıklarda CSH'ların parçalanması ve  $\text{Ca(OH)}_2$ 'in  $\text{CaO}$ 'e dönüşerek betonun yüzeyine çıkarak geride boşluk bırakmasıdır.
10. Basınçlı su geçirgenliği deneyinden elde edilen su işleme derinliği sonuçları incelendiğinde %10 zeolit içeren M2 karışımının şahit numuneden daha düşük su işleme derinliğine sahip olduğu görülmektedir. %20 ve %30 zeolit içeren M3 ve M4 karışımları da şahit numunenin bira altında bir su işleme derinliğine sahiptirler. Bunun yanında zeolit ile beraber kullanılan silis dumanı su işleme derinliğini dolayısıyla geçirgenliği arttırmıştır
11. Sıcaklığın su işleme derinliğini artırdığını ancak zeolit ve silika dumanı katkısının sıcaklığın yarattığı tahribatı azaltarak su işleme derinliğini şahit numuneye göre azalttığı görülmüştür.
12. Kapiler su emme katsayıları incelendiğinde bütün katkılı numunelerin şahit numuneden daha yüksek kapiler geçirgenliğe sahip olduğu görülmektedir.

13. 450°C’de 3 saat boyunca kalmalarının karışımların kapilarite katsayılarında çok büyük artışlara sebep olduğu, kapiler geçirgenliklerinde arttığı görülmektedir. M5 karışımı yüksek sıcaklık sonunda kapilaritesi en düşük karışım olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca 450°C’e sıcaklığa maruz kalmayan numunelerin kapilarite katsayıları incelendiğinde zeolit ve zeolit +silika dumanı numunelerin katsayıları şahit numuneden yüksekken, 450°C’de 3 saat kaldıktan sonra M2 karışımı hariç diğerleri şahit numuneden daha düşük yada aynı kapilarite katsayısı değerlerini vermişlerdir. M2 karışımı en az puzolan katkılı karışımdır. Diğer karışımlarda puzolan katkısı daha öncede söylendiği gibi yüksek sıcaklık altında hasarın mertebesini azaltmıştır.
14. Deneysel çalışma da numunelerin fırında 450°C’de bekletilmesi esnasında 10\*10\*10 cm boyutlarındaki küp numuneler de herhangi bir hasar oluşmazken 15\*15\*15 cm’lik numuneler de patlama ve dökülme şeklinde hasarlar oluşmuştur.
15. Tüm deney sonuçları değerlendirildiğinde çimento ile ağırlıkça %20’ye kadar bir zeolit katkısının karışımların dayanım ve geçirimsizliğini arttırdığı görülmektedir. Aynı zamanda Zeolit ve Silika dumanı katkısı beton karışımlarının yüksek sıcaklıktan gördüğü hasarı azaltmıştır.

## 6.2 ÖNERİLER

1. Bu çalışmada yüksek sıcaklığın etkisi 450 c 'ye maruz bırakılan numuneler üzerinde tespit edilmeye çalışılmıştır.Aynı karışımlar üzerinde daha yüksek sıcaklıklara (600-800 c) maruz bırakılan numuneler üzerinde bir çalışma yürütülebilir
2. Bu çalışmada silika dumanı %8 oranında kullanılmıştır.Silika dumanının arttırılarak kullanıldığı(%10-%20) bir çalışma yürütülebilir.
3. Bu çalışmada yürütülmeyen deneyleri de kapsayan (rötre,aşınma, donma çözünme,karbonatlaşma,sülfat atağı,alkali silika reaksiyonu vb.)bir çalışma yürütülebilir.
4. Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolit ,beton ve çimnto katkısı olarak kullanılmadan önce gerekli testler yapılmalıdır.

## KAYNAKÇA

1. Anonymous, 2007, <http://icnz.lanl.gov/Images/anal-2.jpg>,  
<http://icnz.lanl.gov/Images/chab-1.jpg>,  
<http://icnz.lanl.gov/Images/natro-1.jpg>,  
<http://icnz.lanl.gov/Images/heul-3.jpg>,  
<http://icnz.lanl.gov/Images/clino-1.jpg>
2. ASTM C 125,Standart Terminology relating to concrete and concrete aggregates,Annual book ASTM stanadarts. (1994),
3. ASTM C311, Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete
4. ASTM C 618,Standart spesifications for local fly ash and row or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cements concrete, Annual book ASTM standarts,(1994)
5. Baradan ,B.,Yazıcı ,H.,Ün,H.Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık(Durabilite).Türkiye Hazır Beton Birliği .ç(2010),
6. Bilim (2011),Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,27(4):339-345
7. Bektaş F.,Uzal B., Turanlı L. 2003. Öğütülmüş Doğal Zeolitin Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin incelenmesi. . 5. UlusalBeton Kongresi, \_nsaat Mühendisleri Odası stanbul Subesi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, 403-409
8. Bektaş, F., Uzal, B., Turanlı, L., 2003. Öğütülmüş Doğal Zeolitin Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
9. Beycioğlu, A. ,Doğan, D., Çakır, C. , Subaşı, S. , Başyigit, C. MYO-OS 2010- Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu 21-22 EKİM 2010-DÜZCE
10. Breck, D.W. 1974. Zeolite Molecular Sieve; Structure,Chemistry and Use. John Wiley and Sons, NewYork, 771 pp.
11. Demir(2009),İki Farklı Puzaolanik Katkının Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması,%.Uluslararası İleri Teknolojiler sempozyumu (IATS'09)2009,Karabük ,Türkiye

12. Dorum ve Yıldız ( 2011),Yüksek Dayanımlı Betonlarda Pomza Ve Zeolitin kullanılabilirliği,İMO Teknik Dergi ,2011,5335-5340,Yazı 345,Teknik Not
13. DPT,1996 diğer endüstri mineralleri,V11 .beş yıllık kalkınma planı özel ihtisas komisyonu raporu cilt 1/ANKARA
14. Emiroğlu ve ark. (2011), International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey,116-117
15. Erdem,E., Donat, R., Çetişli,H. 1997. Hydration and Mechanical Properties of Cement Containing Zeolite. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, 6-9 November 1997, Istanbul-Turkey, 216-220
16. Erdoğan 1995, Nesille ve Brooks 1993 Nesille, A.M. 1981. Properties of Concrete. Longan Scientific, New York, 843 pp
17. Erdoğan, T. Y. 1997. Admixtures For Concrete. Middle East Technical University, ISBN 975-429-113-6, 188 s, Ankara
18. Erdoğan, 2003. Beton, Orta Dogu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, METU Prens, Ankara
19. Feng, N.Q., Li, Z., G., Zang, X. W., (1990) “High – strength ana Flowing Concrete with a Zeolite Mineral Admixture ”, Cement ana Aggregates, ASTM. Vol. 12, pp. 61 – 69.
20. Karaüç(2008), Uçucu kül ve Zeolitin Kendiliğinden Yerleşen Betonlara Etkileri,Sakarya(37-38)
21. Kibaroglu,U.2007,<http://us.geocities.com/ukibaroglu/calismalar/zeolit.htm>  
http\_Doğal\_Zeolitlerin\_Kullanım\_Doğal\_Zeolitlerin\_Kullanım
22. Kim, J.H. 1996. The Economic Viability of Portland Blast Furnace Slag Cement. Proceedings of the International Cement Conference, \_stanbul, 191-204
23. Neville, A.M., 1995, “Properties of Concrete”, 4rd rev and final edition, Prentice HallOrhun,
24. Oymael, S., Şen, L., Durmuş, A., 2007, Durability of pozzolanic cement added microconcrete against to sulphates, e-jurnal of New Word Sciences Academy, Vol:2, Nüm. 3, Turkey.
25. Öz (2006), Doğal Zeolit ve Yüksek Fırın curufu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Termo-Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi ,AÜ.Erzurum 82-83



26. Özkul ,H.,Uyan,M , Properties of Fresk ana Hardened Concrete Prepared y New Generation Superplasticizers, Creating with Concrete, Ed. y R. K. Dhir, Proc. Int.Conf., Dundee, 467-474, (1999)
27. Postacıoğlu, B. 1986. Beton. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, c.2, 404s, İstanbul.
28. Sancak.E., Şimşek ,O.2006),Yüksek Sıcaklığın Silis Sumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri.Gazi Üniv.Müh. Mim.Fak.Der.21,443-450
29. Sarıkaya, H. 2006. Zeolit Katkılı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 73s
30. Şişman C.B.Kocaman.İ.,Gezer.E 2008 ,Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi ,(187-195)
31. Şimşek O., Sancak 2005.E. Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi,; 20 (2): 211-215.
32. Taşdemir C,2003 .conbinet effect of mineral admixtures ana curing conditions on the sorptivity coefciend of concrete.cement ana concrete research (2371 pp.1-6)
33. Tasdemir C., Combined effects of mineral admixtures ana curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete, Cement ana Concrete Research, 33 (2003) 1637-1642
34. Topçu, İ.B., Canbaz, M., Sarıdemir, M. (2009). Kimyasal etkide kalmış AAYFC’li harcın dayanımının YSA ve BM kullanarak tahmini. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Özel sayı, 12(3), 123-133
35. TS 706 EN 12620 Beton Agregalar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
36. TS 707 Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık, 1980.
37. TS 802 Beton Karışım Hesapları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
38. TS 1226 Deney Elekleri-Metal Levhalı Yuvarlak veya Kare Delikli, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
39. TS 1227 Deney Elekleri-Tel Kafesli, Kare Göz Açıklı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1984.
40. TS 1247 Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.

41. TS 3068 Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Mart, 1978.
42. TS 130, Agregaların Eleme Analizi Deneyi İçin Metot, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan , 1978.
43. TS 197-1, Genel Çimentolar-bileşim Özellikleri ve Uygunluk Kriterleri
44. Yeginobalı, A., Sobolev, K.G., Soboleva, S.V., Kıyıcı, B. 2000. Yüksek Fırın Cürufu Yüksek Dayanımlı Çimentonun Isıl Direnci. TÇMB Çimento ve Beton Dünyası, 5, 31-47.

### TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danışman hocam sayın Yrd.Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ve destek veren bölüm hocalarımdan Sayın Prof.Dr. Ali Osman ATAHAN'a ,Doç.Dr. Turan ARSLAN'a ve yardımlarını esirgemeyen diğer hocalarıma teşekkür ederim.

Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencisi Yasin ÖNER ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim. Meslektaşım İnşaat Mühendisi Syn. Ahmet Dinç'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında benden yardım ve desteğini eksik etmeyen Syn Gizem Yarımbaş'a ve hem bu çalışmam esnasında hem tüm okul hayatımda beni yalnız bırakmayan benden hiçbir desteğini esirgemedi beni hep anlayışla karşılayan ve yanımda olan en değerli varlıklarım olan aileme sonsuz minnet duyar, teşekkürü borç bilirim.

Necmi OKUMUŞ

İskenderun 2012

## ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Artvin'in Ardanuç ilçesi Aydın Köyünde doğdum. İlk okulu Şavşat ve Ardanuç ,orta okulu Ardanuç ilçesinde okuyarak 1999 haziran ayında mezun oldum . Aynı yıl açılan sınavı kazanarak Artvin Anadolu Lisesini kazanıp aynı okuldan 2003 yılında mezun oldum.. 2004-2005 öğretim yılında Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdim ,2008 yılı haziran dönemin de İnşaat Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. 2008 yılında yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladım.