



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**VAKUM UYGULANAN DONATILI SAHA**  
**BETONLARINDA UÇUCU KÜL KATKISININ**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN**  
**DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**Fatma Nur SÖZÜER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2020**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma Nur SÖZÜER tarafından hazırlanan “VAKUM UYGULANAN DONATILI SAHA BETONLARINDA UÇUCU KÜL KATKISININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 31/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

#### Danışman

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

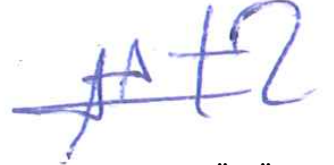
Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 191004015 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Fatma Nur SÖZÜER

31/08/2020

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### VAKUM UYGULANAN DONATILI SAHA BETONLARINDA UÇUCU KÜL KATKISININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

**Fatma Nur SÖZÜER**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI**

**2020, 89 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Mehmet KAMANLI  
Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN  
Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN**

Beton, gelişmiş toplumların temelini oluşturan malzemeler arasında önemli bir yerdedir. Betondan imal edilen ve açık havaya maruz kalan saha betonlarının kesit kalınlığı diğer betonarme yapı elemanlarına göre daha az ve yüzey alanları çok geniş olduğundan maruz kaldıkları etkilere karşı daha farklı tepkiler gösterebilmektedir. Bu etkiler zamana bağlı olarak betonun durabilitesini bozmaktadır. Betonun durabilite kaybını en aza indirmek ve hizmet ömrünü uzatmak için betonun kompasitesi artırılmalıdır. Bu nedenle, saha betonlarına farklı teknikler uygulanabilmektedir. Kompasiteyi artırmanın bir yöntemi de, betona vakum uygulanmasıdır. Vakum uygulaması sırasında su geri çekilirken oluşan titreşimle kılcal boşluklar da kapanmakta ve daha dolu bir beton elde edilmektedir. Betonla ilgili uygulamalarda basınç dayanımı en önemli özellik olarak kabul edilir. Diğer özelliklerin birçoğu basınç dayanımı ile doğru orantılı olarak değişir. Aynı şeyi dayanıklılık için söylemek ise her zaman mümkün değildir. Bu nedenle, mineral katkıları kullanılarak beton durabilitesini iyileştirmek mümkündür. Bunun yanı sıra, beton karışımında en pahalı ve üretimi sırasında çevreyi kirleten malzeme çimentodur. Dünyada çevre kirliliğine neden olan fabrikaların başında çimento fabrikaları ön sıralarda gelmektedir. Bu nedenle çimento yerine farklı katkı malzemeleri kullanılarak hem betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek hem de daha ekonomik ve çevreci bir beton elde etmek mümkündür. Bu amaçla bu çalışmada, beton sınıfı C25 olan 15\*80\*80 cm'lik betonarme plaklar üretilmiş, üretilen plaklara vakum uygulaması yapılarak ve 28 ve 90 gün sonra 10/10 cm, 15\*15\*40 cm ve 4\*4\*7 cm'lik numuneler alınmıştır. Alınan numunelere serbest basınç deneyi, eğilme deneyi, böhme deneyi ve kılcal su emme deneyi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca basınç dayanımı deneyi donatılı ve donatısız olarak iki şekilde yapılmıştır. Dökülen betonarme plaklarda çimento %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında uçucu küllle ikame edilmiştir. Tüm deneyler sonucunda vakum uygulanan beton numunelerin, vakum uygulanmayan numunelere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte 90 günlük deney sonuçları 28 günlük deney sonuçlarına oranla uçucu külün puzolonik aktivitesinden kaynaklı daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca donatılı karot numuneler donatısız karot numunelerden daha yüksek basınç dayanımı vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mineral katkı, mekanik deneyler, uçucu kül, saha betonu, vakum uygulaması.

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FLY ASH ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES IN VACUUM APPLIED REINFORCED FIELD CONCRETES**

**Fatma Nur SÖZÜER**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Civil Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI**

**2020, 89 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Mehmet KAMANLI  
Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN  
Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN**

Concrete is an important place among the materials that form the basis of developed societies. The cross-section thickness of the field concretes made of concrete and exposed to open air is less than the other reinforced concrete building elements and the surface areas are very wide. Therefore, they may show different reactions to the effects they are exposed to. These effects impair the durability of the concrete over time. The compactness of concrete must be increased in order to minimize the durability of concrete and to extend its service life. Therefore, different techniques can be applied to field concrete. During vacuum application, the capillary spaces are closed with the vibration that occurs while the water is withdrawn and a more filled concrete is obtained. In concrete applications, compressive strength is considered as the most important feature. Many of the other features change in direct proportion to the compressive strength. It is not always possible to say the same thing for durability. Therefore, it is possible to improve concrete durability by using mineral additives. In addition, the most expensive material in the concrete mixture and the material that pollutes the environment during its production is cement. In the world, cement factories are one of the leading factories that cause environmental pollution. Therefore, it is possible to improve the mechanical properties of the concrete as well as to obtain a more economical and environmentally friendly concrete by using different additives instead of cement. For this purpose, in this study, 15 \* 80 \* 80 cm reinforced concrete slabs of concrete class C25 were produced, vacuum was applied to the produced plates, after 28 and 90 days 10/10 cm, 15 \* 15 \* 40 cm and 4 \* 4 \* 7 cm core samples were taken. The results were compared by performing compressive strength, bending test, abrasion test and capillary water absorption test. In addition, the compressive strength test was carried out in two ways, with and without reinforcement. In reinforced concrete slabs produced, cement was replaced with fly ash at the rates of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. As a result of all experiments, it has been concluded that vacuumed concrete samples give better results compared to non-vacuumed samples. However, the 90-day experiment results gave better results due to the pozzolonic activity of the fly ash compared to the 28-day experiment results. In addition, reinforced core samples gave higher compressive strength than non-reinforced core samples.

**Keywords:** Field concrete, fly ash, mechanical experiments, mineral additive, vacuum application.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni sabırla dinleyip fikirleriyle yolumu aydınlatan, maddi ve manevi hep yanımda olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya, tez süreci boyunca gerek deneysel çalışmamda gerekse tez yazımda beni hiç yalnız bırakmayan kıymetli hocam Dr. Oğuzhan ÖZTÜRK'e şükranlarımı sunarım.

Deneylerimde bana yardım eden kıymetli arkadaşlarım Sayın Öğr. Gör. Salih CENGİZ'e, Sayın Remziye CAN'a, Sayın Zeynep Kübra GÜVEN'e, laboratuvar sorumlusu Sayın Yüksel ÇİFTÇİ'ye ve deney elemanlarının üretiminde, taşınmasında destek olan Sözüer Yapı Mühendislik'e sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan, hiçbir koşulda desteklerini esirgemeyen ve benim her zaman yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma Nur SÖZÜER

KONYA-2020

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                              | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                           | <b>v</b>    |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                             | <b>vi</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                       | <b>vii</b>  |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>                                            | <b>viii</b> |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                           | <b>1</b>    |
| 1.1. Tezin Amacı Ve Önemi .....                                                | 2           |
| 1.2. Betonun İyileştirme Yöntemleri .....                                      | 4           |
| 1.2.1. Betonda katkı malzemesi kullanılması.....                               | 4           |
| 1.2.2. Betona vakum uygulaması .....                                           | 11          |
| 1.2.3. Betonda lif kullanılması .....                                          | 17          |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>                                             | <b>19</b>   |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                              | <b>25</b>   |
| 3.1. Deney Elemanlarının Üretimi .....                                         | 25          |
| 3.1.1. Beton .....                                                             | 25          |
| 3.2. Beton Deneyleri.....                                                      | 38          |
| 3.2.1. Beton basınç dayanımı tayini .....                                      | 38          |
| 3.2.2. Betonun eğilme dayanımı tayini .....                                    | 52          |
| 3.2.3. Betonun aşınmaya karşı direncinin böhme deneyi ile tayini.....          | 55          |
| 3.2.4. Betonda kılcal su emme deneyi .....                                     | 59          |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>                                | <b>62</b>   |
| 4.1. Deney Sonuçları .....                                                     | 62          |
| 4.1.1. Beton basınç dayanımı sonuçları .....                                   | 62          |
| 4.1.2. Beton eğilme dayanımı sonuçları .....                                   | 69          |
| 4.1.3. Betonun aşınmaya karşı direncinin böhme deneyi ile tayin sonuçları..... | 72          |
| 4.1.4. Betonda kılcal su emme deneyi sonuçları .....                           | 76          |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                           | <b>81</b>   |
| 5.1. Sonuçlar .....                                                            | 81          |
| 5.2. Öneriler .....                                                            | 88          |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                         | <b>90</b>   |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                           | <b>95</b>   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

a : Kesme açıklığı, mm  
A<sub>c</sub> : Kiriş enkesit alanı, mm<sup>2</sup>  
A<sub>s</sub> : Kiriş çekme donatısı alanı, mm<sup>2</sup>  
b<sub>w</sub> : Kiriş genişliği, mm  
C25 : 28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 25 MPa olan beton  
cm : Santimetre  
d : Kiriş faydalı yüksekliği  
f<sub>cd</sub> : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa  
f<sub>ck</sub> : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa  
f<sub>ctd</sub> : Betonun tasarım çekme dayanımı, MPa  
f<sub>ctf</sub> : Betonun eğilmede çekme dayanımı, MPa  
f<sub>ctk</sub> : Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı, MPa  
f<sub>yd</sub> : Donatının tasarım akma dayanımı, MPa  
f<sub>yk</sub> : Donatının karakteristik akma dayanımı, MPa  
f<sub>ywd</sub> : Enine donatının tasarım akma dayanımı, MPa  
h : Karot numunesinin yüksekliği, mm  
kN : Kilo Newton  
m : Metre  
mm : Milimetre  
MPa : Mega Pascal (N/mm<sup>2</sup>)  
N : Newton  
Kg : Kilogram  
f<sub>c</sub> : Basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
F : Basınç dayanımı testinde kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N  
A<sub>c</sub> : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm<sup>2</sup>  
λ : Karot numunesinin narınlığı  
k : Karot numunesinin narınlığına bağlı olarak dayanım düzeltme katsayısının  
D<sub>max</sub> : En büyük agrega tane çapı, mm  
d : Alınan karot çapı, mm  
f<sub>ck,is</sub> : Yapıdaki betonun karakteristik basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
f<sub>m(n),is</sub> : n adet numunenin basınç dayanımı ortalaması, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
f<sub>is,en düşük</sub> : Yapıda tespit edilen en düşük basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
s : Deney sonuçlarının standart sapması  
k : Karot sayısına bağlı olarak aşağıdaki tablodan alınan sabit değer  
f<sub>cf</sub> : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
F : En büyük yük, N  
L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm  
d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> : Kiriş numunenin en kesit boyutları, mm  
ΔV : 16 çevrimden sonra hacim kaybı, mm<sup>3</sup>  
Δm : 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g  
ρ<sub>r</sub> : Numunenin yoğunluğu, mm<sup>3</sup>  
S420 : Donatı akma dayanımı 420 MPa olan donatı  
% : Yüzde  
φ : Donatı çapı, mm  
ρ<sub>min</sub> : Minimum donatı oranı  
σ : Gerilme, MPa

## Kısaltmalar

N-C25-I : 28 günlük C25 beton sınıflı %0 U.K. katkıli vakumsuz beton  
V-C25-I : 28 günlük C25 beton sınıflı %0 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-5-I: 28 günlük C25 beton sınıflı %5 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-10-I: 28 günlük C25 beton sınıflı %10 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-15-I: 28 günlük C25 beton sınıflı %15 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-20-I: 28 günlük C25 beton sınıflı %20 U.K. katkıli vakumlu beton  
N-C25-II : 90 günlük C25 beton sınıflı %0 U.K. katkıli vakumsuz beton  
V-C25-II : 90 günlük C25 beton sınıflı %0 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-5-II: 90 günlük C25 beton sınıflı %5 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-10-II: 90 günlük C25 beton sınıflı %10 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-15-II: 90 günlük C25 beton sınıflı %15 U.K. katkıli vakumlu beton  
V-C25-20-II : 90 günlük C25 beton sınıflı %20 U.K. katkıli vakumlu beton  
S/Ç : Su/Çimento oranı



## 1. GİRİŞ

Bilimin her alanında olduğu gibi yapı dünyasında da yapı malzemeleri ile ilgili yeni gelişmeler meydana gelmektedir. Günümüz dünyasında en çok kullanım alanı olan ve her geçen gün geliştirilen yapı malzemelerinden biri de betondur. Beton; çimento, agrega, su ve gerekli ise katkı malzemesinin (kimyasal-mineral katkı, lif vb.) belli oranlarda karıştırılması ile elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup daha sonra çimentonun hidrasyonu sebebi ile sertleşen ve zamanla dayanım kazanan bir yapı malzemesidir.

Betonun en çok kullanılan yapı malzemelerinden olmasını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Dayanımının yüksek olması,
- Çevreden gelen fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması,
- Üretiminde diğer yapı malzemelerine göre daha az enerji gerektirmesi,
- Diğer yapı malzemelerine göre ekonomik olması ve bileşenlerinin kolay temin edilebilir olması,
- Tasarımında uygulama kolaylığı ve estetik olması (Sümer, 2012).

Son zamanlarda betonun bazı özelliklerini geliştirmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan birisi de betona vakum uygulamasıdır (Şekil 1.1). Betondan beklenen üç ana fonksiyon işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır. Bunları en çok etkileyen faktörlerden biri de S/Ç miktarıdır. Su, betonda işlenebilirlik ve hidrasyon reaksiyonu için gerekli olan bir karışım malzemesidir. Ancak beton kalıba döküldükten sonra, suyun işlenebilirlik için gerekli olan kısmının görevi sona ermiştir. Bu durumda suyun miktarına bağlı olarak betonda homojenliğin bozulması, segregasyon, terleme ve rötre çatlakları gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Buna bağlı olarak betonun dayanıklılığı azalmaktadır. Vakumlu beton, bu problemlerin önüne geçmek için yapılan bir uygulama olup kalıbın şeklini alan taze betondan karışım suyunun bir miktarının geri çıkarılması işidir (Şahin, 2016). Özellikle ağır yüklere, kar, yağmur, donma-çözülme, aşınma gibi etkilere maruz saha betonlarında kullanılan betona vakum uygulaması, betonda kompasiteyi artırmanın ve betonun hizmet ömrünü artırmanın en iyi yöntemlerinden biridir.

Bunun yanı sıra betona belli oranlarda farklı katkı malzemeleri katılarak hem daha ekonomik hem de dayanımı ve dayanıklılığı daha iyi betonlar üretilmeye

alışılmıştır. Bu katkı malzemeleri kimyasal olabildiği gibi mineral katkı malzemeleri de olabilmektedir.



**Şekil 1.1.** Vakum uygulamasının yapılması(Arslan ve ark., 2010)

Toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince yapıda olan uçucu kül, silisli ve alüminli amorf yapıya sahip olduğu için puzolanik özellik göstermektedirler.Yani normal durumda herhangi bir bağlayıcılığı olmamasına rağmen CaOH (Kalsiyum Oksit) ile sulu ortamda birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadırlar. Beton karışımında belli oranlarda gerek direk kullanılan gerekse imento ile ikame edilerek kullanılan uçucu kül optimum oranın bulunmasıyla geçirimsizliği düşürme, ileri yaş basınç dayanımını artırma, asidik ve sülfirik ortama dayanıklılık, donma-özölme ve aşınmaya karşı direnç göstermesi sebebiyle beton üretiminde kullanılmak için ideal bir malzemedir.

### 1.1. Tezin Amacı Ve Önemi

Etrafımıza baktığımızda çoğu yapıda gördüğümüz, bir asırdan fazla süredir kullanılan ve yapay bir malzeme olan betonun olumlu özelliklerini devam ettirebilmesi, kalıcı olmasına bağlıdır.

Beton veya betonarme elemanların deprem veya aşırı yüklemenin etkisi dışında da zamanla bozulmaları söz konusudur. Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik sebeplerden kaynaklı olabilmektedir (Şekil 1.2). Mekanik yolla oluşan hasarlar arasında, darbe, aşınma, erozyon ve oyulma etkileri yer alırken,

fiziksel etkenler; donma-çözülme, buz çözücü tuzlar, yüksek sıcaklık vb. etkilidir. Kimyasal etkenler ise dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerin veya beton bileşimini oluşturan malzemelerin sebep olabileceği etkiler olabilir. Bunlar arasında alkali-silika reaksiyonu, sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir (Baradan ve ark., 2003).

### BETONUN İÇ VE DIŞ ETKENLERLE BOZULMASI

#### Fiziksel Ve Mekanik Etkiler

- ✓ Donma-çözülme
- ✓ Buz çözücü tuzlar
- ✓ Deniz suyu etkisi
- ✓ Erozyon, aşınma, oyulma
- ✓ Yüksek sıcaklık
- ✓ Yangın vb.

#### Kimyasal Ve Biyolojik Etkenler

- ✓ Asitlerin, amonyum tuzlarının sertleşmiş çimento ile reaksiyonu
- ✓ Betona sülfat saldırısı
- ✓ Alkali silika reaksiyonu
- ✓ Karbonatlaşma
- ✓ Korozyon vb.

**Şekil 1.2.** Betonun bozulmasında iç ve dış etkenler (Baradan ve ark., 2003)

Betonda bütün dayanım ve dayanıklılık problemlerinde belirleyici olan faktör beton içerisindeki su miktarı ve beton içine sızan zararlı suların betona sızıp zarar vermesidir. Bu zarar, betondaki kılcal boşluk miktarına bağlı olarak doğru orantılı olarak azaltılabilmektedir. Dolayısıyla geçirimsiz beton üretmek tasarımcı için ilk ve en önemli önlem olmaktadır (Baradan ve ark., 2003).

Yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı tekrarlı iç ve dış etkenlere karşı dayanım ve dayanıklılığını koruyabilmesi, hizmet edebilir durumda kalması için sadece tasarım aşamasında değil üretim aşamasında da bazı işlemler uygulanmalı, bazı önlemler alınmalıdır. Özellikle kesit kalınlığı diğer yapı elemanlarına göre daha az ve yüzey alanı daha fazla olan saha betonları bu etkiler karşısında farklı etkiler gösterebilmektedir. Yani iç ve dış etkenlerden daha hızlı etkilenebilmektedir. Bu sebeple saha betonlarına farklı teknikler uygulanabilmektedir. Bu teknikler; betona lif katkı, kimyasal veya mineral katkı ekleme olabildiği gibi silindirle sıkıştırma işlemi, kendiliğinden yerleşen beton kullanımı veya vakum uygulaması gibi yöntemler olabilmektedir.

Beton içerisinde kullanılan malzemelerden en maliyetlisi çimentodur. Aynı zamanda dünyada çevre kirliliğine sebep olan fabrikaların başında çimento fabrikaları gelmektedir. Çimento miktarını azaltıp yerine uçucu kül kullanarak daha ekonomik bir beton üretimi gerçekleştirebilir, aynı zamanda betonun bazı özelliklerini de iyileştirmiş olabiliriz. Bunun yanı sıra betona vakum uygulaması yaparak betonu mümkün

olduğunca çok geçirimsiz hale getirip hizmet ömrü boyunca dışarıdan gelen etkiler sonucunda yıpranıp zarar görmesini engelleyebiliriz.

## 1.2. Betonun İyileştirme Yöntemleri

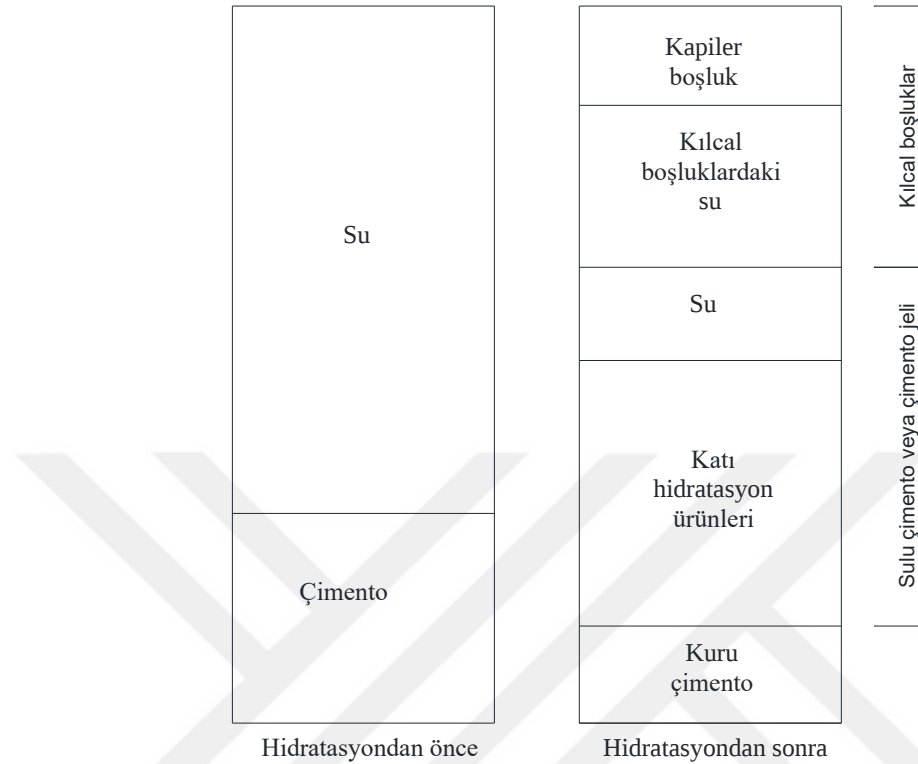
Betonun, dayanımı yüksek, geçirimsizliği mükemmel, işlenebilmesi mükemmel olmakla birlikte çözülmesi gereken birçok sorunu vardır. Dünyada yapıların büyük çoğunluğunu oluşturan yapı malzemesi olan beton, icadından bu yana hep gelişim içindedir. Bunun için yapılan çalışmalar farklı çeşitlerde çimento üretmek betona farklı katkı malzemeleri ve farklı agregalar eklenerek hem ekonomik hem özellikleri gelişmiş beton üretmek; betona farklı uygulama yöntemleri uygulanarak üretmek şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmalar sırasında betondaki en önemli parametrenin S/Ç olduğu anlaşılmış ve bu alandaki öncüler dayanımı bu orana bağlı olarak geliştirmiştir. Yapılan çalışmalarda amaç basınç dayanımını artırmak olsa da dayanıklılık(durabilite) sorunu da ihmal edilmemiştir.

Dayanıklılık, betonun yaygın olarak kullanılmasıdaki temel özelliklerinden birini temsil etmektedir. Betonun dayanıklılığı, hava koşullarına, kimyasal saldırılara, aşınmaya veya diğer herhangi bir caydırma işlemine direnme kabiliyeti ile belirlenmektedir. Dayanıklı beton, çevre şartlarına maruz kaldığında orijinal şeklini, kalitesini ve servis verimini koruyacaktır. Düzgün tasarlanmış, hazırlanmış, yerleştirilmiş, test edilmiş, denetlenmiş ve kürlenmiş beton, az veya hiç bakım gerektirmeden onlarca yıl hizmet verebilir. Dayanıklı beton sağlamak için, betonun kullanım amacındaki özel talepleri dikkatli düşünülmelidir. Ancak, iyi malzeme seçimi ve uygun malzeme seçimi her zaman dayanıklı beton üretileceği anlamına gelmemektedir (ACI 201.2R-08, 2010). Çünkü ilk hazırlandığında homojen olan betonun hidratasyon işlemi tamamlandıktan sonra zamanla bünyesinde kılcal boşluklar meydana gelmektedir. Oluşan kılcal boşluklara sızan suların da betonun yapısına zarar vermesi de kaçınılmaz hale getirmiştir (Şekil 1.3).

### 1.2.1. Betonda katkı malzemesi kullanılması

Betonun taze ve sertleşmiş durumdaki performansına önemli derecede yön veren katkı malzemeleri günümüz betonlarının vazgeçilmez bileşenlerindendir. Taze beton özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda sertleşmiş betondan servis ömrü boyunca

karşılması beklenen mekanik ve çevresel etkilere karşı performansa destek veren katkı maddeleri ile sağlanabilmektedir (Pekmezci ve ark., 2014)



Şekil 1.3. Betonun hidrasyona bağlı olarak yapısındaki değişim(Neville ve ark., 2010)

#### 1.2.1.1. Mineral katkıları

Yapay ve doğal olarak ikiye ayrılan mineral katkıların özünü oluşturan puzolanlar ASTM standartlarına göre kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan veya çok az olan fakat ince taneli durumdayken sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliğine sahip, içerisinde silis ve alümin, az miktarda da demir oksit, kalsiyum oksit ve karbon bulunan malzemelerdir. Doğal puzolanlar doğada kendiliğinden oluşmuş volkanik kül ve tüf, ısıtılmış işlem görmüş kül ve geyler, diatomlu topraklar gibi ürünlerdir. Yapay puzolanlar termik santral, demir çelik tesislerinde sanayi ürünlerin yan ürünü olarak ortaya çıkan atıl durumdaki uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi ürünlerdir. Portland çimentosunun icadından sonra hem doğal puzolanlar hem de yapay puzolanlar beton yapımında mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Çünkü beton içerisindeki malzemelere nispeten daha ekonomiktir. Şekil 1.4’te bazı mineral katkı malzemeleri gösterilmiştir.



**Şekil 1.4.** Mineral katkı malzemeleri(Sümer,2012)

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılığı gösterebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamış olması gerekmektedir ( Erdoğan ve ark., 2007):

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır. (Çimento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki “ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ” miktarının en az %70 olması istenmektedir.)
- Doğal haliyle çok ince taneli durumda veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.
- Amorf yapıya sahip olmalıdır.

#### **1.2.1.1.1. Doğal puzolanlar**

Kimyasal yapısını  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oluşturan doğal puzolanlar doğada kendiliğinden oluşmuş volkanik kül ve tuf, ısıtılmış kül ve geyler, diatomlu topraklar gibi ürünlerdir. Bu malzemelerin dışında, 540 °C - 900 °C kadar pişirilme işlemine tabi tutulmuş olan bazı killere de doğal puzolanlar arasında yer almaktadır. Kilin içerisinde yeterli miktarda silika ve alümina olduğu halde, bu malzeme, doğal haliyle puzolanik davranış gösterememektedir. Bunun nedeni, kildeki minerallerin kristal yapıya sahip oluşudur. Ancak, kil, pişirilme işlemine tabi tutulduğu takdirde, kristal yapı bozulmakta ve amorf yapı elde edilmektedir. O nedenle, pişirilmiş kil puzolanik özellik gösterebilmektedir. Volkanik külün, volkanik küllü toprakların veya pişirilmiş kilin söndürülmüş kireçle ve kumla birleştirilerek suya dayanıklı harç yapımında kullanılması işlemi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Bunun en yakın

örneğini Konya-Çatalhöyük'teki Neolitik çağa ait evlerin harçları üzerinde görebiliriz.(Erdoğan ve ark., 2007). İlk olarak Eski Roma'da yaklaşık 2000 yıl önce Mühendis Mimar Vitruvius'un volkanik kül ve sönmüş kireci suyla karıştırarak bunların hidrolik bağlayıcılık özelliği olduğunu tespit ettiği pozolonlar İtalya ve Fransa başta olmak üzere birçok ülkedeki eski bina, köprü ve su kanallarında kullanılarak geçmişten günümüze kadar ayakta kalmasını sağlamıştır. Çimentodan daha ince taneli doğal puzolanlar bağlayıcı olarak üç şekilde kullanılabilirler (Doğruyol,2017):

- Yukarıda bahsedildiği gibi sönmüş kireç ve suyla birleşip doğrudan,
- Portland çimento üretimi sırasında klinker ile birlikte öğütülerek, puzolanik çimento tipi çimento üretiminde,
- Beton karışımına çimento ile birlikte veya belli miktarda çimento yerine ikame edilerek mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir.

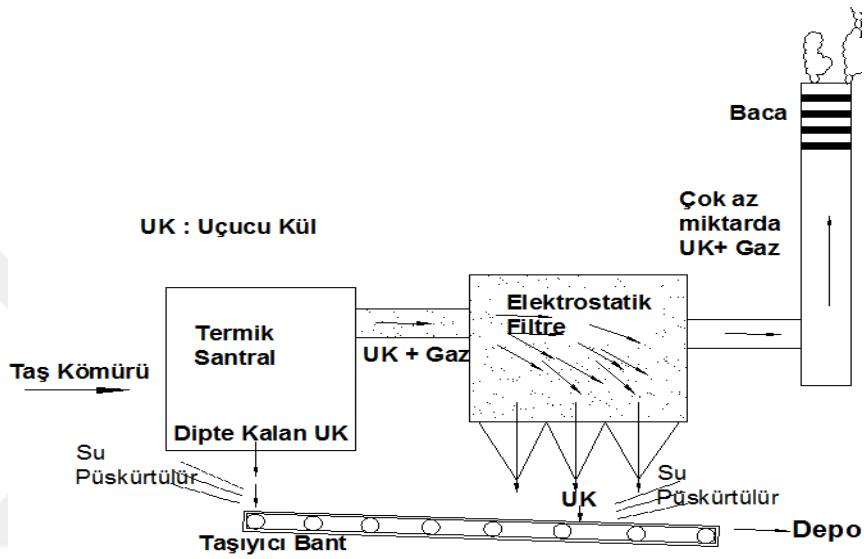
Günümüzde en çok beton karışımında çimento yerine ikame edilerek kullanılmaktadır. Kullanılacak olan doğal puzolanların beton yapımında uygun bir katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri TS 25 ve ASTM C 618 standartlarına göre belirtilen sınır değerlere bağlı olmalıdırlar (TS EN 450-1, 2015).

#### 1.2.1.1.2. Yapay puzolanlar

Yapay puzolanlar, endüstriyel üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan ve puzolanik özellik gösteren malzemelerdir. Uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu ve silis dumanı en çok kullanılan yapay puzolanlardır. Pirinç kabuğu külü gibi çoğu Asya ülkelerinde kullanılan puzolanlar da vardır. Puzolonik aktivite gösterebilmeleri için en az çimento kadar ince taneli olması gereken yapay puzolonlardan silis dumanı ve uçucu kül sanayi yan ürünü olarak oluşurken ince taneli elde edilir iken granüle yüksek fırın cürufu iri olarak elde edilir. Beton katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi için çimento tanecik boyutuna gelene kadar öğütülmektedir.

**1. Uçucu kül:** Elektrik enerjisi üretimi için yakıt olarak kullanılan pulverize toz kömürün yakılması sonucunda yan ürün olarak elde edilmektedir (Şekil 1.5). Puzolonik aktivite için gerekli kalsiyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit, karbon gibi maddelerin yanında yüksek miktarda silika ve alümina içeren ve amorf yapıya sahip olan bu kül parçacıklarının boyutları 1 µm - 150 µm arasında değişmektedir. İlk olarak 1900'lü yılların başında araştırılmaya başlanan uçucu kül beton katkı malzemesi olarak denenmiş

ancak olumlu sonuçlar vermemiştir. Bu süreden sonra ilk olarak 1932 yılında ABD’de elektrik üreten şirketler tarafından yan ürün olarak ortaya çıkarılmış ve beton katkı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Erdoğan ve ark., 2007). Ayrıca uçucu külün mutlak yoğunluğu  $2 - 2.7 \text{ gr/cm}^3$  tür. Yani portland çimentosuna kıyasla daha hafiftir. Dolayısıyla portland çimentosu yerine uçucu kül ikame edildiği durumda bağlayıcı hamurun hacmini artırır. Uçucu külün kimyasal bileşenleri için TS EN 450-1’de belirtilen standart şartları Çizelge 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.5. Uçucu külün termik santralde üretim aşaması(Doğruyol, 2017)

Çizelge 1.1. TS EN 450-1’da belirtilen uçucu kül için standart şartlar

| Özellik                                                        | Standart Şartlar                   |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | En az % 70                         |
| $\text{SO}_3$                                                  | En çok % 5                         |
| Rutubet                                                        | En çok % 3                         |
| Kızdırma kaybı                                                 | En çok % 10                        |
| İncelik (Blaine)                                               | En az $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ |
| MgO                                                            | En çok % 5                         |

Betonda çimento ile yaklaşık %50 oranına kadar yer değiştirilebilen uçucu kül, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı betonda birçok olumlu etkiye sebep olmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Beton hamurundaki bağlayıcı hacmini artırdığı için agrega tanelerinin arasının iyi doldurulmasına olanak sağlar.

- İnce taneli özelliğinden dolayı beton içerisindeki sürtünmeyi azaltır, betonda akıcılık sağlar, işlenebilmeyi artırır.
- Pozolonik aktivite sebebiyle betonun erken yaş basınç dayanımını düşürse de nihai basınç dayanımını artırır.
- Betonun geçirimsizliğini artırmaktadır.
- Betonun sülfat direncini artırıp, hizmet ömrünü uzatır.
- Alkali-silika reaksiyonu sonucu oluşan genleşmeyi azaltır.
- Betonun aşınmaya karşı dayanıklılığını artırır.
- Ekonomiklik sağlamaktadır.

Betondaki olumsuz etkileri de şu şekilde sıralanabilir:

- Betonun erken yaş dayanımını düşürür.
- Beton priz süresini uzatır bundan dolayı soğuk havalarda sorun oluşturabilmektedir.
- Betonun kür için gerekli süresini uzatır.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C olmak üzere iki grupta incelenmektedir. F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. Bu uçucu küller, pozolanik özelliğe sahiptirler. Bunun yanı sıra C sınıfı uçucu küller ise linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO > %10 olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, pozolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

**2. Silis dumanı:** Silisyum metali veya ferro silisyum alaşımlarının üretimi sırasında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Bu malzeme, “mikrosilika” veya “silika tozu”, veya “silika fume” gibi isimlerle de anılmaktadır. Çok büyük miktarda silika içeren, amorf yapıya sahip olan ve çimento tanelerinin inceliğinin yaklaşık %1'i kadar ince taneli olan silis dumanı, aktivitesi çok yüksek olan mükemmel bir pozolandır. Silis dumanı sadece beton katkısında kullanılmamakla birlikte, katkılı çimento üretiminde de kullanılmaktadır. Silis dumanının beton katkı maddesi olarak

kullanılabilirliği, ilk olarak 1950 yılında Norveç Teknoloji Enstitüsünde araştırılmış ve olumlu sonuçlarına dayanılarak, bu malzeme, Oslo'daki Blindtarmen Tüneli'nin betonlarının yapımında %15 oranında kullanılmıştır (Erdoğan ve ark., 2007). Silis dumanının betondaki olumlu sonuçları şu şekilde sıralanabilir:

- İnce yapılı olmasından dolayı beton kompasitesini artırır.
- Betonda terlemeyi azaltmaktadır.
- Betonun hidratasyon ısını azaltmaktadır.
- Pozolanik aktivite yaparak betonun nihai dayanımını artırır.
- Geçirimsizliği azalttığı için sülfata karşı dayanıklılık sağlar.
- Betonda alkali silika reaksiyonunu azaltmaktadır.

Silis dumanının olumsuz etkileri de şu şekilde sıralanabilir:

- Çok ince taneli olduğundan dolayı betonun su içeriğini artırır. Bunun önüne geçebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaktadır.
- Kullanıldığı betonlarda plastik büzülme çatlağı ihtimali artmaktadır.

**3. Granüle yüksek fırın cürufu:** Demir üretiminde atık malzeme olarak üretilip ince hale gelmesi için öğütülen yüksek fırın cürufu diğer pozolonlar gibi kullanım alanı bulabilmektedir. Granüle yüksek fırın cürufu amorf yapıda olduğundan ve yeterli miktarda silika ve alümina içerdiğinden pozolanik özellik gösterebilmektedir. Yüksek fırın cürufunun granüle duruma getirilmesiyle ilgili ilk çalışmalar 1862 yılında Alman Emil Langen tarafından başlatılmıştır (Erdoğan ve ark., 2007). Devam eden yıllarda ise sadece beton üretiminde değil katkı çimento üretiminde de kullanılmıştır.

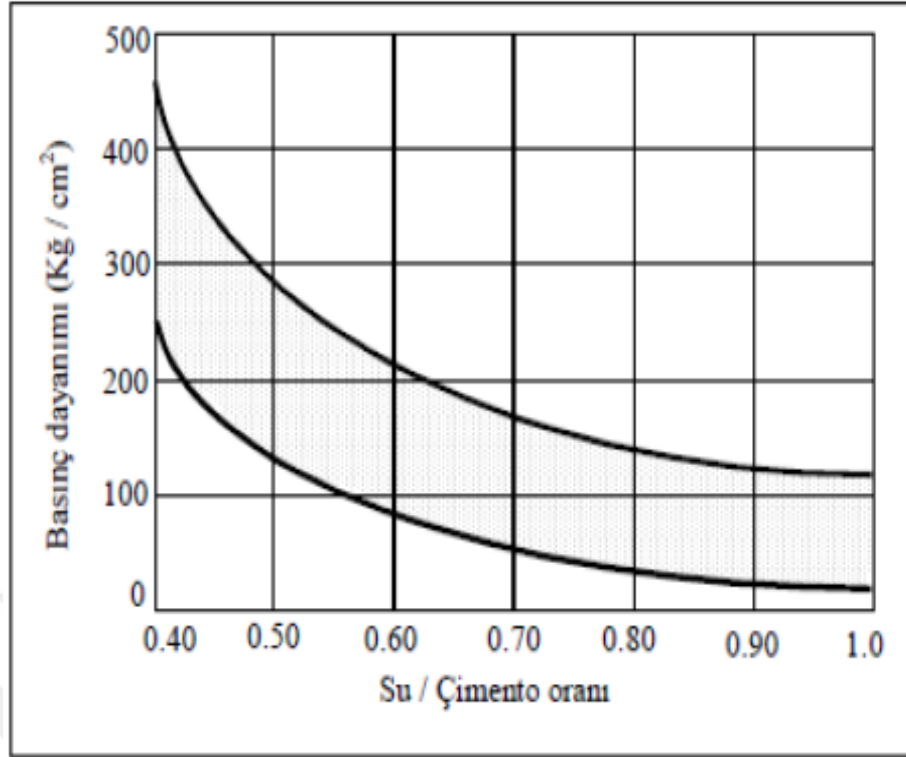
#### 1.2.1.2. Kimyasal katkılar

Taze ve/veya sertleşmiş beton özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında, betona çimento miktarının ağırlıkça %5'ini geçmemek üzere eklenen kimyasal maddelerdir. Esas olarak betonun özelliklerini iyileştirip, suda çözülebilen malzemelerdir. Farklı özelliklerdeki kimyasal katkıların beton özellikleri üzerinde sağladığı iyileştirmelere örnek olarak, basınç ve eğilme dayanımları üzerinde artış, geçirimsizlik özellikleri ve buna bağlı olarak dürabilite özellikleri üzerindeki iyileştirmeler, korozyon önleme, rötre azaltma, ayrışmadan yüksek kıvam artırma gibi

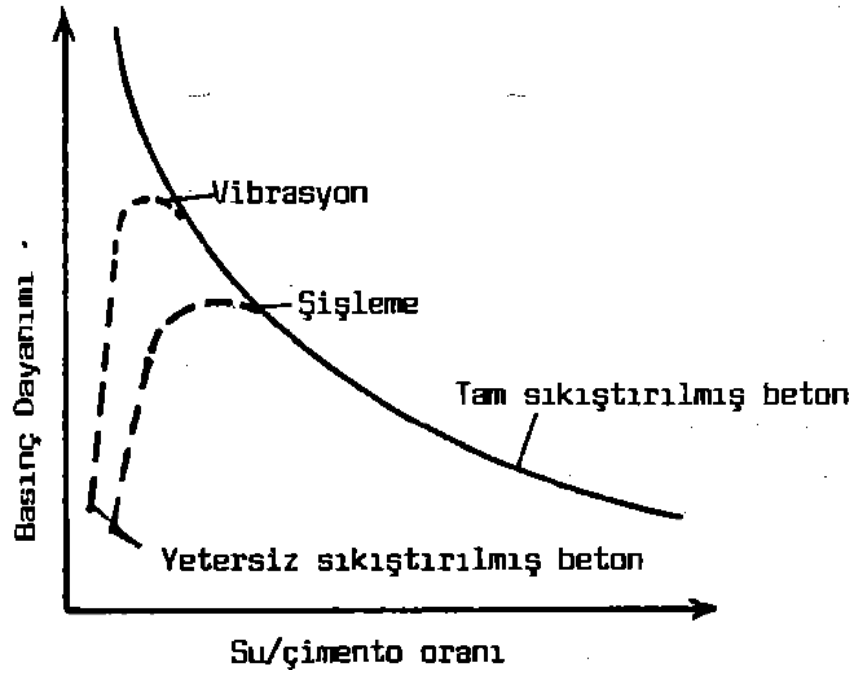
işlenebilirlik özellikleri üzerindeki iyileştirmeler, priz süresinin ayarlanması, yüksek pompalabilirlik, amaca yönelik düzenlenebilir reolojik özellikler, çimento etkinliğinin artırılması ve alkali silika reaksiyon riskinin azaltılması gibi performans artırıcı etkiler sayılabilir (Pekmezci ve ark., 2014). Kullanım miktarı çok az olmasına rağmen normal katkısız betona göre daha maliyetli olabilmektedir.

### 1.2.2. Betona vakum uygulaması

Betonun fiziksel ve kimyasal yapısını etkileyen en önemli parametre içerisinde su miktarıdır. Betonun dayanım ve kıvamının belirleyen en önemli faktör ise S/Ç oranıdır. Bu iki parametreye ait eğri Şekil 1.6' da gösterilmiştir. Beton hesabında betona katılması için bulunan su miktarının iki ana görevi vardır. Bunlardan biri hidrasyon için gerekli olan su diğeri işlenebilirlik için olan su miktarıdır. Ancak işlenebilirlik için olan gerekli olan su betonu kalıba yerleştirdikten sonra önemini yitirmektedir. Bu su miktarının bir kısmı terleme yoluyla atılsa da, bir kısmı agrega taneleri arasında sıkışıp kalır ve ilerleyen zamanlarda buharlaşarak buralarda kılcal boşluk oluşmasına sebep olmaktadır. Eğer ki agrega tanecikleri arasındaki bütün hacim çimento hamuru ile doldurulmuş ve beton karışımı içerisine gereğinden fazla su eklendiğinde sertleşmiş beton tamamen su geçirmez olmaktadır. Ama bu durum pek mümkün olmadığından oluşan boşluklar beton basınç dayanımını düşüreceği gibi betonun maruz kalacağı tekrarlı dış etkilere karşı da dayanıklılığı da olumsuz etkileyecektir. Şekil 1.6' dan görüleceği üzere S/Ç oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Eğer ki hesaplarda bu oran fazla çıkarsa beton kompasitesinde azalma olmaması için süper akışkanlaştırıcılar kullanılması tercih edilmelidir. Yine tam tersi durumda bu oran çok az çıkarsa katkıları eklenerek ile bu durum aşılmalıdır. Şekil 1.7' de S/Ç oranına bağlı olarak istenilen dayanım için yapılması gereken işlemler gösterilmiştir. Çünkü su miktarının azalması her ne kadar iyi gibi görünse de işlenebilirliği az olan beton kalıba döküldükten sonra iyi yerleşemez ve boşluklu beton üretilmiş olmaktadır. Bundan dolayı su hesabı betonda dikkat edilmesi gereken en önemli, en hassas meseledir.



Şekil 1.6. Beton basınç dayanımı ve S/Ç oranının değişimi (Ersoy, 2015)



Şekil 1.7. S/Ç oranına bağlı olarak istenilen dayanım için yapılması gereken işlemler (Özdemir, 1992)

Uygulamanın en çok kullanıldığı saha betonu, ağır kullanım yüklerine maruz alanlarda, beklenen hareketli ve sabit yükleri taşımak için yeterli dayanım ve

dayanıklılığa sahip olarak tasarlan beton olarak tarif etmek doğru olacaktır. Diğer elemanlara göre saha betonunun iki önemli işlevi vardır:

- Saha betonu yapı taşıyıcı sisteminin bir parçasıdır. Yapı serviste olduğu süre içinde taşıyıcı özelliğini sürdürür.
- Saha kullanıcı araçlarının bir parçasıdır. Saha betonları üzerinde kullanıcı araçları yer alır ve belli miktarda trafik yükü vardır (Sümer, 2012).

Saha betonu aşamaları şu şekilde sıralanabilir:

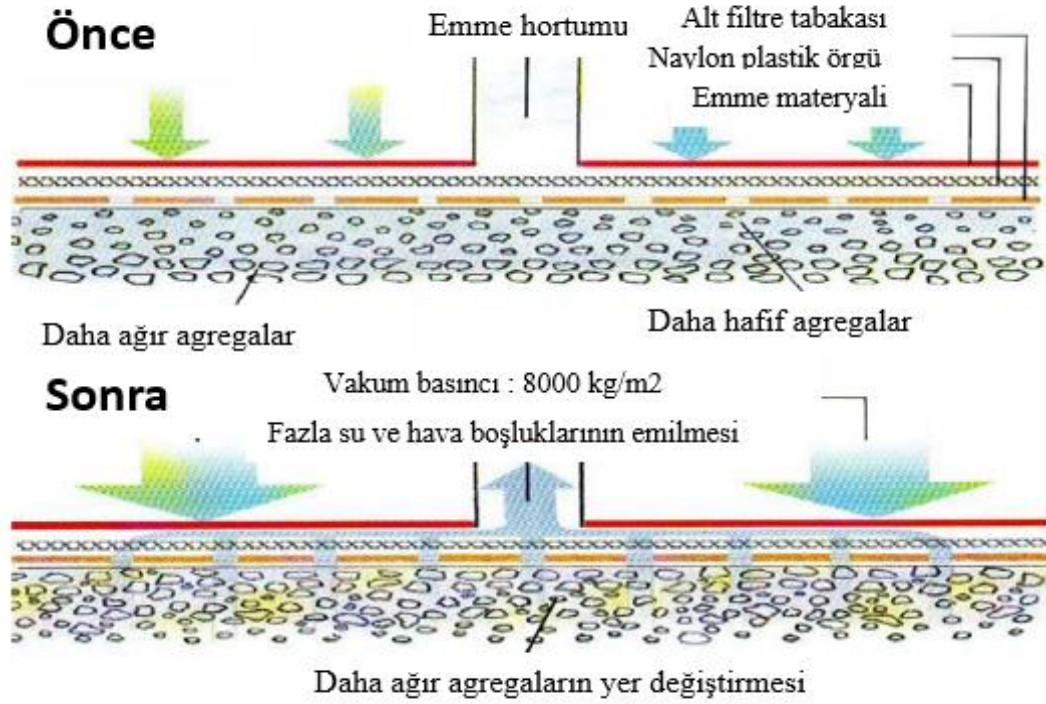
- Gerekli minumun kalınlığının belirlenmesi,
- Taban zemininin homojen, sıkıştırılmış olması, zemin üstünde su birikintisi olmaması ve drenaj için gereken eğimin verilmesi, beton altına su emilimini önlemek için polietilen örtü serilmesi, kalıptan sonra paspayına göre hasır donatının yerleştirilmesi gibi şantiye hazırlıklarının yapılması,
- Malzeme ve işçilik planlamasının yapılması,
- Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinin uygun olarak yapılması,
- Perdahlama işlemi ve sonrasında yüzey sertleştirici işleminin yapılması,
- Yüzey alanı büyük betonlardaki büzülmeden kaynaklı çatlakların önüne geçilmesi için kontrol derzlerinin bırakılması
- İmalatından sonra oluşabilecek su kaybını engelleyip rötre çatlaklarının önüne geçmek ve hidratasyonun uygun şekilde gerçekleşmesini sağlamak için bakım ve kür işlemlerinin yapılmasıdır.

Saha betonları rötreye bağlı çatlamlar, aşınma, darbeler, asit-bazdan etkilenme, geçirgenlik, yüksek sıcaklık etkisi, donma çözülme etkisi ve yüzey tozlanması gibi sorunlara maruz kalabilmektedirler (Sümer, 2012). Bu sorunların birçoğu düşük kompasiteden kaynaklı meydana gelmektedir. Bunun için mümkün olduğunca geçirimsiz beton üretmek birinci hedefimiz olmalıdır. Daha az kılcal boşluklu beton üretmenin en etkili yolu betona vakum uygulaması yapılmasıdır. Bu uygulama ilk olarak 1935 yılında United States’de K. P. Billner tarafından keşfedilmiştir. Daha sonraki 20 yıl içinde Kalifonya’ daki Shata Barajı’nda, Washington’daki Pentagon Building gibi bazı önemli projelerde de kullanılmıştır. Ancak bu uygulamanın araç ve gereçleri çok pahalı ve ağır olduğu için U.S. beton firmaları uygulamayı bir süreliğine askıya almıştır. Devamında ki yıllarda kullanılan araç ve gereçlerin daha ucuz ve hafif

hale gelmesiyle tekrardan gündeme gelmiş ve günümüze kadar devam etmiştir (Pickard, 1981).

Özellikle ağır yük ve olumsuz hava koşullarına maruz kalan saha betonlarında kullanılan bir yöntem olan vakum uygulaması; kalıba yerleştirilen taze betonun özel aparatları yardımıyla yüzeyinden yaklaşık 15 cm derinlikten suyun geri çekilme işlemidir. Geri çekilen su total miktarın yaklaşık %20'si kadardır ve kalan su hidrasyon için yeterlidir. Derinlik arttıkça vakumun etkisi azalmaktadır. Bu işlemin yapılmasından sonra betonun priz süresi hızlandırılmış, daha kısa sürede hizmete sunulabilir, kullanılabilir beton üretilmiş olmaktadır. Vakum uygulamasındaki amaç işlenebilirlik için olan suyun buharlaşmayıp agrega taneleri arasında oluşturduğu hava boşluklarının alınmasıdır. Şekil 1.8'de vakum önce ve sonrası agregaların durumu gösterilmiştir. Böyle bir yöntemle su miktarı azaltılıp optimum S/Ç oranına ulaşılır. Karışımındaki S/Ç oranının azaltılması hem fiziksel hem de mekanik özelliklerde iyileşmeye sebep olur. Yapılan çalışmalar neticesinde vakum uygulaması %10 - %50 arasında basınç dayanımında artış gösterdiği sonucuna, yine dayanıklılık açısından da daha iyi beton üretildiği sonucuna varılmıştır. Vakum uygulamasının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Uygulama ile S/Ç oranının azalmasından dolayı kısa sürede yüksek dayanım elde edilmesi,
- Kılçak boşlukların azalmasına bağlı olarak basınç dayanımında önemli derecede artış olması,
- Yüzey sertliğinin yaklaşık %130'a artması,
- Yüzey aşınma direncinin artması,
- Betona sızan su miktarının azalması,
- Sızan su miktarının azalmasına bağlı olarak sülfata, alkali-silika reaksiyonlarına karşı direncin artmasıdır.



Şekil 1.8. Betona vakum uygulamadan önce ve sonra agregaların durumu (Patel ve ark., 2015)

Vakum uygulamasının aşamaları şu şekilde sıralanabilir (Bolat ve ark., 2009):

- Zemin stabilizasyonu,
- Zemine ayırıcı tabaka serilmesi,
- Kalıpların yerleştirilmesi,
- Varsa donatıların yerleştirilmesi,
- Beton dökümü,
- Betonun sıkıştırılması ve yüzeyin masterlanması,
- Vakum örtüsünün serilmesi,
- Vakum örtüsü ile vakum pompasının bağlantısının saplanması,
- Vakum pompasının çalıştırılması ve suyun betondan çekilmesi,
- Vakum işlemi bittikten sonra yüzeyin perdelanması,
- Yüzeye son şeklin verilmesi.

Betona vakum uygulama aşamaları Şekil 1.9'da görüldüğü şekildedir.



Şekil 1.9. Vakumlu beton üretim aşaması( Şahin, 2016)

Vakum uygulaması yapılırken şu hususlara dikkat edilmelidir (Şahin, 2016):

- Beton karışım direk zemine dökülüyorsa zemin stabilizasyonu iyi bir şekilde yapılarak sıkıştırılmalı ve karışım içerisindeki su zemin içerisine girmesini engellemek için zeminde ayırıcı bir tabaka (naylon – 0.2 mm) kullanılmalıdır. Eğer önlem alınmazsa zeminde gevşemeler meydana gelerek ileriki zamanlarda çökmelere sebep olabilir.
- Saha beton uygulamalarında donatı kullanılmıyorsa vibratörlü yüzey mastarı kullanılarak yüzeyden titreşimle beton karışım sıkıştırılır ve

yüzey düzleştirilir. Donatılı beton kullanılıyor ise donatının sıklığına göre hem daldırma hem de vibratörlü yüzey mastarı kullanılabilir.

- Beton yüzeyinin düzeltilmesine müteakip vakum örtüsü serilmeli ve örtü ile yüzey arasında boşluk bırakılmamalıdır. Serilme işlemi bittikten sonra vakum örtüsü ile vakum pompasının tespiti bir hortum yardımıyla yapılmalı ve vakum pompası çalıştırılmalı. Burada uygulanacak vakum süresi beton karışım kalınlığı ile alakalıdır.
- Vakum işleminde pompa ile beton karışımlardan çekilen su belli bir süre sonra kesik kesik gelir ve en sonunda da su kesilerek buhar çıkmaya başlar. Buharın çıkması vakum işleminin sona erdiği anlamına gelmekte olup vakum işlemi durdurulur ve vakum örtüsü beton yüzeyden kaldırılır. Bazı kaynaklar 5 cm beton kalınlığı için 5 dk vakum uygulanması gerektiğini belirtse de vakum işleminin sona ermesi pompadan buhar çıkması ile sonlanır. Bu da beton karışımın kalınlığı, çökme değeri ve varsa donatı sıklığı ile alakalıdır.
  - Beton yüzeyinden vakum örtüsü kaldırılması ile üzerinde yürünebilecek serliğe ulaşmış olur. Uygulama esnasında yüzeyde meydana gelebilecek çukur veya kopmalar taze beton ile doldurularak mala ile düzeltilir. Bu işlemden sonra helikopter tipi perdah makinesi ile perdahlama yapılabilir. Perdahlama ile beton yüzeyinin tesviyesi iyi bir şekilde gerçekleştirilmiş olur. Perdahlama işleminin bitirilmesi ile yüzeye sertleştirici veya renklendirici katkıları yardımıyla yüzeyin son şekli verilebilir.

### 1.2.3. Betonda lif kullanılması

Yapı sektöründe kullanılan betonun dayanıklı ve uzun ömürlü olmasının yanında basınç dayanımında istenilen seviyelere çıkartılabilmesi betonun avantajları arasında olup, buna karşın dezavantajlarından en önemlisi ise çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesinin bunun yanında ihmal edilecek kadar düşük olmasıdır.

Geleneksel beton tipik olarak; yorulma dayanımı, kavitasyon ve aşınma dayanımı, çekme dayanımı, deformasyon kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf performans gösterir. Bu yüzden

betonarme yapılarda, çelikle birlikte kullanılarak enerji yutma kapasitesinin artışı sağlanmıştır. Bunun yanı sıra farklı katkıları kullanarak da betonun bu zayıf özellikleri giderilmeye çalışılmıştır. Lifli betonlar bu amaçla üretilen özel betonlardan birisidir. Böylece beton karışımlarında polipropilen lif, karbon lif, plastik-cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1.10). İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır.



Şekil 1.10. Farklı türdeki lif örnekleri

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Pickard (1981), çalışmasında vakum uygulamasının nasıl yapıldığından, aşamalarından ve uygulamanın avantajlarından bahsetmiştir. Aynı zamanda maliyet hesaplamasından ve tarihçesi üzerinde de durmuştur.

Bolat (2002), yaptığı çalışmada 15 cm yüksekliğinde 2x6 metre ebatlarda şreferans beton, 3x4 metre ebatlarda tam vakumlu beton ve 3x4 metre ebatlarda tam vakumlu beton alanları oluşturmuştur. Vakumlu betonda kullandığı betonu beton tesisinden temin etmiş ve dökülen betonlara 35 dakika ve 18 dakika olarak iki farklı sürede vakum uygulaması yapmış, referans numuneye ise vakum uygulaması yapmamıştır. Kür süresini tamamlayan betonlardan h/d oranı 2 olacak şekilde karot numuneler alınmıştır. Karot numuneler tam boy ve yarım boy olarak 7 ve 28. Günlerde basınç dayanımına tabi tutulmuştur. Kısacası çalışmada, betona taze halde iken uygulanan vakumun ve vakum süresinin 7. ve 28. günlerde tam boy ve alt-üst tabakalar halinde yarım boy numunelere etkisi araştırılmıştır.

Neville (2003), çalışmasında beton ve su arasındaki ilişkiyi hep yapılanın aksine tek yönden değil detaylı bir şekilde incelemiştir. Suyun betondaki işlevleri üzerinde durulmuştur.

Subaşı ve ark. (2005), çalışmasında beton sınıfı C20 olan 15\*200\*200 cm boyutlarında 3 adet döşeme üretmişlerdir. Üretilen betonlara 34 dakika ve 17 dakika vakum uygulanmış, referans numunelere vakum uygulaması yapılmamıştır. Üretilen beton bloklar üzerinde yoğunluk ölçümleri yeni bir teknoloji olan radyoaktif yöntemle yerinde gerçekleşmiştir. Ayrıca alınan karotların labaratuvarda yoğunlukları ölçülmüştür. Sonuç olarak yeni teknoloji olan radyoaktif yöntemle yoğunluk tayininin, labaratuvardaki hesaplara göre %1 yanılma olasılığı olduğu sonucuna varılmıştır.

Uygunoğlu ve ark. (2005), çalışmasında uçucu külün çimentoyla farklı oranlarda ikamesini araştırmak amacıyla 0(kontrol). 10, 15, 20 ve 25 kg/m<sup>3</sup> uçucu kül miktarı ve bunlara göre elde edilen beton numunelerin 1,3,7,28,56. günlerde basınç dayanımlarını test etmiştir. Sonuçların bulanık mantık yaklaşımı ile kıyaslanmış ve çok yakın olduğu görülmüştür. Betonun ilk yaşlardaki dayanımında uçucu kül oranını artmasıyla basınç dayanımının azaldığı, en düşük değerin % 40 ikame oranlı numunede çıktığı gözlemlenmiştir. İleriki yaştaki basınç dayanımında ise en iyi sonuçların %10-15 arasında olduğu, ikame oranının artması ile basınç dayanımının azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

Erdal ve ark. (2006), bu çalışmada, aynı karışım oranına sahip, üç farklı sürelerde vakum uygulaması yapılmış beton numunesi üretmiştir. Vakum süreleri 17 dakika ve 34 dakika olup referans numunesine vakum uygulaması yapılmamıştır. Dökülen döşemelerde Widsor probe penetrasyon deneyi ve beton test çekici ile yüzey sertliği deneyleri yapılmış, alınan h/d oranı 2 olan karot örneklerine ise ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımında en küçük ortalama referans betonda, en büyük ortalama değeri tam vakumlu betonda görülmüştür. Karot örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri ile tahribatsız test metotlarıyla belirlenen basınç dayanım değerleri karşılaştırılmıştır.

Önal (2006), çalışmasında beton sınıfı C20 olan 20\*200\*300 cm boyutlarında 2 adet döşeme üretmişlerdir. Üretilen betonlardan birine 30 dakika vakum uygulanmış, referans numunelere vakum uygulaması yapılmamıştır. Açık havada bulunan betonlardan 66 ay sonra 10/15 cm boyutlarında karotlar alınmış ve basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı tayini, yarmada çekme dayanımı, karbonatlaşma derinliği, kapiler su emme miktarı, birim hacim kütlesi, görünür boşluk oranı, aşınma dayanımı, donma-çözülme tayini deneyleri yapılmıştır. Vakum etkisinin betonun basınç dayanımını % 29 oranında artırdığı gözlemlenmiştir. Bunun dışında diğer deneylerde de vakumlu betonun referans betona göre daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Sancak (2008), çalışmasında 15\*300\*400 cm olan beton plaklar üretmiş ve ürettiği betonlara tam vakum (35) dakika, yarım vakum (18 dakika) uygulaması yapmıştır. Buna ek olarak 15\*200\*600 cm boyutlarında referans numune üretimi ve vakum uygulaması yapılmamıştır. Dışarıda ve laboratuvar olmak üzere iki farklı kür işleminden sonra alınan karot numunelere 7, 28, 1080. gün sonunda basınç dayanımı deneyi, karbonatlaşma derinliği deneyi ve 1080. gün sonunda eğilme deneyi yapılmıştır. Sonuçlar, uygulanan vakum uygulamasının betonun korozyona karşı direncini artırdığını aynı zamanda mekanik özellikleri de olumlu etkilediğini göstermiştir. Basınç dayanımında tam vakumlu numuneler yaklaşık % 44 referans betona göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Eğilme dayanımında ise referans numuneye göre tam vakumlu ve yarım vakumlu numuneler sırasıyla % 9 ve % 10 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bolat ve ark. (2009), çalışmasında vakumlu beton uygulamasının sisteminin nasıl gerçekleştiği, uygulama yerlerine göre ne gibi avantajlar sağladığı ve uygulama aşamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar üzerinde durmuştur. Bunlara ek olarak vakumlu beton ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçlarını ele almış ve araştırılması

gereken konular üzerinde durmuş, gelecekte bu uygulama ile ilgili yapılabilecek önerileri sunmuştur.

Temiz ve ark. (2009), çalışmasında çimentonun %40'ına varan oranlarda termik santral külleri katılarak üretilen betonların, yol kaplama betonu olarak kullanılabilme imkânları araştırılmıştır. Çalışma hem laboratuvar ortamında yürütülmüş, hem de numunelerin beton yol kaplamalarının maruz kalabileceği koşulların etkileri altında kalmaları sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, çimentonun %30'u oranındaki uçucu kül katkılarıyla üretilen numunelerden, referans karışımın basınç dayanımına yakın, hatta ileri yaşlarda daha yüksek basınç dayanımı sonucu elde edilmiştir.

Arslan ve ark. (2010), asfalt yol kaplamalarında vakum uygulamasının mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmak için  $100 \times 200 \times 20$  cm<sup>3</sup> ölçüsünde normal ve vakumlu olmak üzere iki tip beton blok hazırlamıştır. Beton karışımında katkı olarak uçucu kül ve süper akışkanlaştırıcı kullanmıştır. Çalışmada beton bloklar üzerine, aşınma ve yüzey sertliği testleri yapılmıştır. Ayrıca bloklardan alınan karot örnekler üzerinde su emme miktarı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı ve basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda vakumlu betonun, rijit yol üst yapılarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Baradan ve ark. (2013), çalışmasında betonun bozulmasına, dayanıklılığın azalmasına ve servis ömürlerinin kısalmasına sebep olan iç ve dış kökenli etmenler detaylı şekilde anlatılmıştır.

Berber (2010), çalışmasında beton basınç dayanımını belirlemede tahribatlı, yarı tahribatlı ve tahribatsız olan 3 yöntemden tahribatlı yöntem kategorisindeki karot alma yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu yöntemle yapıdan alınan h/d oranları değişkenlik gösterebilen silindir numunelerin deneye tabi tutulmasıyla beton sınıfı belirlenmektedir. Ancak alınan karotların standart numune dayanımına paralel gelmesi için buna etki eden parametreleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu çalışmada karot numune dayanımına etki eden parametreler incelenmiş ve beton kabul koşulları yürürlükte olan standartlara göre değerlendirilmiştir.

Akdağ ve ark. (2013), son yıllarda hazır beton kullanımının artmasıyla birlikte beton kalitesinde düşüşler meydana gelmiştir. Bunun denetlenmesi ya da uygunluğunun kontrol edilmesi her geçen gün zor hale gelmeye başlamıştır. Bu sebeple çalışmada 3 farklı şantiyeden beton sınıf aralığı C20-C40 olan toplam 63 set karot numunesi alınmıştır. Çalışmalarda, 100/200 mm'lik silindir ve 150 mm'lik küp numuneler ile yükseklik-çap oranları 1 ve 2 olan karot numuneleri kullanılmıştır. Çalışmada, beton

üreticisinin ve beton kullanıcısının aldığı, sakladığı ve deneyini yaptığı küp ve silindir numunelerle ilişkisi ve dayanımla ilgili belirsizliğin olduğu bölümlerden alınan karot numunelerinin ne şekilde alındığı, deneye nasıl hazırlandığı ve dayanım sonuçlarının değerlendirmesi amaçlanmıştır. Alınan karot numunelerin sonuçları TS EN 13791 ' e göre değerlendirilmiştir.

Saeed ve ark. (2014), çalışmasında vakumlu beton uygulamasında farklı bir teknik uygulamıştır. Bu teknikte beton yüzeyini betonu sudan arındırmak için pamuklu kumaştan delikli PVC borular kullanılmıştır. Betona geleneksel vakum uygulamasındaki yüzeyden suyun geri çekilmesinden ziyade PVC borular kullanılarak taze beton kütesinin içinden su geri çekilmiştir. Vakum uygulamasına farklı bir bakış açısı getirmiştir. Üretilen betonlara basınç dayanımı ve mekanik deneyler yapılmış, özellikle erken yaşta referans numuneye göre artış olduğu gözlemlenmiştir. Vakum uygulaması yapılacak yapılar için iyi bir alternatif olduğuna karar verilmiştir.

Pekmezci ve ark. (2014), çalışmasında günümüz beton uygulamalarında kullanılan kimyasal katkı maddeleri kullanım amaçları doğrultusunda sınıflandırmış, önemi üzerinde durmuş ve beton özellikleri üzerindeki etkilerini anlatmıştır. Kimyasal katkıların betondaki olumlu ve olumsuz etkilerini detaylı bir şekilde anlatmıştır. Beton teknolojisinde kullanılan nano-katkıların beton performansı üzerine etkilerini incelemiştir.

Nergiz (2016), çalışmasında üç farklı beton sınıfında, üç farklı bileşim oranında, iki farklı polipropilen lifli normal ve vakumlu olmak üzere 42 farklı çeşit beton üretmiştir. Üretilen 15x15x15 cm küp numunelerle beton basınç dayanımları, 60x15x15 cm numunelerle kiriş eğilme testleri ve 10x60x60 cm numunelerle plak testleri yapılmıştır. Sonuçlar vakum uygulamasının lifli betonda sıkıştırma kuvvetini %20'ye kadar arttırdığı göstermiştir. Kiriş bükme testinde en yüksek taşıma değerinde lifsiz beton %30'a kadar daha yüksek sonuç vermiş; ancak 3 mm'ye kadar bükülmelerde kiriş bükme testi %60'a kadar daha düşük sonuç vermiştir. Enerji kaldırma testinde lifli beton lifsiz betondan 8-16 kat daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Betonda kullanılan polipropilen lif miktarı ve uzunluğu ile vakum kullanımının beton özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Patel ve ark. (2015), depoların zeminlerinde, beton yollarda, park alanlarında, endüstriyel yapıların üretim alanında kullanılan vakum uygulamasının beton döşemelerde de kullanımını araştırmıştır. Aynı zamanda çalışmada vakum

uygulamasının tanımı, uygulama aşamaları, avantaj- dezavantajları ve tarihsel gelişimine de yer verilmiştir.

Şahin (2016), betonun olumsuz yönlerini giderebilmek için vakum uygulaması ve katkı olarak çelik lif kullanmıştır. Çalışma kapsamında çelik lifler iki farklı uzunlukta ve üç farklı oranda ve üç farklı dayanım sınıfında, normal ve vakumlu betonlarda kullanılmıştır. Taze betona çelik lif takviyesi ve/veya vakum uygulaması yapılarak üretilen 42 çeşit beton üzerinde yapılan 150x150x150 cm küp numunelerle beton basınç dayanımları, 10x60x60 cm numunelerle plak testleri ve 60x15x15 cm numunelerle kiriş eğilme testleri deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın parametrelerinin tümü bir arada değerlendirildiğinde çelik lifler ve vakum uygulaması beton basınç dayanımında % 35'e kadar artış, kiriş eğilme dayanımlarında lif oranına bağlı olarak % 38'e kadar, vakum uygulaması ile birlikte % 65'e kadar artışlar gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Ünal (2016), çalışma kapsamında betonarme kirişlerin farklı mesnet koşullarına ve a/d oranına bağlı olarak kesme ve eğilme davranışlarını hasar mekaniği açısından incelemiştir. Bu amaçla 16 adet 1/1 ölçekli betonarme kiriş üretmiş ve 4 nokta eğilme deneyine tabi tutmuştur. Mesnet değişikliğinin kiriş davranışında çok farklı etkilerinin olduğunu ve a/d oranı ile etriye aralığı değişiminin kirişlerin kesme kapasitelerini etkilediği sonucuna varmıştır.

Keçeci (2019) yaptığı çalışmada kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkılardan olan silis dumanının, beton basınç dayanımına ve aderansa etkilerini incelemiştir. Deney sonucunda, basınç dayanımı için optimum silis oranını %15 olarak belirlemiş, çekip çıkarma deneyleri sonuçlarında ise silis dumanının etkili olmadığını gözlemlemiştir.

Cengiz (2019), bu çalışma kapsamında, kendiliğinden yerleşen betondan ve normal betondan üretilen kirişlerin davranışı incelenmiştir. Çalışma kapsamında parametre olarak her iki beton türü için de farklı etriye aralıkları, farklı beton sınıfları kullanılmıştır. Bu amaçla 16 adet 1/2 ölçekli betonarme kiriş numunesi dört noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kendiliğinden yerleşen betondan üretilen kiriş numunelerin diğer kirişlere kıyasla daha fazla enerji tükettiği sonucuna varılmıştır.

Sözüer ve ark. (2020), beton icadından beri birçok açıdan geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi çimento yerine farklı mineral katkıları eklemek, bir diğeri de betona vakum uygulamasıdır. Bu amaçla bu çalışmada, beton sınıfı C25/30 olan 15\*80\*80

cm' lik betonarme plaklar üretilmiş, üretilen plaklara vakum uygulaması yapılarak ve 28 ve 90 gün sonra 10/10 cm ve 15\*15\*40 cm'lik karot numuneler alınmıştır. Alınan karot numunelere serbest basınç deneyi ve eğilme deneyi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dökülen betonarme plaklarda çimento %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında uçucu külle ikame edilmiştir. 28. günün sonunda yapılan basınç dayanımı deneyinde en iyi sonuç %0 katkılı numunelerde, 3 noktalı eğilme deneyinde ise %20 katkılı numunelerde çıkmıştır. 90. günün sonunda yapılan basınç dayanımı deneyinde en iyi sonuç %5 katkılı numunelerde, 3 noktalı eğilme deneyinde ise %15 oranında uçucu kül ikame edilen numunelerde çıkmıştır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yaklaşık 90 yıldır birçok yapının inşaatında kullanılan vakum uygulaması betonun özellikle basınç dayanımının artışında önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte kılcal boşlukların minimuma hale getirilmesiyle betonun başta geçirimsizlik olmak üzere birçok dış etkiye karşı savunmasızlığını da iyileştirmektedir. Betonda kullanılan mineral katkılardan biri olan uçucu külün ise betonda işlenebilirliği artırma, nihai dayanımı artırma, aşınma, sülfat etkisi, alkali silika reaksiyonuna karşı dayanımı artırdığından, en önemlisi de betonda ekonomiklik sağladığından dolayı beton iyileştirme yöntemleri arasında oldukça gözde olanlardandır.

#### 3.1. Deney Elemanlarının Üretimi

##### 3.1.1. Beton

Çalışma kapsamında normal-katkısız, vakumlu-katkısız ve vakumlu-uçucu küllü olmak üzere üç farklı beton üretimi yapılmıştır. Bütün üretilen betonlarda beton sınıfı C25/30 tercih edilmiştir. Üretilen 12 adet betonarme plak numunenin isimlendirmesi Çizelge 3.1’ de yapılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Üretilen beton numunelerin isimlendirmesi

| Kısaltmalar | Betonarme plak numune adlandırmasının açıklamaları      |
|-------------|---------------------------------------------------------|
| N-C25-I     | 28 günlük C25 beton sınıfı %0 U.K. katkı vakumsuz beton |
| V-C25-I     | 28 günlük C25 beton sınıfı %0 U.K. katkı vakumlu beton  |
| V-C25-5-I   | 28 günlük C25beton sınıfı %5 U.K. katkı vakumlu beton   |
| V-C25-10-I  | 28 günlük C25 beton sınıfı %10 U.K. katkı vakumlu beton |
| V-C25-15-I  | 28 günlük C25 beton sınıfı %15 U.K. katkı vakumlu beton |
| V-C25-20-I  | 28 günlük C25 beton sınıfı %20 U.K. katkı vakumlu beton |
| N-C25-II    | 90 günlük C25 beton sınıfı %0 U.K. katkı vakumsuz beton |
| V-C25-II    | 90 günlük C25 beton sınıfı %0 U.K. katkı vakumlu beton  |
| V-C25-5-II  | 90 günlük C25 beton sınıfı %5 U.K. katkı vakumlu beton  |
| V-C25-10-II | 90 günlük C25 beton sınıfı %10 U.K. katkı vakumlu beton |
| V-C25-15-II | 90 günlük C25 beton sınıfı %15 U.K. katkı vakumlu beton |
| V-C25-20-II | 90 günlük C25 beton sınıfı %20 U.K. katkı vakumlu beton |

Yapılacak deneyler için içerisinde  $\phi 6/15/15$  hasır donatı olan,  $15*80*80$  cm boyutlarında toplamda 12 adet örnek betonarme plak üretilmiştir. Betonarme plaklarda  $d$  (paspayı) = 2 alınmıştır.

Betonda kullanılacak malzeme miktarlarının tayini için agregalara özgül ağırlık, su emme, su muhtevası, elek analizi gibi ön deneyler yapılmış, daha sonra üretime geçilmiştir.

### 3.1.1.1. Özgül ağırlık, su emme ve su muhtevasının tayini

Deneyler TS 706 EN 12620 ve TS EN 1097-6'a uygun şekilde yapılmıştır. Çalışmada amaçlanan taşıyıcı vakumlu beton üretimi için normal agregalar olarak Konya-Ankara yolunun 32. km'sinde bulunan Öztaşoğlu Taş Ocağı'ndan ince agregalar olarak 0-4 mm toz (kırmataş tozu), iri agregalar olarak 5-12 mm ve 12-16 mm kırmataş agregası temin edilmiştir (Şekil 3.1). TS 706 EN 12620 standardına göre üst göz elek açıklık değerinin 4 mm'den küçük veya 4 mm'ye eşit olduğu tane büyüklüğündeki agregaya verilen isim olup kayalar veya çakılların doğal olarak parçalanması ve/veya ezilmesi veya yapay agregaların işlenmesi suretiyle üretilen agregalardır. İri agregalar ise üst göz elek açıklığının 4 mm'e eşit veya bu değerden büyük agregalara verilen isimdir. Özgül ağırlık tayininde yaparken hacim hesaplamasında ince agregalarda piknometre, iri agregalarınkinde ise Arşimet terazisi kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Vakumlu beton üretiminde kullanılan agregalar



(a)



(b)

Şekil 3.2. Özgöl ağırlık tayininde kullanılan piknometre(a) ve Arşimet terazisi(b)

Özgöl ağırlık ve su emme tayini için agregalar standartta yazan miktar kadar alınmış ve 24 saat suya beklemeye bırakılarak doymun yüzey kuru hale getirilmiş ve tartılarak hacmi bulunmuştur. Daha sonra TS EN 1097-6'de yazan formüller kullanılarak özgöl ağırlıkları ve su emme miktarları hesaplanmıştır. Yine aynı şekilde su muhtevası tayini için belli miktarda alınan agregalar 24 saat etüvde bekletilmiş ve formüller kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Su emme tayini için agregaların 24 saat bırakıldığı etüv

Bulunan değerler izelge 3.2' de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Beton retiminde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

|                                         | <b>0-4 mm kırmataş</b><br><b>tozu</b> | <b>5-12 mm</b><br><b>kırmataş</b> | <b>14-19 mm</b><br><b>kırmataş</b> |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>zgl ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)</b> | 2,71                                  | 2,66                              | 2,58                               |
| <b>Su emme</b>                          | % 4                                   | % 1                               | % 1,2                              |
| <b>Su muhtevası</b>                     | % 0,5                                 | % 0,8                             | % 0,2                              |

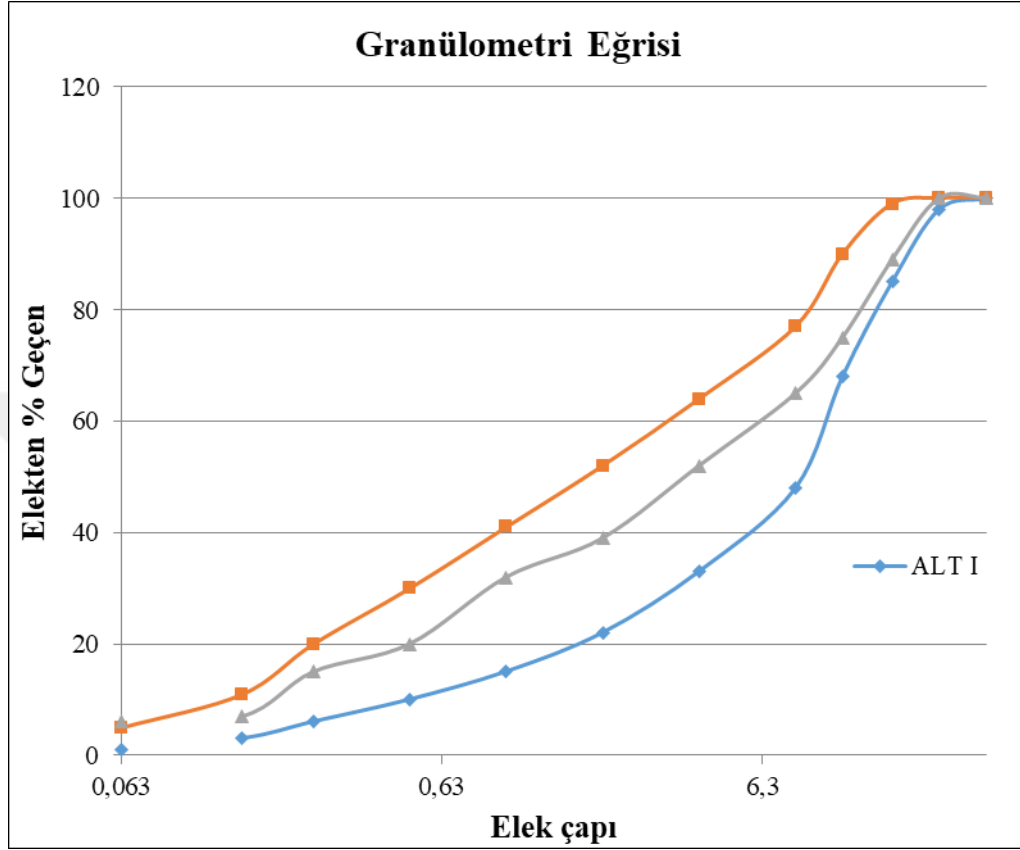
### 3.1.1.2. Beton gradasyonunun belirlenmesi

Taze betonun karıştırılması, taşınması, yerine serilmesi ve sıkıştırılması işlemleri boyunca, iri ve ince tanelerin segregasyonuna neden olmayarak, istenilen işlenebilmenin ve yoğunluğun elde edilmesini sağlayacak olan optimum agregata tane boyutu dağılımını bulmak için beton hesabı yapılmadan önce elek analizi yapılmalıdır. Vakumlu beton üretiminde 3 farklı agregata için elek analizi TS EN 933-1'e göre yapılmıştır (şekil 3.4).



**şekil 3.4.** Beton gradasyonunun belirlenmesi için elek analizinin yapılması

Elde edilen sonuçlar not alındıktan sonra 3 farklı agrega için granülometri eğrisi çizilmiş, belirli oranlarda kullanılarak beton karışımında kullanılacak ideal eğri için agrega miktarları bulunmuştur. Granülometri eğrisi Şekil 3.5’ te verilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan betonun granülometri eğrisi

Beton hesabı için gerekli özgül ağırlık, su emme, su muhtevası ve elek analizi deneyleri yapıldıktan sonra gerekli düzeltmelerden sonra beton karışımı için gerekli malzeme miktarları belirlenmiştir. Beton üretiminde Konya Çimento firmasına ait CEM II/A-M (P,L) 42,5R isimli çimento kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir. Karışımında kullanılan su, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Laboratuvarındaki şebeke suyudur. Çalışmamızda amaçladığımız taşıyıcı vakumlu betonarme plaklarda optimum sonucun bulunması için kullanılan çimento ile %0, %5, %10, % 15, %20 oranlarında ikame edilen uçucu kül ise Seyitömer Termik Santrali’nden (Kütahya) temin edilmiştir (Şekil 3.6). Temin edilen uçucu kül ASTM C 618 standardına göre C sınıfı uçucu küldür. Uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.5’ da verilmiştir. Betonarme plak için kullanılan  $\phi 6/15/15$

hasır donatı ise Torunlar Demir Saç, Profil Tic. Ltd. Şti. (Konya) firmasından temin edilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Çimentonun fiziksel özellikleri

| <b>Fiziksel Özellikler</b>             | <b>Çimento değeri</b> | <b>TS EN 197-1' e göre minumun değerler</b> | <b>TS EN 197-1' e göre maximum değerler</b> |
|----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 2. günün sonunda basınç dayanımı(MPa)  | 24,8                  | 20                                          |                                             |
| 28. günün sonunda basınç dayanımı(MPa) | 47,2                  | 42,5                                        | 62,5                                        |
| Priz başlangıç süresi (dk)             | 190                   | 60                                          | 10                                          |
| Hacim genleşme değeri (mm)             | 1                     |                                             |                                             |

**Çizelge 3.4.** Çimentonun kimyasal özellikleri

| <b>Kimyasal Özellikler</b>   | <b>Çimento değeri</b> | <b>TS EN 197-1' e göre minumun değerler</b> | <b>TS EN 197-1' e göre maximum değerler</b> |
|------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| SO <sub>3</sub> değeri (%)   | 3,37                  |                                             | 4,0                                         |
| CI değeri (%)                | 0,06                  |                                             | 0,1                                         |
| Toplam katkı (%)             | 17                    | 6                                           | 20                                          |
| K <sub>2</sub> O değeri (%)  | 0,71                  |                                             |                                             |
| NA <sub>2</sub> O değeri (%) | 0,63                  |                                             |                                             |

**Çizelge 3.5.** Seytömer uçucu külünün kimyasal analiz sonuçları

| <b>UYGUNLUK ŞARTLARI</b>       |                  |                  | <b>TS EN 197-1</b> |          | <b>TS 639</b> | <b>ASTM C 618</b> |          |
|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------|---------------|-------------------|----------|
| <b>Oksit(%)</b>                | <b>Uçucu Kül</b> | <b>TS EN 450</b> | <b>V</b>           | <b>W</b> |               | <b>F</b>          | <b>C</b> |
| SiO <sub>2</sub>               | 54,49            |                  |                    |          |               |                   |          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,58            |                  |                    |          |               |                   |          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,27             |                  |                    |          |               |                   |          |
| S+A+F                          | 84,34            |                  |                    |          | >70,00        | >70,00            | >50,00   |
| CaO                            | 4,26             |                  |                    |          |               |                   |          |
| MgO                            | 4,48             |                  |                    |          | <5,00         |                   |          |
| SO <sub>2</sub>                | 0,52             | <3,00            |                    |          | <5,00         | <5,00             | <5,00    |
| K <sub>2</sub> O               | 2,01             |                  |                    |          |               |                   |          |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,65             |                  |                    |          |               |                   |          |
| KK                             | 3,01             | <5,00            | <5,00              | <5,00    | <10,00        | <6,00             | <6,00    |
| Cl                             | 0,006            | <0,10            |                    |          |               |                   |          |
| Serb. CaO                      | 0,26             | <1,00            |                    |          |               |                   |          |
| Reak. SiO <sub>2</sub>         | 39,01            | >25,00           | >25,00             | >25,00   |               |                   |          |
| Reak. CaO                      | 2,49             |                  | <10,00             | >10,00   |               |                   |          |

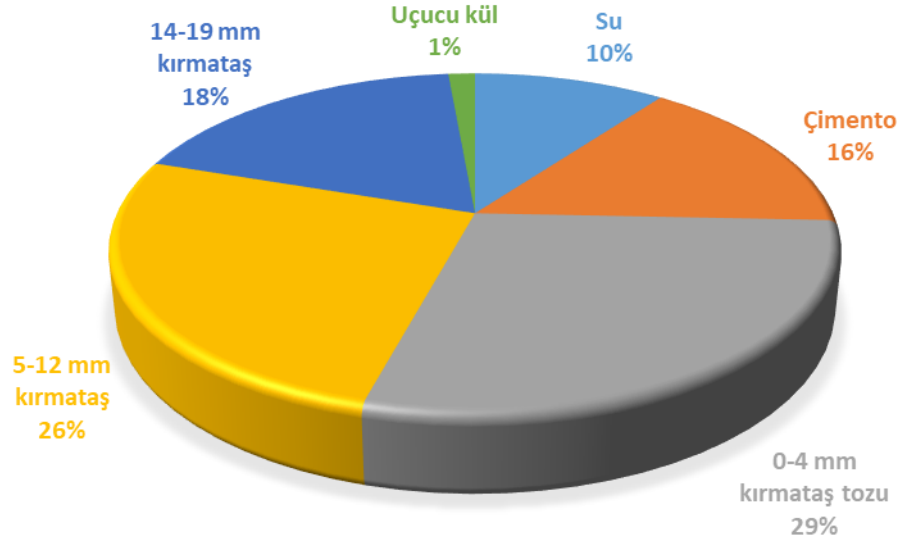


Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan uçucu kül

Yapılan hesaplamalardan sonra taşıyıcı normal ve vakumlu betonda kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.6’da verilmiştir. Kullanılan malzemelerin dağılımı ise Şekil 3.7’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Normal ve vakumlu betonda kullanılan malzeme miktarlar

| Betonarme plak numunelerinin isimleri | Su (kg) | Çimento(kg) | 0-4 mm kırmataş tozu(kg) | 5-12 mm kırmataş(kg) | 14-19 mm kırmataş (kg) | Uçucu kül(kg) |
|---------------------------------------|---------|-------------|--------------------------|----------------------|------------------------|---------------|
| N-C25-I                               | 27      | 45          | 76                       | 69                   | 49                     | -             |
| V-C25-I                               | 27      | 45          | 76                       | 69                   | 49                     | -             |
| V-C25-5-I                             | 27      | 42,75       | 76                       | 69                   | 49                     | 2,25          |
| V-C25-10-I                            | 27      | 40,5        | 76                       | 69                   | 49                     | 4,5           |
| V-C25-15-I                            | 27      | 38,25       | 76                       | 69                   | 49                     | 6,75          |
| V-C25-20-I                            | 27      | 36          | 76                       | 69                   | 49                     | 9             |
| N-C25-II                              | 27      | 45          | 76                       | 69                   | 49                     | -             |
| V-C25-II                              | 27      | 45          | 76                       | 69                   | 49                     | -             |
| V-C25-5-II                            | 27      | 42,75       | 76                       | 69                   | 49                     | 2,25          |
| V-C25-10-II                           | 27      | 40,5        | 76                       | 69                   | 49                     | 4,5           |
| V-C25-15-II                           | 27      | 38,25       | 76                       | 69                   | 49                     | 6,75          |
| V-C25-20-II                           | 27      | 36          | 76                       | 69                   | 49                     | 9             |



Şekil 3.7. Beton karışımında kullanılan malzemelerin dağılımı

Beton karışımında kullanılacak malzemelerin hesabından sonra ve üretilecek 12 adet betonarme plaklar için boyutlarına göre kesilen kalıplar monte edilmiştir. Üretilen kalıpların monte edilmesi Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Betonarme plaklar için kalıp üretimi

Üretilen 15\*80\*80 cm boyutlarındaki plaklarda kullanılacak hasır donatılar paspayı (d) =2 olacak şekilde kesilmiş, yerleştirilmiş ve yapılan hesabına uygun olarak beton üretimine geçilmiştir (Şekil 3.9 - 3.10).



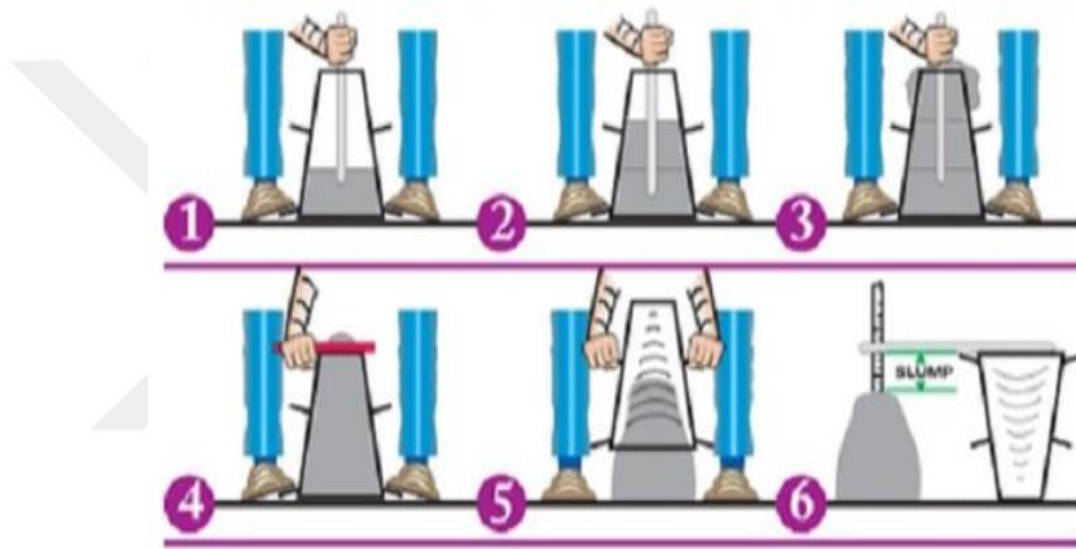
**Şekil 3.9.** Kalıplar içerisine hasır donatının yerleştirilmesi



**Şekil 3.10.** Beton üretiminin yapılması

Beton üretiminin yapılmasının ardından kalıplara yerleştirme işlemi olmadan önce üretilen betonun kıvamını belirlemek amacıyla slump(çökme) deneyi yapılmış ve betonun çökme değeri belirlenmiştir. Deney için öncelikle metal tabanın düz bir şekilde zemine yerleştirilmesi yapılmış daha sonra çökme hunisini ağzı geniş tarafı aşağı bakacak şekilde tabanın üzerine yerleştirilmiş ve huninin yaklaşık 1/3'ü betonla doldurulmuştur.

Doldurulduktan sonra şişleme çubuğuyla beton üstten 25 kere şişlenmiş, sonrasında huninin içine 1/3 oranında daha beton koyulmuş ve 25 kere daha şişlenmiştir. Son olarak da huninin tamamı betonla dolacak şekilde 1/3 oranında daha beton koyulmuş ve tekrar 25 kez şişlenmiştir. Bu işlemlerden sonra huninin üst kısmı mala yardımıyla veya başka bir araçla tesviye edilmiş yani düzleştirilmiştir. Düzleştirme işlemi de yapıldıktan sonra huni düz bir şekilde sabit bir hızla birkaç saniyede yukarı doğru kaldırılmış ve çökme, kıvam ve akıcılık ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda çökme değeri 60 mm bulunmuş, standarttaki aralık değerleri ile karşılaştırılmış ve uygunluğuna karar verilmiştir. Deneyin yapılışı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Slump(çökme) deneyinin yapılış aşamaları(Anonim, 2020)

Slump deneyinden sonra üretilen betonlar, hazırlanmış kalıplara 3 aşama şeklinde yerleştirilmiş ve şişleme işlemi her seferinde uyulanmış, ayrıca her dökülen betondan 15\*15\*15 cm’lik numuneler alınmıştır (Şekil 3.12). Sonrasında vakum işlemine geçilmiştir. Yapılan vakum işlemi aşamaları şu şekildedir (Şekil 3.13 - 3.14 - 3.15).

- Beton dökümü yapılması,
- Betonun kademeli olarak kalıplara yerleştirilmiş ve sıkıştırma işlemi yapılması,
- Agregaların vakum aletine kaçmaması için taze beton üzerine delikli örtü serilmesi,
- Serilen örtü üzerine vakum örtüsünün serilmesi,
- Vakum örtüsü ile vakum pompasının bağlantısının saplanması,

- Vakum aletinin 10 dk boyunca çalıştırılması ve suyun betondan çekilmesi,
- Vakum işlemi süresinin bitmesinden sonra yüzeyin mala ile düzeltilmesi,
- Yüzeye son şeklin verilmesi.



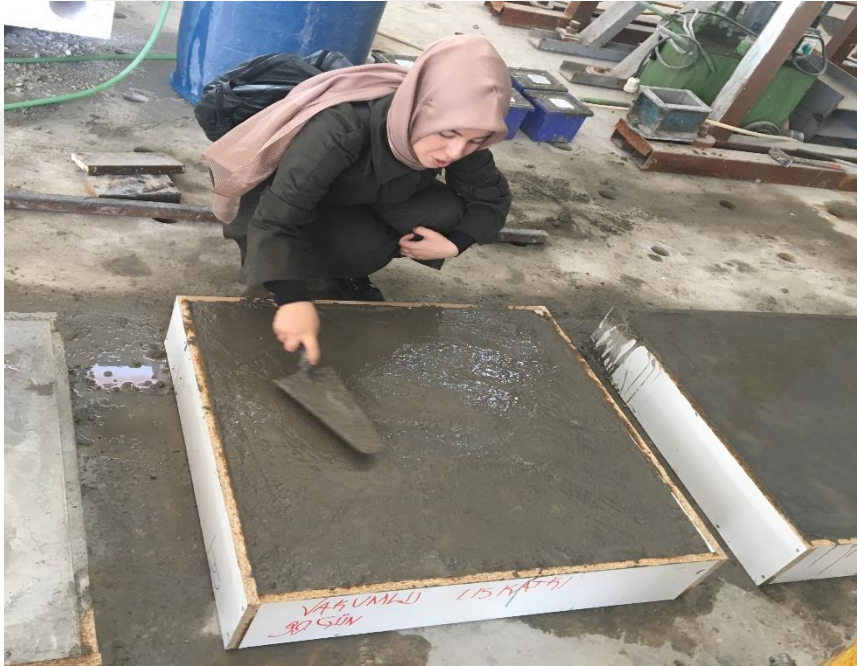
**Şekil 3.12.** Üretilen betonlardan 3'er adet numune alınması



**Şekil 3.13.** Kalıplara yerleştirilen betonun vakum işlemi öncesinde üzerine örtü serilmesi



Şekil 3.14. Betona vakum uygulamasının yapılması



Şekil 3.15. Betona vakum uygulamasının yapılmasının ardından yüzeye son şeklin verilmesi

Üretilen betonarme plaklara yapılan vakum uygulamasından sonra vakumlanan su miktarları Çizelge 3.7’ de verilmiştir. Vakum işlemi sırasında en fazla vakumlanan su miktarı toplamına bakılacak olursa V-C25-15-I ve V-C25-15-II numunelerinde gözlemlenmiştir. Vakum aletinde biriken su Şekil 3.16’ da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Betonarme plaklara yapılan vakum uygulamasından sonra vakum aletinde biriken su miktarları

| Betonarme plak<br>numunelerinin isimleri | Vakum işleminde<br>vakumlanan su miktarı (kg) |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| N-C25-I                                  | 0                                             |
| V- C25-I                                 | 0,400                                         |
| V-C25-5-I                                | 0,455                                         |
| V-C25-10-I                               | 1                                             |
| V-C25-15-I                               | 1,240                                         |
| V-C25-20-I                               | 1,050                                         |
| N-C25-II                                 | 0                                             |
| V-C25-II                                 | 0,380                                         |
| V-C25-5-II                               | 0,500                                         |
| V-C25-10-II                              | 0,905                                         |
| V-C25-15-II                              | 1,190                                         |
| V-C25-20-II                              | 1,185                                         |



**Şekil 3.16.** Betonarme plaklardan çekilen ve vakum makinesinde toplanan su

Çalışmada belli oranlarda uçucu kül kullanılarak çimento ile ikame edilmiş 80\*80\*15 cm boyutlarında 12 adet betonarme plak ve alınan küp numuneler üretiminden sonra 28. ve 90. günlerde deney yapılmak üzere küre bırakılmıştır.

### 3.2. Beton Deneyleri

Çalışma kapsamında üretimi yapılan betonların, istenilen özelliklerde olup olmadığını anlayabilmek için bazı deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu beton deneyleri taze ve sertleşmiş beton deneyleri olmak üzere iki çeşittir. Bu çalışmada yapılan taze beton deneyi, beton üretimi yapılırken kıvamını belirlemek amacıyla yapılan slump(çökme) deneyidir. Ölçülen çökme değeri standarttaki değeri ile karşılaştırılıp uygunluğuna karar verilmiştir. Sertleşmiş beton deneyleri ise betonun dayanımını belirlemek, ayrıca hizmet gördüğü süre boyunca maruz kaldığı kimyasal ve fiziksel etkilere karşı dayanıklılığı belirlemek amacıyla yapılan deneylerdir. Bu çalışmada yapılan sertleşmiş beton deneyleri şunlardır:

- Betonun basınç dayanımı tayini,
- Betonun eğilme dayanımı tayini,
- Betonun aşınmaya karşı direncinin böhme deneyi ile tayini,
- Betonun kılcal su emme deneyi.

#### 3.2.1. Beton basınç dayanımı tayini

Yapı sektöründe diğer yapı malzemelerine oranla birçok avantajı olan betonun, yapı malzemesi olarak kullanılmasını sağlayan en önemli özelliği çekme dayanımına kıyasla daha iyi sonuçlar veren beton basınç dayanımıdır. Ancak bu dayanım birden fazla parametreye bağlıdır. Betonun dayanım özelliklerine etki eden parametrelerin başında, betonu meydana getiren bileşim elemanları ve oranı gelmektedir. Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler şöyle sıralanabilir:

- Çimento türü ve miktarı,
- Su/çimento oranı,
- Karışım suyunun özellikleri,
- Agregatane boyutu,
- Betonun karılma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri,

- Kür şartları,
- Betonun kompozitesi,
- Beton numunesinin şekli,
- Beton numunelerin boy/çap oranı,
- Ölçüm sırasındaki yükleme hızı,
- Ölçüm sırasındaki yükün uygulanma süresi.

Beton basınç dayanımı betonun taze veya sertleşmiş olmasına bağlı olarak iki farklı şekilde hesaplanabilir. Bu hesap, taze betonun üretimi sırasında alınan küp ve ya silindir numuneler yardımıyla, sertleşmiş betonda ise alınan karot numuneler yardımıyla belirlenebilmektedir.

### 3.2.1.1. Taze betonda basınç dayanımı tayini

Beton dayanım sınıfına, dökülen beton miktarı gibi parametrelere bağlı olarak alınacak numune adeti yönetmeliğe uygun olarak belirlendikten sonra 15\*15\*15 cm boyutunda küp ve ya 15/30 cm boyutunda silindir numuneler alınır. Alınan numuneler kür edilmesi için kür havuzuna bırakılır. Kür havuzundan çıkarılan numuneler 28. gün sonunda TS EN 12390-3'e uygun olarak deneye tabii tutulur. En büyük yüke ulaşan numune kırılma noktasına gelmiş olduğu ve artık yük taşıyamayacağı için okunan son değer kaydedilir. Verilen formüller yardımıyla betonun basınç dayanımını bulunabilmektedir. Basınç dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

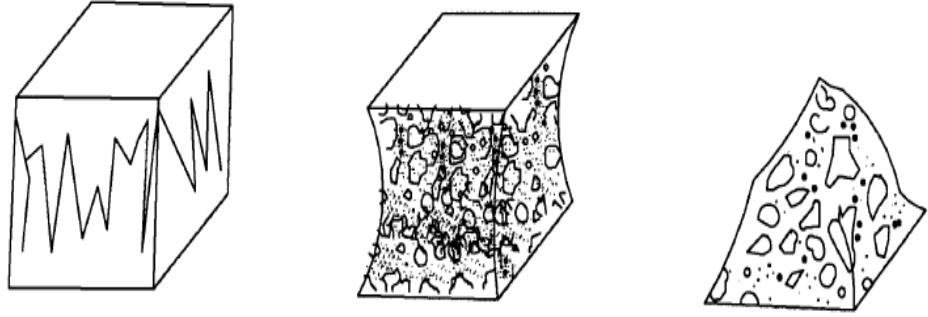
Burada;

$f_c$ : Basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

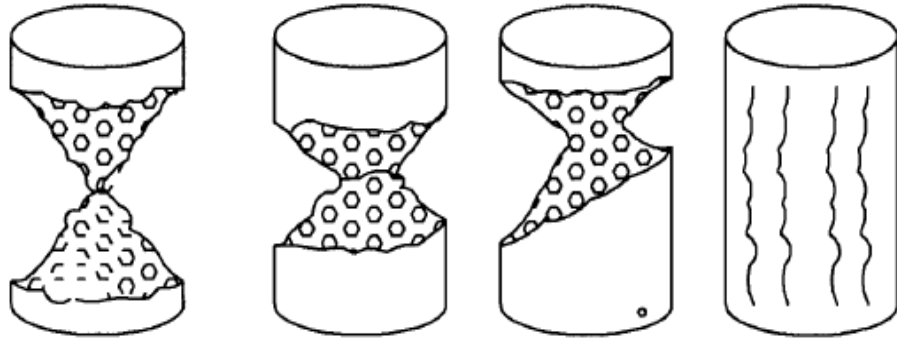
F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,

$A_c$ : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm<sup>2</sup>.

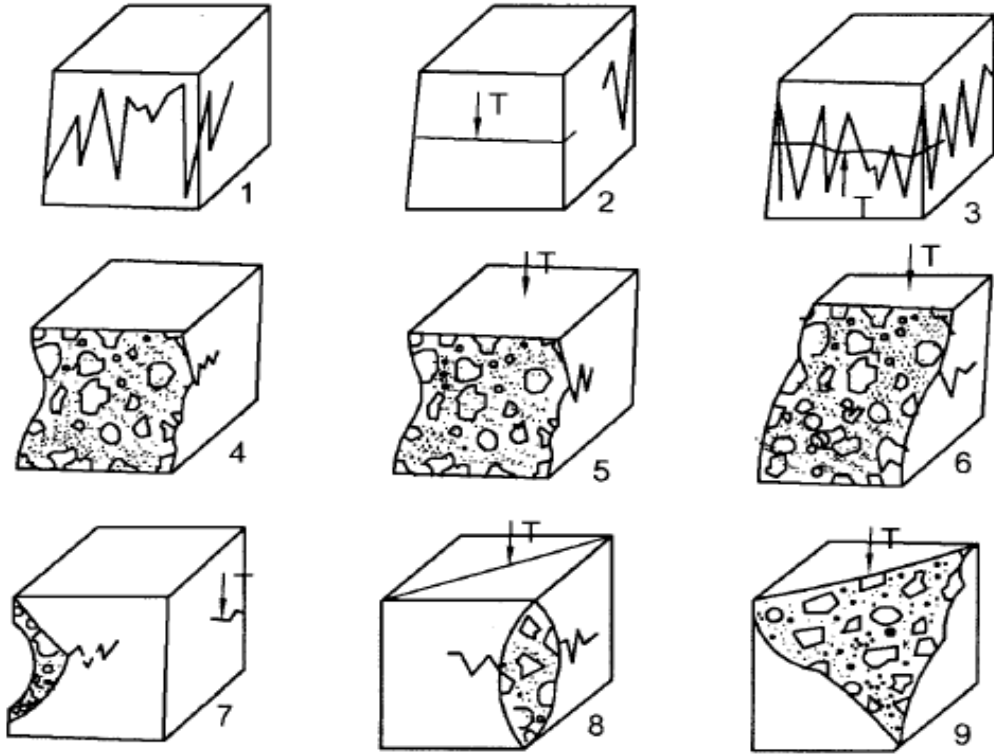
Nihai dayanıma ulaşan ve kırılan küp numunelerin tatmin edici kırılma biçimleri Şekil 3.17'de, silindir numunelerin tatmin edici kırılma biçimi ise Şekil 3.18'de verilmiştir. Ancak bazı durumlarda tatmin edici olmayan kırılma biçimleri de olabilmektedir. Bu durumlar basınç dayanımı hesabında ortalamaya dâhil edilmemelidir. Küp numunelerin bazı tatmin etmeyen kırılma biçimleri Şekil 3.19' da, silindir numunelerin tatmin etmeyen bazı kırılma biçimleri ise 3.20'de verilmiştir.



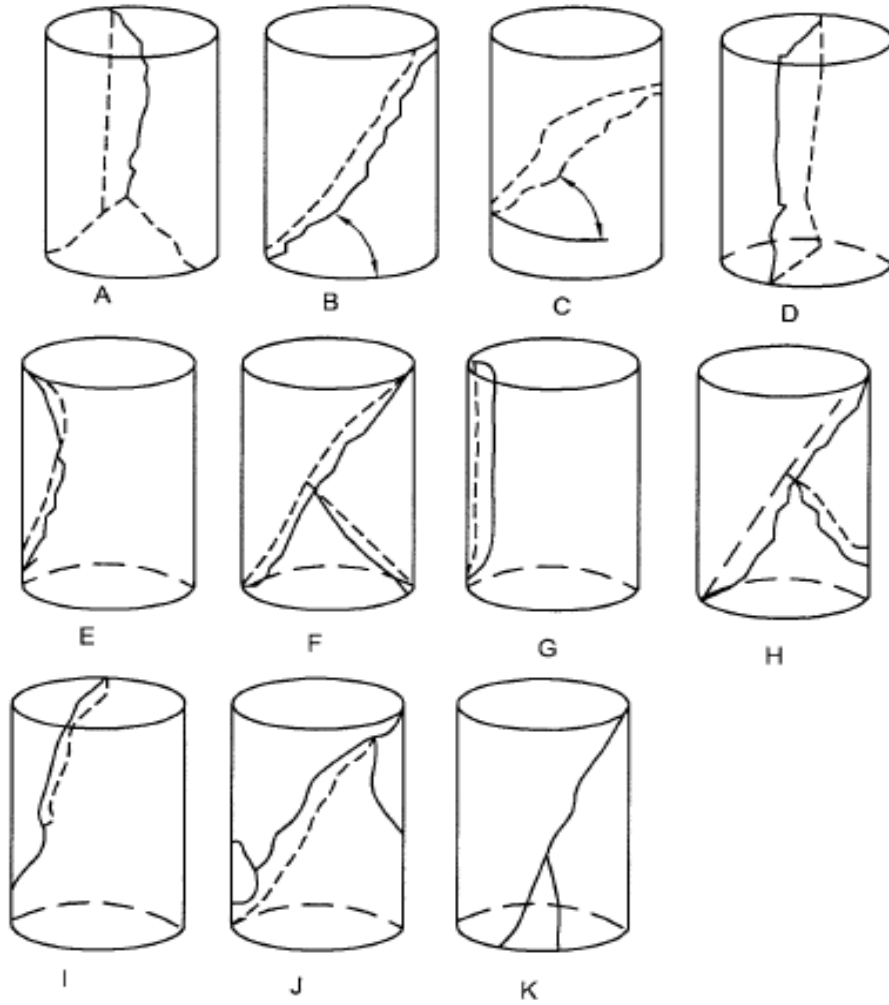
Şekil 3.17. Küp numunelerin tatmin edici kırılma biçimleri(TS EN 12390-3, 2003)



Şekil 3.18. Silindir numunelerin tatmin edici kırılma biçimleri(TS EN 12390-3, 2003)



Şekil 3.19. Küp numunelerin tatmin etmeyen kırılma biçimleri(TS EN 12390-3, 2003)



Şekil 3.20. Silindir numunelerin tatmin etmeyen kırılma biçimleri(TS EN 12390-3, 2003)

Çalışma kapsamında, beton üretimi sırasında üretilen betonların basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla 30 adet 15\*15\*15 cm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. Alınan küp numuneler prizini aldıktan sonra kalıplardan çıkarıldıktan (Şekil 3.21) sonra kür edilmesi için kür havuzuna konulmuş (Şekil 3.22), 28. ve 90. gün sonunda deneye tabii tutulmuştur (Şekil 3.23).



Şekil 3.21. Prizini alan numunelerin kalıptan çıkarılması



Şekil 3.22. Kalıptan çıkarılan numunelerin kür havuzuna konulması



**Şekil 3.23.** Küp numunelerin preste basınç dayanımı testine tabii tutulması

### 3.2.1.2. Sertleşmiş betonda basınç dayanımı tayini

Yapıda sertleşmiş beton deneyleri her zaman zorunlu değildir. Ancak bunu zorunlu kılan durumlar olabilmektedir. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda verilmiştir (Filiz, 2006):

- Beton dökümü sırasında taze betondan alınması gereken numunelerin alınıp kalite denetiminin yapılmamış olması,
- Kalite denetimi yapılmış beton numunelerinin, istenen proje dayanımından daha küçük olması,
- Beton dökümü sırasında alınan standart numunelerin deney sonuçları ile yapıda kullanılan beton dayanımı arasında uygulama hataları ya da ortam şartları sebebiyle fark bulunabileceği endişesi,
- Yapının kullanım amacının zamanla değiştirilmesi durumunda projede kabul edilen yüklerden daha fazla yük gelmesi ve/veya ilave kat atılması,

- Can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürecek seviyede yapı da hasar oluşması,
- Yapıda oluşan hasar sonucu ve ya yapının kullanım amacının değiştirilmesinden kaynaklı onarım ve güçlendirme projelerinde referans olarak alınması gereken basınç dayanımının belirlenmesi.

Sertleşmiş betonunun dayanımının tespit edilmesi için kullanılan yöntemler tahribatsız, yarı tahribatlı ve tahribatlı yöntemler olmak üzere 3 başlıkta toplanabilir. başlıkları altında incelenmiştir.

#### **3.2.1.2.1. Tahribatsız yöntemler**

Yapıda herhangi bir hasara sebep olmayan ve ya iz bırakmadan yapının betonu ile ilgili fikir veren yöntemlere tahribatsız yöntemler denilmektedir. Tahribatsız deney yöntemleri ile betonun bazı fiziksel özellikleri (yüzey sertliği, elastiklik ve yoğunluk gibi) kullanılarak sayısal değerler elde edilmektedir. Bu sayısal değerlerle standart deney yöntemi uygulanarak elde edilecek olan beton basınç dayanımı arasındaki ilişki kullanılarak betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla yapılan deneyler aşağıda verilmiştir:

- Sertlik deneyleri,
- Rezonans frekans yöntemi,
- Mekanik dalga hızı yöntemi,
- Ultrases dalga hızı yöntemi,
- Radyoaktif yöntem,
- Olgunluk yöntemi,
- Ses yayılımı ölçme yöntemi,
- Yükleme deneyi yöntemi.

#### **3.2.1.2.2. Yarı tahribatlı yöntemler**

Bu gruptaki yöntemler yapı elemanına çok az ya da hiç hasar vermeden betonun özellikleri ile ilgili bilgi almak için kullanılmaktadır. Bu yöntem başlığında uygulanan bazı deneyler sırasında ölçülen değerlerin deney başında belli sınırın referans alınıp, o değere kırılmadan kopmadan ulaşım ulaşmayacağı incelenmekte ve deneye son

verilmektedir. Bu durumda yapıda tahribat olmamaktadır. Ancak bazı durumlarda ulaşılabilecek hedef değere ulaşmadan kırılma ve ya kopma meydana gelebilmektedir (Filiz,2006). Yarı tahribatlı yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- İç kırılma yöntemi,
- Çekip çıkarma yöntemi,
- Çekip koparma yöntemi,
- Eğip koparma yöntemi,
- Batırma yöntemi,

Yukarıda bahsedilen yöntemlerden batırma yöntemi hariç diğerleri aynı ilkeye göre çalışmaktadır. Ancak onun dışındaki yöntemler, sadece kullanılan alet bakımından farklılık göstermektedir.

### **3.2.1.2.3. Tahribatlı yöntemler**

Tahribatlı yöntemler beton basınç dayanımının yerinde belirlenmesinde güvenilir yöntemlerdir. Beton dayanımını belirlemede tahribatsız ve yarı tahribatlı yöntemlere kıyasla daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Aynı zamanda beton sınıfını, elde edilen sonuçların çeşitli parametreler göz önüne alınarak dönüştürülmesiyle doğrudan verebilmektedir. Bundan dolayı yapıda tahribatsız ve ya yarı tahribatlı yöntemler uygulanıyorsa sağlıklı sonuçlar için yanında karot numuneler de alınmalıdır. Ancak yapıya verdikleri zarar ve yanlış planlaması durumunda yapı güvenliğini tehlikeye sokabilmesi nedeniyle zorunlu durumlarda kullanılmalıdır. Tahribatlı yöntemler aşağıda verilmiştir:

- Gömülü numune kullanma yöntemi,
- Karot numune alma yöntemi.

#### **3.2.1.2.3.1. Gömülü numune alma yöntemi**

Yapıdan karot alma işlemine benzeyen gömülü numune alma yönteminde, kalıba içi boş silindirik kalıplar yerleştirilmekte ve beton dökülmektedir. Beton sertleştikten sonra yerinden çıkarılan numunelerin merkezi basınç dayanımları belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemin karot alma yönteminden farkı, karot alma sırasında

betonda meydana gelen hasardan dolayı delme veya kesme etkisinin dayanıma etkime ihtimalinin ortadan kalmış olmasıdır (Filiz, 2006).

### 3.2.1.2.3.2. Karot numune alma yöntemi

Sertleşmiş betondan karot alma aleti yardımıyla kesilerek çıkarılan silindirik numunelere 'karot' denilmektedir. Yerinde betonun basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan karot numune alma yöntemi en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde alınacak olan karotlar betonarme yapının en uygun yerlerinden çıkartılmaktadır. Kesim sonrasında karot aletinden çıkarılan numune, alt ve üst başlıkları düzeltildikten sonra standart deney yönteminde olduğu gibi deney presinde uniform dağılımlı eksenel yük altında kırılma işlemine tabi tutularak, karot numunenin basınç dayanımı bulunmaktadır.

Karot işlemi sırasında karot boyu ve çapı değişiklik gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak basınç dayanımı hesabında da belli oranlar kullanılmaktadır.

Bunun yanı sıra karot alma işlemi yeterince sertleşmiş beton ve ya betonarme yapılara uygulanmalıdır. Aksi halde, kesip çıkarma işlemi sırasında, betondaki çimento ve agrega arasındaki aderans zarar görebilmektedir. Bu amaçla karot alınacak yapının en az 14 günlük olmasına dikkat edilmelidir.

Karot alma işlemi; çok pahalı olmasının yanında, karot alma aletinin de ağırlığından dolayı işçiliği fazla olan bir yöntemdir. Karot sonrası oluşacak boşluk yapıda taşıma gücünde azalmaya sebep olabilmektedir. Aynı zamanda alınacak karot sayısının en az düzeyde tutulmasına dikkat edilmelidir. Tüm bunlar düşünüldüğünde oluşabilecek riskleri kısmen de olsa önüne geçebilmek için mühendislik işleminin özenle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Karot alma işlemini, yapıya verdiği hasardan dolayı çok tercih edilmese de aşağıdaki sebeplerden dolayı zorunlu hale gelmiş olabilmektedir:

- Yapıya sonradan eklenen hareketli ve ya ölü yüklerin taşıma kapasitesini belirlemede,
- Yapının kullanım amacının değiştirilmesi durumunda betonun kalitesinin belirlenmesinde,
- Yapıda aşırı yükleme, yorulma, yangın, kimyasal reaksiyon gibi bozulmaların meydana gelmesi durumunda can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürecek seviyede yapı da hasar oluşması.

Karot basınç dayanımının sonuçları birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerden aşağıda verilmiştir:

- Karot numunesinin boy/çap(h/d) oranı,
- Karot çapının etkisi,
- Karot numuneler alınırken uygulanan delme işleminin yönü,
- Karot numuneler alınırken oluşan hasarın etkisi,
- Karot numunedeki donatı parçasının varlığı,
- Karot numunenin nem durumu,
- Karot numunesinin sıcaklığı,
- Karot numuneye uygulanan başlık malzemesinin kalitesi,
- Deneyde uygulanacak yükün hızı.

Karot basınç dayanımını en çok etkileyen faktör karot numunesinin boy/çap oranı yani numunenin narinliğidir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda bu oranın artmasıyla dayanımın azaldığı sonucuna varılmıştır. Karot numunesinin narinliğine ( $\lambda$ ) bağlı olarak dayanım düzeltme katsayısının ( $k$ ) formülü aşağıda verilmiştir (Filiz, 2006):

$$k = \frac{2}{1,5 + \left(\frac{1}{\lambda}\right)}$$

Bu düzeltme katsayısına bağlı olarak  $\lambda=1$  ve  $\lambda=2$  için dönüşüm katsayısının 0,92 ve 1 olduğu görülmektedir. Aynı zamanda narinliğin 1 ve ya 2 değerinde seçilmesi elde edilen dayanımda, amaçlanan beton dayanımında sırasıyla 15\*15\*15 cm küp ve 15/30 cm silindir numunelere denk geldiği sonucuna varılmıştır. Narinlikle ilgili olarak TS EN 13791 [1]'de yapıdan alınan karotların düzgün olmayan yüzeylerinin laboratuvarda yüksekliği çapına eşit olacak şekilde düzeltilmesi ve toleransın  $\pm \% 10$  olması öngörülmektedir.

Karot basınç dayanımını etkileyen bir diğer faktör de karot çapıdır. Alınan numunenin çapı azaldıkça, kesme hasarına bağlı olarak dayanımda azalma meydana gelmektedir. Bu etki 100 mm üzerindeki bap boyutlarında dikkate alınmayabilir.

Karot alma işlemi sırasında delme işleminin yönü, betonun hasar görüp görmemesi, numunenin donatılı olup olmaması ve ya donatılı ise hangi yönde olduğu gibi etkenler de dayanımı etkilemektedir. Delme işleminin yönü, ACI 214.4R-03' e göre dikey olarak alınan numunelerin, yatay olarak alınan numunelerden daha iyi sonuçlar verdiği sonucu verilmiştir. İçerisinde donatı bulunan karotların basınç dayanımındaki

değişiklik ise; daha çok büyük çaplı karotlarda ve ya düşük dayanımlı betonlarda meydana gelmektedir (Oghli, 2019).

Yapıdan alınan karot sayısını en aza indirgeyip beton taşıma gücündeki azalmayı en aza indirmek gerekmektedir. Betondan alınması gereken karot sayısı (n), TS 500 'de belirtilen şekilde kalite denetimi için yeterli olan numune sayısına (N) bağlıdır. N, dökülen betonun her 50 m<sup>3</sup> ünden alınması gereken numune sayısını ifade etmektedir. Bu sayı normal dayanımlı betonlarda en az 3, yüksek dayanımlı betonlarda ise 6 olmalıdır. Sertleşmiş betondan alınacak karot sayısına, karot çapı ve karot alınan betonda kullanılan en büyük agrega tane çapı ile karakteristik beton basınç dayanımına bağlı olarak Çizelge 3.8' de verilmiştir (Filiz, 2006).

**Çizelge 3.8.** Belli parametrelere bağlı olarak alınması gereken karot sayısı

| Alınan Karot Çapı (d) | En Büyük Agrega Tane Çapı D <sub>max</sub> | Alınması Gereken En Az Karot Sayısı (n) |                        |
|-----------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
|                       |                                            | Normal beton                            | Yüksek dayanımlı beton |
| d ≥ 100 mm            | D <sub>max</sub> > 32 mm                   | n ≥ 3 (n > N)                           | n ≥ 6                  |
| d < 100 mm            | D <sub>max</sub> ≤ 16 mm                   | n ≥ 6 (n > 2N)                          | n ≥ 12                 |
| d < 100 mm            | D <sub>max</sub> > 16 mm                   | n ≥ 9 (n > 3N)                          | n ≥ 18                 |

Karot basınç deneyi sonuçlarının değerlendirmesine gelinecek olunursa TS EN 13791 standardına göre; yapıdaki betonun karakteristik basınç dayanımı alınan örnek sayısına bağlı olarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Yapıdan alınan karotların sayısı 15 ve üzerinde ise A yaklaşımı, alınan karot sayısı 3 ile 14 arasında ise B yaklaşımı kullanılır.

A yaklaşımına göre hesaplama aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1.48 * s$$

ve ya,

$$f_{ck,is} = f_{is,en\ düşük} + 4$$

Burada;

$f_{ck,is}$ : Yapıdaki betonun karakteristik basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

$f_{m(n),is}$ : n adet numunenin basınç dayanımı ortalaması, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

$f_{is,en\ düşük}$ : Yapıda tespit edilen en düşük basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>).

**s**: Deney sonuçlarının standart sapması.(bu değer eğer 2 N/mm<sup>2</sup> den küçük ise 2,0 N/mm<sup>2</sup> alınır.)

Deney bölgesinde yapıdaki betonun karakteristik basınç dayanımı yukarıdaki bağıntılarla hesaplanan değerlerden küçük olanı dikkate alınmaktadır. Bu bağıntılardan elde edilen en küçük değer ile yapının taşıyıcı sistemini oluşturmada kullanılan betonun karakteristik basınç dayanımının 0.85 katı karşılaştırılarak yapıdaki betonun hangi sınıfta olduğu tahmin edilir.

B yaklaşımına göre hesaplama aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

ve ya,

$$f_{ck,is} = f_{is,en\ düşük} + 4$$

Burada;

$f_{ck,is}$ : Yapıdaki betonun karakteristik basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

$f_{m(n),is}$ : n adet numunenin basınç dayanımı ortalaması, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

$f_{is,en\ düşük}$ : Yapıda tespit edilen en düşük basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

k: Karot sayısına bağlı olarak aşağıdaki tablodan alınan sabit değer (Çizelge 3.9)

**Çizelge 3.9.** Karot sayısına bağlı olarak seçilmesi gereken sabit sayı

| Karot Sayısı | k |
|--------------|---|
| 10-14        | 5 |
| 7-9          | 6 |
| 3-6          | 7 |

Çalışma kapsamında, her bir betonarme plaktan 6'şar adet olmak üzere 28. ve 90. günlerde, h/d oranı 1 olan toplam 72 adet karot numune alınmıştır (Şekil 3.24). Alınan karot numunelerin (Şekil 3.25) deneyler için alt ve üst başlıkları düzeltilip, başlıklama işlemi yapıldıktan sonra (Şekil 3.26) preste basınç dayanımları ölçülmüştür (Şekil 3.27).



Şekil 3.24. Karot alma işleminin yapılması



Şekil 3.25. 28. gün sonunda alınan karot numuneler



Şekil 3.26. Karot numunelerin başlıklama işleminin yapılması

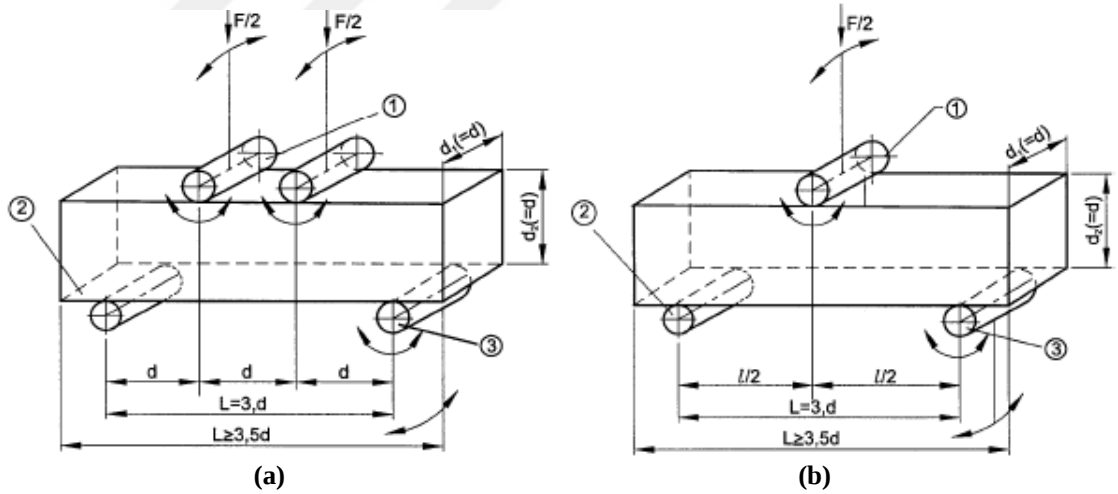


Şekil 3.27. Karot numunenin preste basınç dayanımının ölçülmesi

28. günde 18'i donatılı, 18'i donatısız; 90. günde de 18'i donatılı, 18'i donatısız olan karot numuneler preste kırıldıktan sonra TS EN 13791 yönetmeliğindeki A yaklaşımına göre beton basınç dayanımları hesaplanmıştır.

### 3.2.2. Betonun eğilme dayanımı tayini

Betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri ile ilgili fikir yürütülürken sadece basınç dayanımını baz almak çoğunlukla doğru sonuçlar vermektedir. Ancak bununla birlikte betonun çekme durumunda nasıl davranacağına da bakılması gerekmektedir. Betonun eğilme dayanımı tayini bu amaçla yapılan deneylerden biridir. Yapılacak olan deney TS EN 12390-5'e göre yapılmaktadır. Dikdörtgenler prizması şeklindeki numuneler prese yerleştirildikten sonra deneye tabi tutulur. Deney numunesi kırılma yüküne yaklaştığında, yükleme hızında düşme eğilimi gösterebilmektedir. Bu durumda hız sürekli kontrol edilir Deney iki farklı yükleme biçiminde yapılabilmektedir. Bunlar orta noktadan yük uygulanarak yükleme ve iki noktadan yük yükleme durumudur. Bu iki durum için deney düzeneği Şekil 3.28' de verilmiştir.



Şekil 3.28. Betonun eğilme dayanımı tayininde iki noktadan yükleme (a) ve orta noktadan yükleme (b) durumu (TS EN 12390-5, 2002)

Burada;

- 1: Yükleme silindiri(dönebilen ve yana eğilebilen),
- 2: Mesnet silindiri,
- 3: Mesnet silindir (dönebilen ve yana eğilebilen).

Deney düzeneğinde kırılan numunelerin orta noktadan yüklenmesi durumunda eğilme dayanımı TS EN 12390-5'e göre aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilmektedir:

$$f_{cf} = \frac{3 * F * L}{2 * d_1 * d_2^2}$$

Burada;

$f_{cf}$ : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

F: En büyük yük, N,

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm,

$d_1, d_2$ : Numunenin en kesit boyutları, mm.

Çalışma kapsamında her bir betonarme plaktan 3'er adet olmak üzere 28. ve 90. günlerde toplam 36 adet 15\*15\*40 cm boyutlarında kiriş numuneler alınmıştır. Bu işlem betonarme plakların beton kesme makinesiyle kesilip çıkarılmasıyla elde edilmiştir (Şekil 3.29).



**Şekil 3.29.** Betonarme plaktan kiriş numunelerin kesilerek çıkarılması

Alınan 15\*15\*40 cm boyutundaki betonarme kirişlerde paspayı (d) =2 olacak şekilde numunelerin kesimi gerçekleştirilmiştir.

Preste deneye tabi tutulan numunelerin kırılmadan önce durumu Şekil 3.30'da, gösterilmiştir. Deney sonrasında hesaplamalar TS EN 12390-5'e göre yapıp kirişlerin eğilme dayanımları hesaplanmıştır. Ayrıca donatılı kiriş hesabı da TS500' e göre aşağıdaki hesap yardımıyla yapılmış ve kiriş içerisinde bulunan 1φ6 boyuna donatısının

kiriş eğilme dayanımına etkisi hesaplanmıştır. Üretim sırasında kullanılan beton ve donatı malzemelerinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 1.8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1.20 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa'dır.}$$

Yönetmelik gereği kirişlerde minimum boyuna donatı bulundurma zorunluluğu vardır. Aşağıda bunun kontrolü için hesap yapılmıştır.

$$\rho_{min} = 0.8 f_{ctd} / f_{yd}$$

Deney verileri yerine yazılacak olursa;

$$\rho_{min} = 0.8 * (1.20 / 435) = 2.20 * 10^{-3}$$

Kiriş numune içerisindeki donatı oranının TS 500'e göre bulunan  $\rho_{min}$  den büyük olması gerekmektedir. Kiriş içerisindeki donatı oranı aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\rho = A_s / (b_w * d)$$

$$\rho = 0.28 / (15 * 13) = 1.44 * 10^{-3}$$

Burada;

$A_s$ : Çekme donatısının kesit alanı

$b_w$ : Kiriş gövde genişliği

$d$ : Kiriş faydalı yüksekliği

Yukarıda yapılan hesaptan  $\rho < \rho_{min}$  olduğu için kirişin eğilme dayanımında donatı değil, beton davranışı hâkim olmuştur. Kiriş taşıma kapasitesine ulaştığında beton çekme kırılmasından dolayı kırılmıştır.

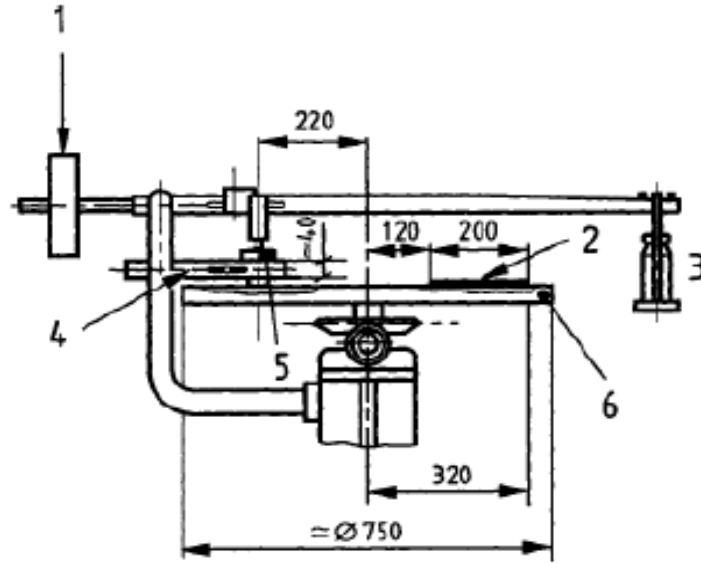
Ayrıca eğilme etkisi altındaki donatılı kiriş davranışına teorik olarak bakılmış ve kullanılan denklemler yardımıyla beton basınç bölgesi 0.66 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.30. Kiriş numunelerin preste deneye tabi tutulması

### 3.2.3. Betonun aşınmaya karşı direncinin böhme deneyi ile tayini

Betonun, dayanımı yüksek, geçirimsizliği mükemmel, işlenebilmesi mükemmel olmakla birlikte çözülmesi gereken birçok sorunu vardır. Bunlardan bir tanesi de betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara karşı göstermesi gereken direnç yani betonun dayanıklı olmasıdır. Dayanıklılık, betonun yaygın olarak kullanılmasındaki temel özelliklerinden birini temsil etmektedir. Dayanıklı beton, çevre şartlarına maruz kaldığında orijinal şeklini, kalitesini ve servis verimini koruyacak ve uzun yıllar zarar görmeyecektir. Özellikle açık havaya ve ağır yüklere maruz kalacak olan saha betonları için bu durum önem arz etmektedir. Bununla birlikte tekrarlı yüklere uzun süre maruz kalan saha betonlarının yüzey aşınmasına karşı dirençli olması gerekmektedir. Aşınmaya karşı direncin test edilebilmesi için TS 2824 EN 1338' e göre böhme deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan düzenek Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Böhme aşındırma diskinin prensibi (TS 2824 EN 1338, 2005)

Burada;

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| 1: Karşı ağırlık    | 4: Numune tutucusu, |
| 2: Deney izi,       | 5: Numune,          |
| 3: Yükleme ağırlığı | 6: Döner disk.      |

Aşınmaya karşı direncin böhme deneyi ile ölçülebilmesi için, üretilen betonarme plaklardan 28.ve 90. günlerde kenar uzunluğu  $(71 \pm 1,5)$  mm olan 3'er adet kare plâka veya küpler kesilmiştir (Şekil 3.32). Deneyden önce numunelerin yoğunluğu,  $\rho_r$ , boyutların 0,1 mm yaklaşımla ve kütlelerin 0,1 g yaklaşımla ölçülmesi yoluyla tayin edilmiştir. Numunenin servis ömrü boyunca aşınmaya maruz kalacak yüzeyi, deney aletinin döner disk kısmına gelecek şekilde numune kısmına yerleştirilmiştir. Deney izine 20 gr standart aşındırıcı konulmuş, temas yüzü ize gelecek şekilde numune tutucusuna yerleştirilen numune aksinel olarak  $(294 \pm 3)$  N ile yüklenmiştir. Disk, iz üzerindeki aşındırıcının, numunenin genişliğinin belirlediği alan üzerine eşit olarak dağılı kalmasına özen gösterilerek hareket ettirilmiştir. Numuneye, her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanmış, her çevrimden sonra disk ve temas yüzü temizlenmiş, numune sıra ile  $90^\circ$  döndürülmeli ve ize tekrar aşındırıcı toz konulmuş deneye devam edilmiştir (Şekil 3.33). 16 çevrimi biten her bir numune için, daha önce hesaplanan yoğunluğu yardımıyla hacmindeki azalma  $\Delta V$  olarak hesaplanmış ve aşınmaya karşı direnç ölçülmüştür. Bu hesaplama aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_r}$$

Burada;

$\Delta V$ : 16 çevrimden sonra hacim kaybı,  $\text{mm}^3$ ,

$\Delta m$ : 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g,

$\rho_r$ : Numunenin yoğunluğu,  $\text{mm}^3$ .



Şekil 3.32. Böhme deneyi için numunelerin kesim işlemi



Şekil 3.33. Böhme deneyinin yapılma aşaması

Deney sırasında numune yüzeylerini aşındırması için standartta uygun toz Site Hırdavat San. ve Tic. Ltd. Şti. (Konya) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan aşındırıcı tozun görseli Şekil 3.33’de, kimyasal özellikleri Çizelge 3.10’de verilmiştir. Aşınmaya uğramadan önceki deney numunesinin durumu Şekil 3.35’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.10.** Böhme deneyinde kullanılan aşındırıcı tozun kimyasal özellikleri

| Kimyasal Bileşimler | Kimyasal Bileşim Yüzdelikleri |
|---------------------|-------------------------------|
| $Al_2O_3$           | % 96                          |
| $TiO_2$             | % 2,6                         |
| $Fe_2O_3$           | % 0,2                         |
| $SiO_2$             | % 0,7                         |
| $MgO$               | % 0,25                        |
| $CaO$               | % 0,25                        |



**Şekil 3.34.** Böhme deneyinde kullanılan aşındırıcı toz

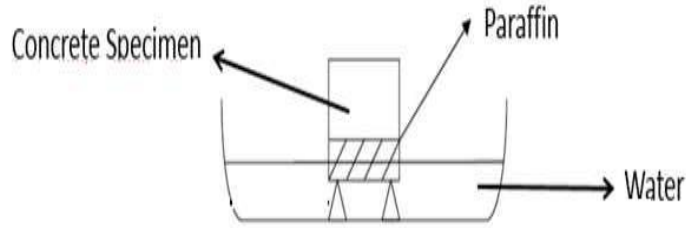


**Şekil 3.35.** Böhme deneyinde numunenin deneyden önceki hali

#### **3.2.4. Betonda kılcal su emme deneyi**

Sertleşmiş beton içindeki sürekli ağ biçimindeki kılcal boşluk sistemi su geçirimsizliğinin nedenidir. Geçirimli beton içerisinden sızan su ve ya kimyasallar zaman içerisinde hem betonun yapısının bozulmasına hem de içerisindeki donatının zarar görmesine sebep olmaktadır. Kılcal boşlukların çapının büyüklüğüne bağlı olarak yüksek veya düşük basınçlı su geçirimsizliği problemleri ile de karşılaşabiliriz. Bütün bu olaylar, betonun hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır Bu sebepten ürettiğimiz betonları mümkün olduğunca geçirimsiz yapmak ana amaçlarımızdan biri olmalıdır.

Kılcal su emme deney metodu, suyun sadece bir yüzeye maruz kaldığı zamanın fonksiyonu olarak suyun emilmesinden kaynaklanan bir numunenin kütlesindeki artışı ölçerek beton tarafından suyun emilim oranını belirlemek için kullanılır. Çünkü kılcallık sebebiyle suya maruz bırakılan numunelerde boşluklarda zamanla su yükselir ve kütlede artış meydana gelir. Numunenin sadece bir yüzeyinin suyla temas etmesi ve diğer yüzeylerinin suyla temasının önlenmesi için kalan yüzler parafinle kaplanmıştır. Deney ASTM C-1585-04 standardına göre yapılmıştır. Şekil 3.36’ da deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Kılcal su emme deneyinin düzeneği (ASTM C-1585-04)

Kılcal su emme deneyi numunelerin 0, 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 1440, 2880, 4320, 5760, 7200, 8640, 10080 ve 11520. dakikalarda düzenekten sırasıyla çıkarılıp tartılmasıyla yapılmıştır. Elde edilen bu ağırlıkların bir önceki ağırlığıyla arasındaki farkın numunenin suyla temasa eden yüzey alanına ve suyun yoğunluğuna bölünmesiyle su emme oranı(I) tespit edilmiştir. Bulunan su emme oranlarının zamanın kara köküne bölünmesiyle de k değeri elde edilmiştir. Yani deneyin amacı deney süresi boyunca sadece düşey yönde, betonun kılcal boşluklarından ne kadar su emildiğinin bulunmasıdır.

Betonda kılcal su emme tayini için, 10/10 cm boyutlarında olacak şekilde her bir betonarme plaktan 3'er adet karot numune alınmıştır. Alınan numuneler belli yüksekliğe kadar su ile temas eden yüzey dışında yan yüzeylerden su almaması için parafinle kaplanmıştır (Şekil 3.37). Devamında ilk tartım işlemi yapılmış ve sonrasında su ile temas ettirilerek, belli sürelerde tartım gerçekleştirilerek deneye devam edilmiştir (Şekil 3.38). Deney 28. ve 90. günlerde olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Deneyin yapılışı Şekil 3.39' da gösterilmiştir.



Şekil 3.37. Kılcal su emme deneyi yapılmadan önce parafinle kaplama işleminin yapılması



Şekil 3.38. Kılcal su emme deneyi için numunenin tartılma işlemi



Şekil 3.39. Kılcal su emme deneyinin yapılması

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde her bir betonarme plaktan alınan karot, kiriş ve kare numunelere ait deneysel sonuçlar verilmiştir.

##### 4.1. Deney Sonuçları

###### 4.1.1. Beton basınç dayanımı sonuçları

Beton üretimi sırasında alınan 30 adet 15\*15\*15 cm boyutlarındaki küp numune preste kırılmış ve basınç dayanımı değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Tablodaki değerlere incelenecek olursa hedeflenen C25/30 sınıfı beton üretiminin yapılabildiği ve uçucu külün farklı oranlarda çimento ile yer değiştirmesine bağlı olarak da değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** Beton üretimi sırasında alınan küp numunelerin beton basınç dayanımı sonuçları

|           | 28 günlük basınç dayanımı (MPa) |       | 90 günlük basınç dayanımı (MPa) |       |
|-----------|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| N/V-C25   | 34,13                           | 35,88 | 36,18                           | 36,15 |
|           | 35,47                           |       | 35,87                           |       |
|           | 38,04                           |       | 36,40                           |       |
| V- C25-5  | 36,22                           | 37,56 | 38,22                           | 38,41 |
|           | 36,89                           |       | 36,44                           |       |
|           | 39,56                           |       | 40,58                           |       |
| V- C25-10 | 37,82                           | 38,31 | 37,96                           | 37,70 |
|           | 38,11                           |       | 37,22                           |       |
|           | 38,8                            |       | 37,93                           |       |
| V- C25-15 | 29,69                           | 30,79 | 32,31                           | 32,73 |
|           | 30,22                           |       | 33,29                           |       |
|           | 32,44                           |       | 32,58                           |       |
| V- C25-20 | 33,64                           | 32,98 | 32,53                           | 32,84 |
|           | 33,33                           |       | 33,2                            |       |
|           | 31,96                           |       | 32,8                            |       |

28 gün günün sonunda betonarme plaktan alınan donatılı karot numunelere basınç dayanımı testi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** 28 günlük donatılı karot numunelerin basınç dayanımı sonuçları

| Numuneler  | No | Boy (mm) | Çap (mm) | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | Kırılma Yüğü (kN) | Basınç Dayanımı (MPa) | Ortalama Dayanım (MPa) |
|------------|----|----------|----------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| V-C25-I    | 1  | 100      | 100      | 2,65                                | 343,1             | 43,68                 | 40,83                  |
|            | 2  | 100      | 100      | 2,63                                | 301,5             | 38,39                 |                        |
|            | 3  | 100      | 100      | 2,59                                | 317,4             | 40,41                 |                        |
| V-C25-5-I  | 1  | 100      | 100      | 2,55                                | 301,6             | 38,40                 | 37,72                  |
|            | 2  | 100      | 100      | 2,52                                | 294,9             | 37,55                 |                        |
|            | 3  | 100      | 100      | 2,69                                | 292,2             | 37,20                 |                        |
| V-C25-10-I | 1  | 100      | 100      | 2,63                                | 319,1             | 40,63                 | 40,06                  |
|            | 2  | 100      | 100      | 2,46                                | 317,8             | 40,46                 |                        |
|            | 3  | 100      | 100      | 2,54                                | 306,9             | 39,08                 |                        |
| V-C25-15-I | 1  | 100      | 100      | 2,41                                | 246,2             | 31,35                 | 30,55                  |
|            | 2  | 100      | 100      | 2,58                                | 232,2             | 29,56                 |                        |
|            | 3  | 100      | 100      | 2,49                                | 241,3             | 30,72                 |                        |
| V-C25-20-I | 1  | 100      | 100      | 2,61                                | 271,2             | 34,53                 | 35,18                  |
|            | 2  | 100      | 100      | 2,52                                | 270,3             | 34,42                 |                        |
|            | 3  | 100      | 100      | 2,68                                | 287,3             | 36,58                 |                        |
| N-C25-I    | 1  | 100      | 100      | 2,43                                | 285,2             | 36,31                 | 35,93                  |
|            | 2  | 100      | 100      | 2,47                                | 280               | 35,65                 |                        |
|            | 3  | 100      | 100      | 2,56                                | 281,3             | 35,82                 |                        |

Çizelge 4.2’ deki deney sonuçlarına bakılacak olursa donatılı karot numunelerin beton basınç dayanımında en iyi sonucu 40,83 MPa değeri ile V-C25-I numuneleri, en düşük sonucu da 30,55 MPa değeri ile V-C25-15-I numuneleri vermiştir.

90 gün günün sonunda betonarme plaktan alınan donatılı karot numunelere basınç dayanımı testi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3’ deki deney sonuçlarına bakılacak olursa donatılı karot numunelerin beton basınç dayanımında en iyi sonucu 41,78 MPa değeri ile V-C25-5-II numuneleri, en düşük sonucu da 32,57 MPa değeri ile V-C25-15-II numuneleri vermiştir.

Basınç dayanımına tabii tutulan donatılı karot numunesinin kırıldıktan sonraki durumu Şekil 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 90 günlük donatılı karot numunelerin basınç dayanımı sonuçları

| Numuneler   | No | Boy (mm) | Çap (mm) | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | Kırılma Yüğü (kN) | Basınç Dayanımı (MPa) | Ortalama Dayanım (MPa) |
|-------------|----|----------|----------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| V-C25-II    | 1  | 100      | 100      | 2,52                                | 315               | 40,11                 | 39,70                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,43                                | 316,2             | 40,26                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,49                                | 304,2             | 38,73                 |                        |
| V-C25-5-II  | 1  | 100      | 100      | 2,51                                | 308,5             | 39,28                 | 41,78                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,45                                | 330,7             | 42,11                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,44                                | 345,2             | 43,95                 |                        |
| V-C25-10-II | 1  | 100      | 100      | 2,53                                | 301,9             | 38,44                 | 40,20                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,56                                | 322,2             | 41,02                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,64                                | 323,1             | 41,14                 |                        |
| V-C25-15-II | 1  | 100      | 100      | 2,52                                | 252,3             | 32,12                 | 32,57                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,47                                | 293,3             | 37,34                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,55                                | 221,8             | 28,24                 |                        |
| V-C25-20-II | 1  | 100      | 100      | 2,41                                | 271,2             | 34,53                 | 35,18                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,62                                | 270,3             | 34,42                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,58                                | 287,3             | 36,58                 |                        |
| N-C25-II    | 1  | 100      | 100      | 2,63                                | 275,5             | 35,08                 | 35,60                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,57                                | 283,6             | 36,11                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,56                                | 279,7             | 35,61                 |                        |



Şekil 4.1. 28 günlük donatılı karot numunesinin basınç dayanımı deneyi sonundaki durumu

28. günün sonunda betonarme plaktan alınan donatısız karot numunelere basınç dayanımı testi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4' deki deney sonuçlarına bakılacak olursa donatısız 28 günlük karot numunelerin beton basınç dayanımında en iyi sonucu 39,43 MPa değeri ile V-C25-I numuneleri, en düşük sonucu da 30,65 MPa değeri ile V-C25-15-I numuneleri vermiştir. Numunelerin basınç dayanımı değerlerinde donatılı numunelere oranla daha düşük dayanım çıkmasını, donatının çatlak oluşumunu geciktirmesiyle açıklayabiliriz.

90. günün sonunda betonarme plaktan alınan donatısız karot numunelere basınç dayanımı testi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5' deki deney sonuçlarına bakılacak olursa 90 günlük donatısız karot numunelerin beton basınç dayanımında en iyi sonucu 39,88 MPa değeri ile V-C25-II numuneleri, en düşük sonucu da 32,69 MPa değeri ile V-C25-15-II numuneleri vermiştir. Numunelerin basınç dayanımı değerlerinde donatılı numunelere oranla daha düşük dayanım çıkmasını, donatının çatlak oluşumunu geciktirmesiyle açıklayabiliriz.

Basınç dayanımına tabii tutulan donatısız karot numunesinin kırıldıktan sonraki durumu Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. 90 günlük donatısız karot numunesinin basınç dayanımı deneyi sonundaki durumu

**Çizelge 4.4.** 28 günlük donatısız karot numunelerin basınç dayanımı sonuçları

| Numuneler  | No | Boy<br>(mm) | Çap<br>(mm) | Birim<br>Ağırlık<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Kırılma<br>Yükü<br>(kN) | Basınç<br>Dayanımı<br>(MPa) | Ortalama<br>Dayanım<br>(MPa) |
|------------|----|-------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| V-C25-I    | 1  | 100         | 100         | 2,56                                      | 312,6                   | 39,80                       | 39,43                        |
|            | 2  | 100         | 100         | 2,61                                      | 303,2                   | 38,60                       |                              |
|            | 3  | 100         | 100         | 2,48                                      | 313,3                   | 39,89                       |                              |
| V-C25-5-I  | 1  | 100         | 100         | 2,49                                      | 293,6                   | 37,38                       | 37,62                        |
|            | 2  | 100         | 100         | 2,52                                      | 289,4                   | 36,85                       |                              |
|            | 3  | 100         | 100         | 2,57                                      | 303,3                   | 38,62                       |                              |
| V-C25-10-I | 1  | 100         | 100         | 2,65                                      | 304,6                   | 38,78                       | 39,33                        |
|            | 2  | 100         | 100         | 2,44                                      | 310,9                   | 39,59                       |                              |
|            | 3  | 100         | 100         | 2,55                                      | 311,2                   | 39,62                       |                              |
| V-C25-15-I | 1  | 100         | 100         | 2,43                                      | 232,1                   | 29,55                       | 30,65                        |
|            | 2  | 100         | 100         | 2,59                                      | 247,6                   | 31,53                       |                              |
|            | 3  | 100         | 100         | 2,62                                      | 242,4                   | 30,86                       |                              |
| V-C25-20-I | 1  | 100         | 100         | 2,65                                      | 265,1                   | 33,75                       | 33,27                        |
|            | 2  | 100         | 100         | 2,57                                      | 270,3                   | 34,42                       |                              |
|            | 3  | 100         | 100         | 2,62                                      | 248,5                   | 31,64                       |                              |
| N-C25-I    | 1  | 100         | 100         | 2,64                                      | 286,8                   | 36,52                       | 35,91                        |
|            | 2  | 100         | 100         | 2,42                                      | 291,6                   | 37,13                       |                              |
|            | 3  | 100         | 100         | 2,55                                      | 267,6                   | 34,07                       |                              |

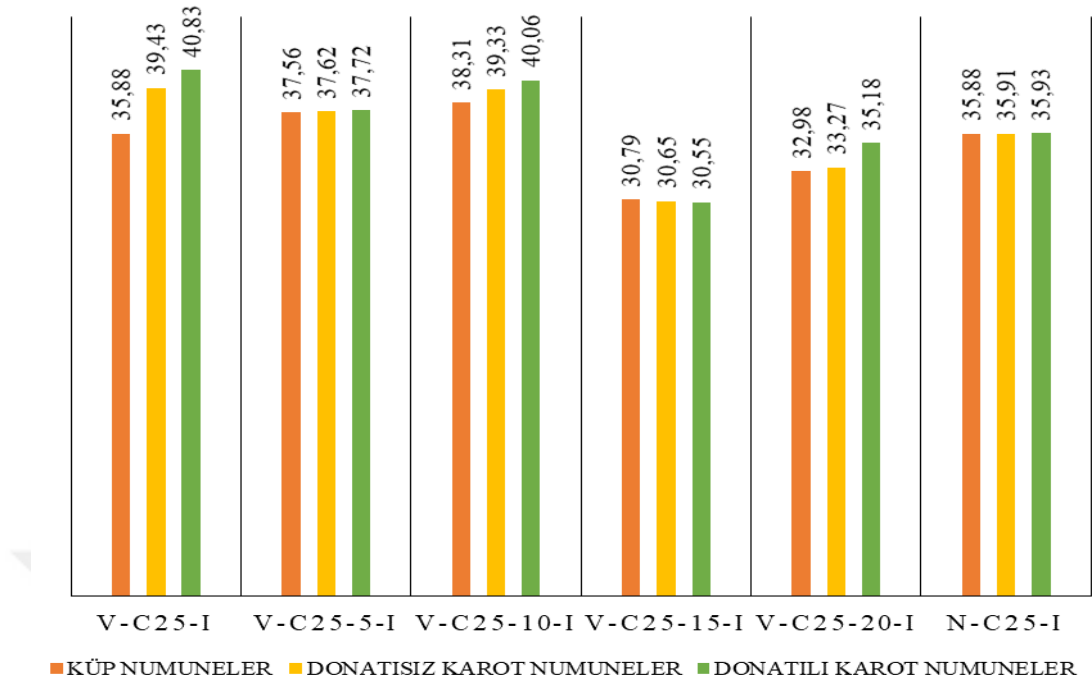
**Çizelge 4.5.** 90 günlük donatısız karot numunelerin basınç dayanımı sonuçları

| Numuneler   | No | Boy (mm) | Çap (mm) | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | Kırılma Yüğü (kN) | Basınç Dayanımı (MPa) | Ortalama Dayanım (MPa) |
|-------------|----|----------|----------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| V-C25-II    | 1  | 100      | 100      | 2,55                                | 318,3             | 40,53                 | 39,88                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,48                                | 309,1             | 39,36                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,42                                | 312,3             | 39,76                 |                        |
| V-C25-5-II  | 1  | 100      | 100      | 2,5                                 | 316               | 40,23                 | 39,56                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,61                                | 305,8             | 38,94                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,48                                | 310,3             | 39,51                 |                        |
| V-C25-10-II | 1  | 100      | 100      | 2,52                                | 319,2             | 40,64                 | 39,84                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,51                                | 317,2             | 40,39                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,64                                | 302,3             | 38,49                 |                        |
| V-C25-15-II | 1  | 100      | 100      | 2,54                                | 247,8             | 31,55                 | 32,69                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,49                                | 270,3             | 34,42                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,57                                | 252,1             | 32,10                 |                        |
| V-C25-20-II | 1  | 100      | 100      | 2,43                                | 284,2             | 36,19                 | 33,34                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,66                                | 248,8             | 31,68                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,58                                | 252,5             | 32,15                 |                        |
| N-C25-II    | 1  | 100      | 100      | 2,63                                | 290,1             | 36,94                 | 36,36                  |
|             | 2  | 100      | 100      | 2,53                                | 285,2             | 36,31                 |                        |
|             | 3  | 100      | 100      | 2,55                                | 281,5             | 35,84                 |                        |

Çalışma kapsamında h/d oranı 1 olan donatılı ve donatısız olmak üzere iki farklı türde karot alınmış ve basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Bunun yanında beton üretimi sırasında 15\*15\*15 cm boyutlarında her bir betonarme plaktan 3'er adet küp numune alınmış ve bu numuneler de 28. gün basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Şekil 4.3' de bu üç farklı grubun basınç dayanımının karşılaştırması verilmiştir.

Sonuçlara bakılacak olursa küp numunelerin basınç dayanımı, karot numunelere göre daha düşüktür. Küp numunelere oranla daha iyi sonuç donatısız karot numunelerde ve en iyi sonucu da donatılı karot numuneler vermiştir. Sonuç olarak yapılan vakum uygulamasının ve farklı oranlarda çimento ile yer değiştiren uçucu küllü numunelerin beton basınç dayanımında iyileştirmeye sebep olduğu aşağıdaki grafikte de görülmektedir.

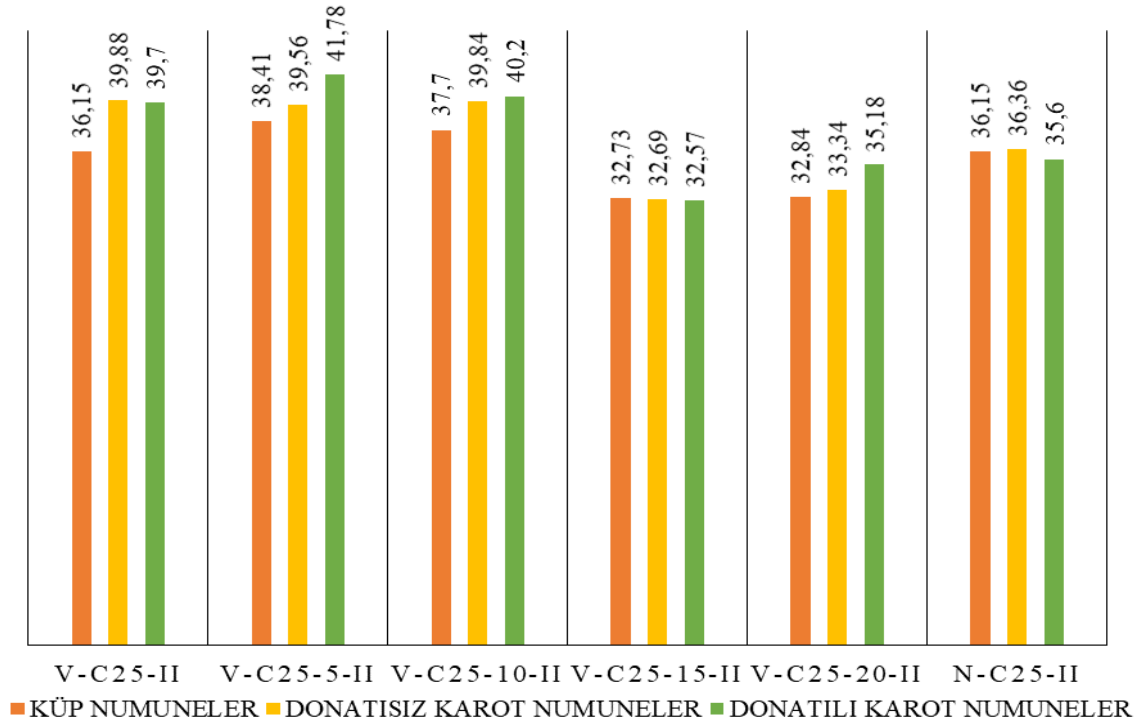
### 28. GÜN BASINÇ DAYANIMI (MPa)



Şekil 4.3. 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Çalışma kapsamında 90. gün alınan donatılı karot numuneler ve beton dökümü sırasında alınan 15\*15\*15 cm boyutundaki küp numuneler basınç deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 4.4' de bu üç farklı grubun basınç dayanımının karşılaştırması verilmiştir.

### 90. GÜN BASINÇ DAYANIMI (MPa)

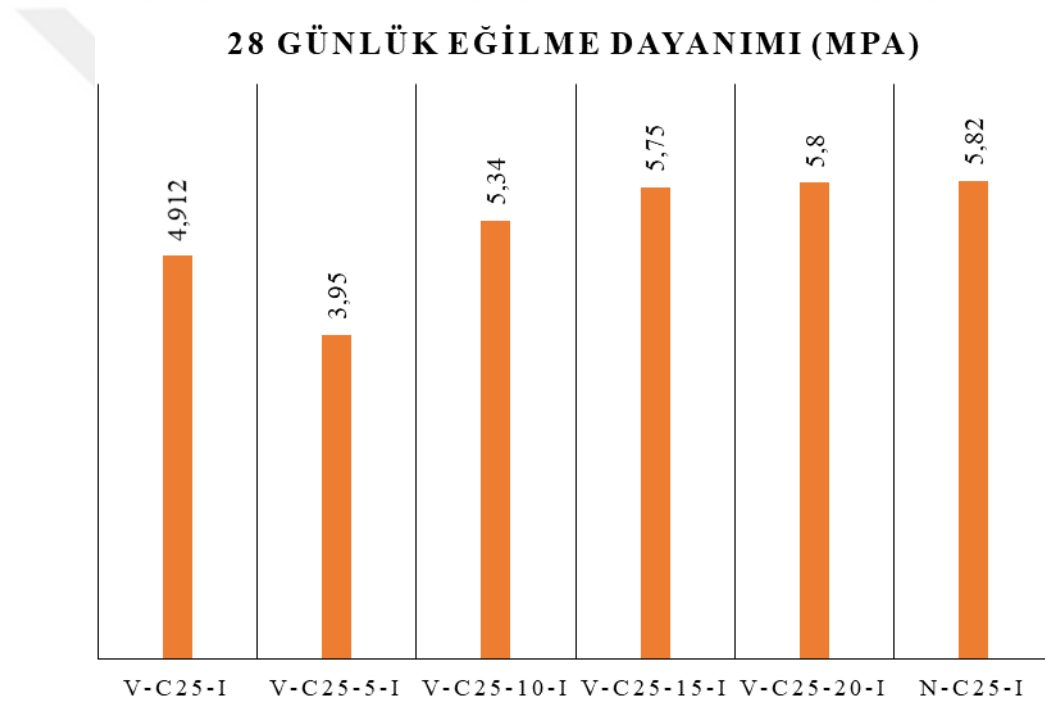


Şekil 4.4. 90 günlük numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Sonuçlara bakılacak olursa, 90 günlük basınç dayanım sonuçları 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre daha iyi gelmiştir. Bunun sebebini uçucu külün, pozolonik aktivite yardımıyla betonda ileriki yaşlardaki beton dayanımını artırması ile açıklayabiliriz.

#### 4.1.2. Beton eğilme dayanımı sonuçları

28 gün günün sonunda betonarme plaktan alınan donatılı 15\*15\*40 cm boyutunda, içerisinde 1 $\phi$ 6 boyuna donatı olan kiriş numuneler kesilerek çıkarılmış ve eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. 28 günlük numunelerin eğilme dayanımı sonuçları

Deney sonuçlarına bakılacak olursa en yüksek eğilme dayanımı sonuçlarını 5,82 MPa değeri ile N-C25-I numuneleri, en düşük sonucu ise 3,95 MPa değeri ile V-C25-I numuneleri vermiştir. Farklı uçucu kül ve vakum uygulamalı ile vakumsuz ve uçucu külsüz numunelere göre daha düşük çıkmış ve düzenli bir artış görülmemiştir. Bunun sebebini kesim sırasında donatı ve beton arasındaki aderans kuvvetinin azalmasından kaynaklı olduğunu söyleyebiliriz.

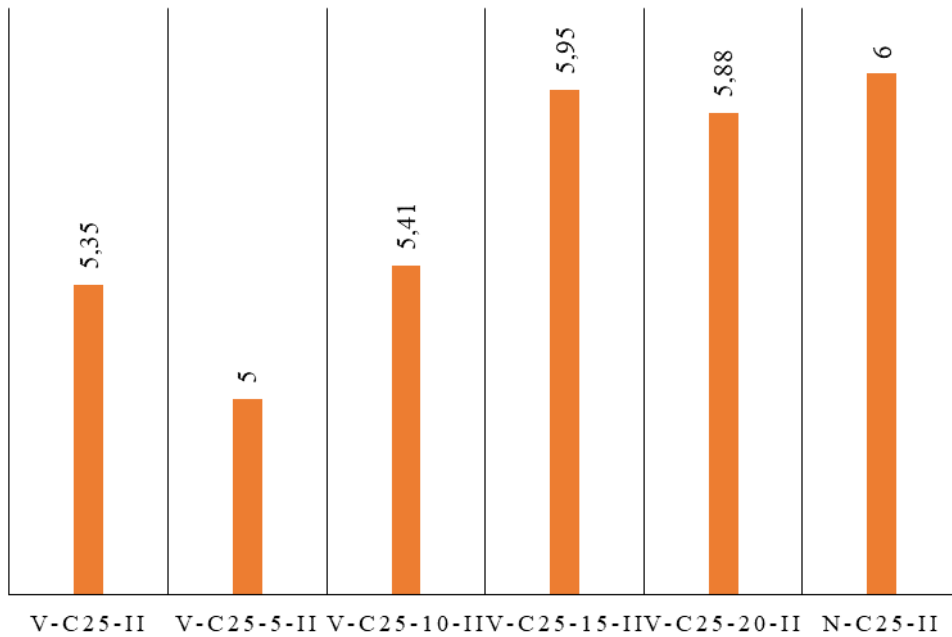
90. günün sonunda betonarme plaktan alınan donatılı 15\*15\*40 cm boyutunda, içerisinde 1φ6 boyuna donatı olan kiriş numuneler kesilerek çıkarılmış ve eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçları Şekil 4.6’te verilmiştir.

Şekil 4.6’daki sonuçlara bakılacak olursa, olursa en yüksek eğilme dayanımı sonuçlarını 6 MPa değeri ile N-C25-I numuneleri, en düşük sonucu ise 5 MPa değeri ile V-C25-I numuneleri vermiştir.

90 günlük eğilme dayanımı sonuçları, 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına göre kısmen daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebini pozolonik aktivite ile açıklayabiliriz.

Eğilme dayanımı deneyine tabi tutulan numunenin kırıldıktan sonraki hali Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere beton çekme kırılmasından taşıma kapasitesine ulaşmış ve kırılmıştır.

#### 90 GÜNLÜK EĞİLME DAYANIMI (MPa)

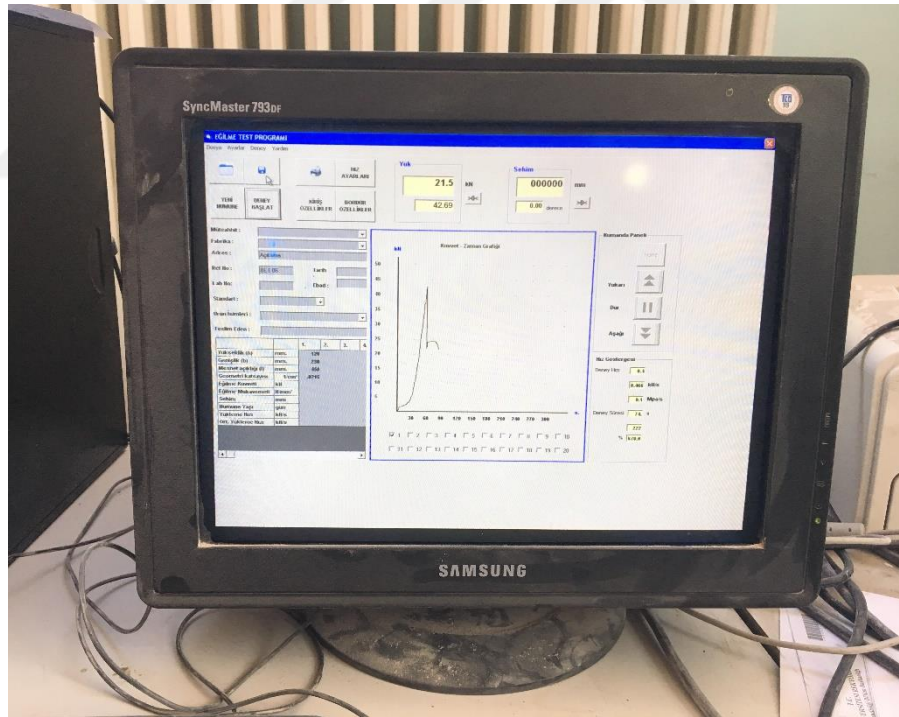


Şekil 4.6. 90 günlük numunelerin eğilme dayanımı sonuçları



Şekil 4.7. Kiriş numunelerin kırıldıktan sonraki durumu

Kiriş numunesinin herhangi bir tanesinin kırılma sırasında oluşan yük diyagramı Şekil 4.8’ de verilmiştir.



Şekil 4.8. Kiriş numunelerde eğilme dayanımı deneyi sırasında oluşan yük / deplasman grafiği

Şekil 4.8’deki diyagramdan da görüleceği gibi kirişler, çekme kırılmasından dolayı taşıma kapasitesine ulaşmış ve kırılmıştır. Bu durumda donatı akması olmamış, kirişte gevrek kırılma meydana gelmiş ve beton davranışı hâkim olmuştur.

Bunun yanında Bölüm 3.2.2’ de elle giriş hesabı yapılmış ve yapılan hesaptan  $\rho < \rho_{\min}$  çıkmıştır. Betonun çekme dayanımından kırılmasını, sistemde beton davranışının hâkim olmasını bununla da açıklayabiliriz.

#### 4.1.3. Betonun aşınmaya karşı direncinin böhme deneyi ile tayin sonuçları

28. ve 90 gün sonunda betonarme plağın yüzey kısmında 4\*4\*7 cm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Kesilen numunelere böhme deneyi yapılarak yüzeylerinin hacimce ne kadar aşındığı hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerin deney sonuçları Çizelge 4.6’da, 90 günlük deney sonuçları ise Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Sonuçlara bakılacak olursa; 28 günlük deneyde yüzeyi en az aşınan numuneler 3,62 cm<sup>3</sup> ile V-C25-I numuneleri, en çok aşınan numuneler 4,32 cm<sup>3</sup> ile N-C25 numuneleri; 90 günlük deneyde yüzeyi aşınan numuneler 3,50 cm<sup>3</sup> ile V-C25-I, en çok aşınan numuneler 4,20 cm<sup>3</sup> ile N-C25 numuneleridir.

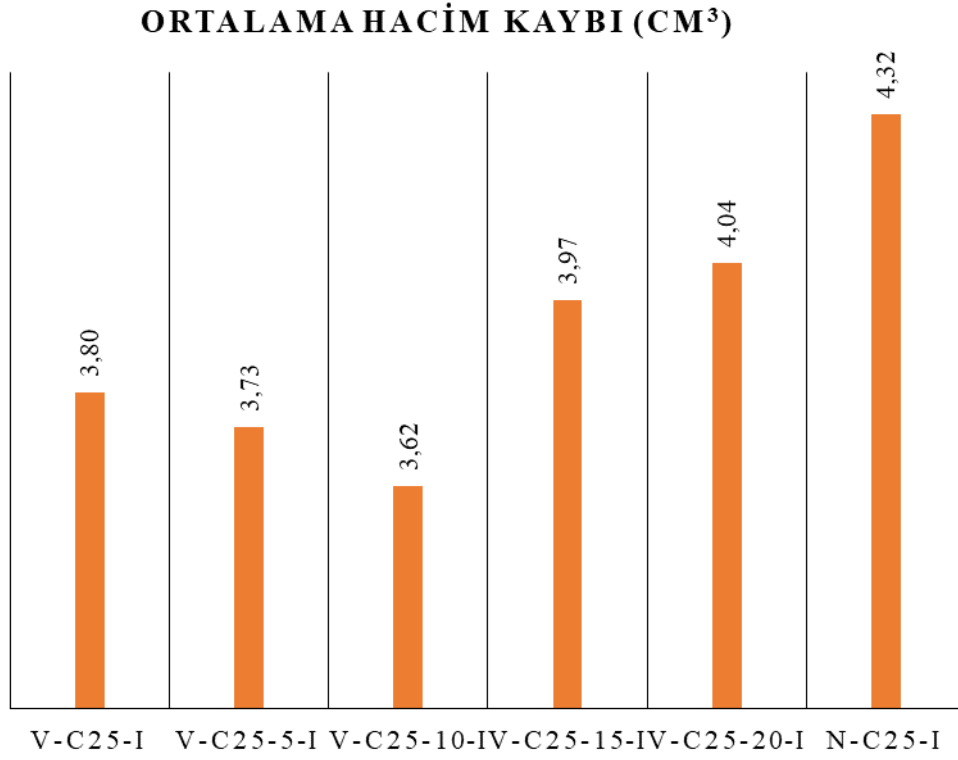
Çizelge 4.6. 28 günlük numunelerin aşınmaya karşı direncin böhme deneyi ile belirlenmesiyle elde edilen sonuçları

| BÖHME DENEYİ SONUÇLARI |    |                                |                |                  |                                     |                  |                       |                                         |
|------------------------|----|--------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Numuneler              | No | Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> ) | Yükseklik (cm) | İlk Ağırlık (gr) | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | Son Ağırlık (gr) | ΔV (cm <sup>3</sup> ) | Ortalama Hacim Kaybı (cm <sup>3</sup> ) |
| V-C25-I                | 1  | 16                             | 7              | 510,4            | 4,56                                | 498,2            | 2,68                  | 3,80                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 515,6            | 4,60                                | 493,4            | 4,82                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 489,8            | 4,37                                | 472,8            | 3,89                  |                                         |
| V-C25-5-I              | 1  | 16                             | 7              | 487              | 4,35                                | 466,6            | 4,69                  | 3,73                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 505,2            | 4,51                                | 485,3            | 4,41                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 593,8            | 5,30                                | 582,8            | 2,07                  |                                         |
| V-C25-10-I             | 1  | 16                             | 7              | 534,4            | 4,77                                | 516              | 3,86                  | 3,62                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 585,2            | 5,23                                | 567              | 3,48                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 571,8            | 5,11                                | 553,8            | 3,53                  |                                         |
| V-C25-15-I             | 1  | 16                             | 7              | 514,2            | 4,59                                | 496,2            | 3,92                  | 3,97                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 503,2            | 4,49                                | 488,6            | 3,25                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 487,2            | 4,35                                | 466,6            | 4,74                  |                                         |
| V-C25-20-I             | 1  | 16                             | 7              | 497,4            | 4,44                                | 472,3            | 5,65                  | 4,04                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 508,6            | 4,54                                | 489,4            | 4,23                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 563,4            | 5,03                                | 552,1            | 2,25                  |                                         |
| N-C25-I                | 1  | 16                             | 7              | 460,4            | 4,11                                | 441              | 4,72                  | 4,32                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 524,4            | 4,68                                | 505,8            | 3,97                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 488              | 4,36                                | 469,4            | 4,27                  |                                         |

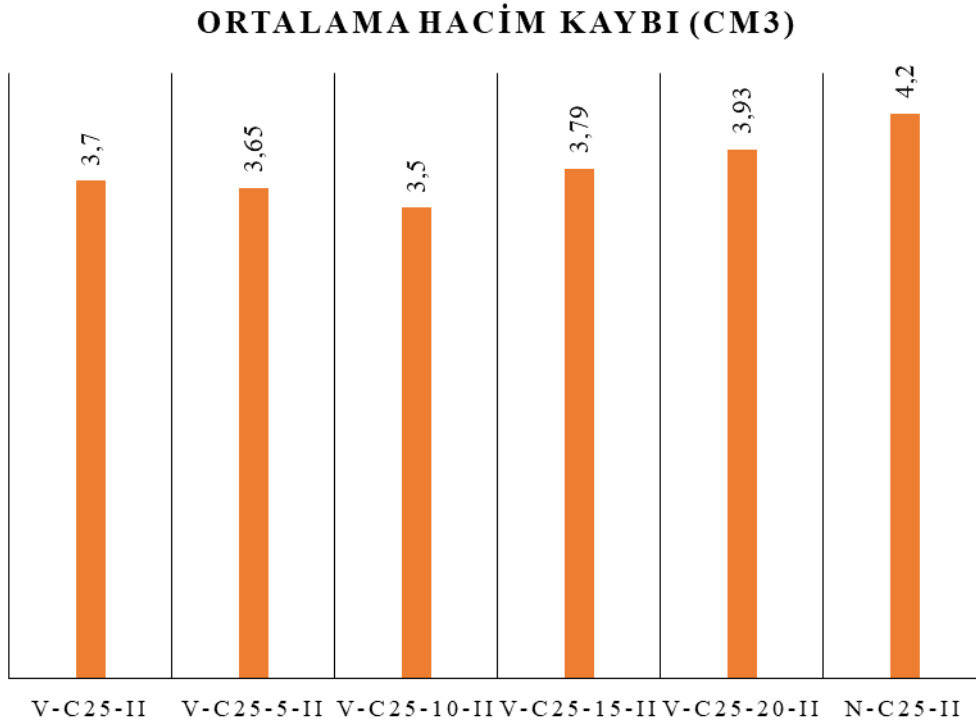
Çizelge 4.7. 90 günlük numunelerin aşınmaya karşı direncinin böhme deneyi ile belirlenmesiyle elde edilen sonuçları

| BÖHME DENEYİ SONUÇLARI |    |                                |                |                  |                                     |                  |                       |                                         |
|------------------------|----|--------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Numuneler              | No | Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> ) | Yükseklik (cm) | İlk Ağırlık (gr) | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | Son Ağırlık (gr) | ΔV (cm <sup>3</sup> ) | Ortalama Hacim Kaybı (cm <sup>3</sup> ) |
| V-C25-II               | 1  | 16                             | 7              | 518,8            | 4,63                                | 498,8            | 4,32                  | 3,70                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 517,2            | 4,62                                | 500,8            | 3,55                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 502,8            | 4,49                                | 488,3            | 3,23                  |                                         |
| V-C25-5-II             | 1  | 16                             | 7              | 530,4            | 4,74                                | 519,2            | 2,37                  | 3,65                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 572,8            | 5,11                                | 555,4            | 3,40                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 548              | 4,89                                | 522,7            | 5,17                  |                                         |
| V-C25-10-II            | 1  | 16                             | 7              | 598,6            | 5,34                                | 576,2            | 4,19                  | 3,50                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 558,8            | 4,99                                | 539,2            | 3,93                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 579,8            | 5,18                                | 567,4            | 2,40                  |                                         |
| V-C25-15-II            | 1  | 16                             | 7              | 506,6            | 4,52                                | 485,5            | 4,66                  | 3,79                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 463,4            | 4,14                                | 449,3            | 3,41                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 471,8            | 4,21                                | 457,9            | 3,30                  |                                         |
| V-C25-20-II            | 1  | 16                             | 7              | 496,2            | 4,43                                | 482,2            | 3,16                  | 3,93                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 507,8            | 4,53                                | 484,1            | 5,23                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 518,6            | 4,63                                | 502,8            | 3,41                  |                                         |
| N-C25-II               | 1  | 16                             | 7              | 525,4            | 4,69                                | 498,6            | 5,71                  | 4,20                                    |
|                        | 2  | 16                             | 7              | 497,8            | 4,44                                | 479,8            | 4,05                  |                                         |
|                        | 3  | 16                             | 7              | 511,4            | 4,57                                | 498,4            | 2,85                  |                                         |

Deney sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da verilmiştir.



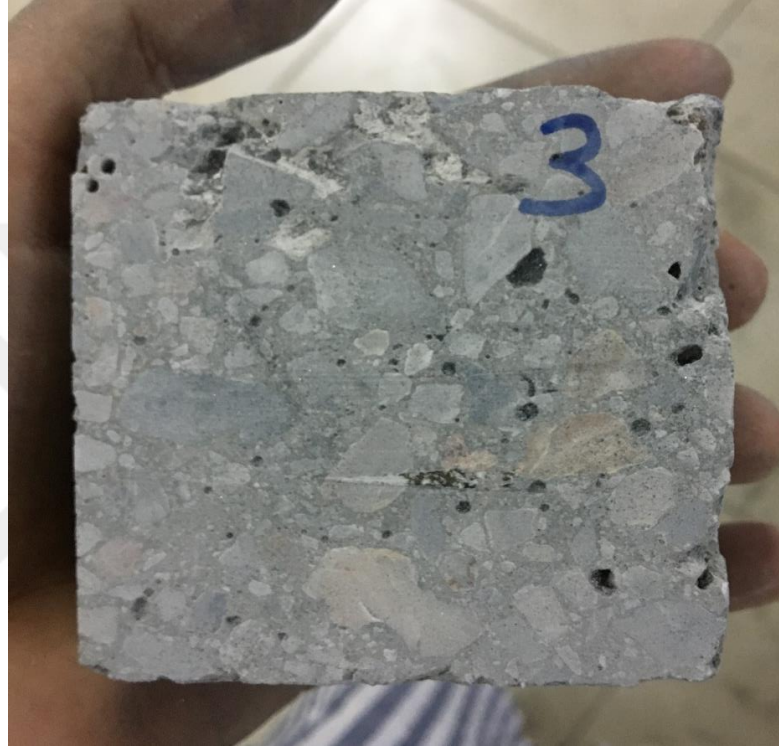
Şekil 4.9. 28 günlük numunelerin böhme deneyi sonrası hacim kaybı grafiği



Şekil 4.10. 90 günlük numunelerin böhme deneyi sonrası hacim kaybı grafiği

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'a bakılacak olursa uçucu külün %10'dan fazla oranlarda çimento ile yer değiştirmesinden sonraki oranlarda aşınma miktarı artmıştır. Ancak yine de uçucu külün kullanılmadığı ve vakum uygulamasının yapılmadığı numunelere oranla daha iyi sonuçlar çıkmıştır.

Deney numunesinin 16 çevrim sonrasındaki aşınmış hali Şekil 4.11' de verilmiştir.



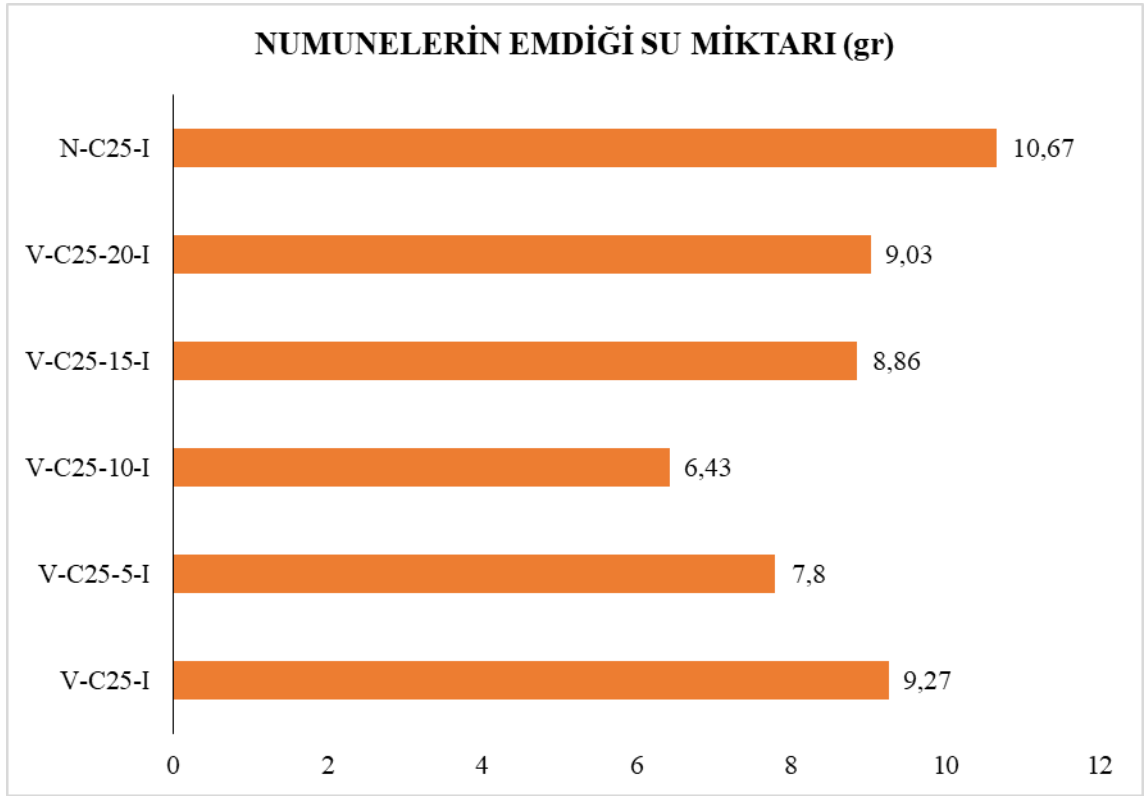
Şekil 4.11. Böhme deneyi sonrası numunenin aşınmış hali

#### 4.1.4. Betonda kılcal su emme deneyi sonuçları

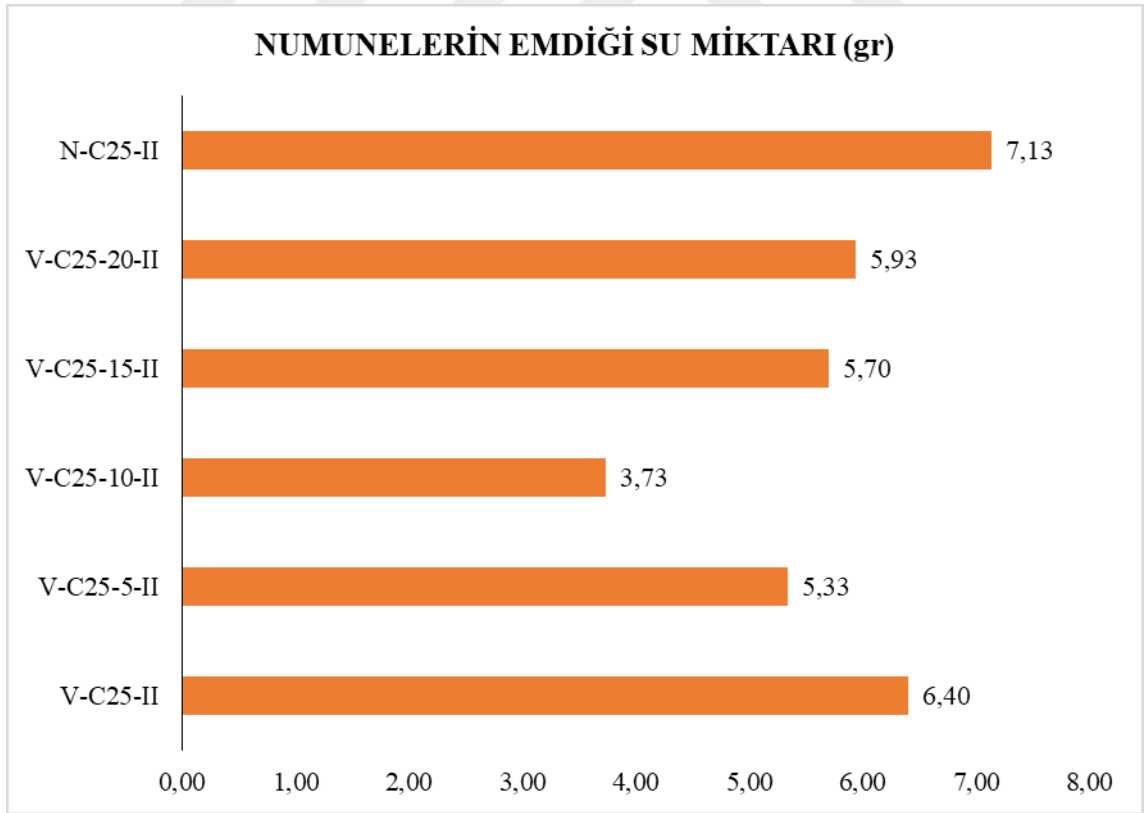
28. ve 90. gün betonarme plaktan alınan h/d oranı 1 olan 10/10 cm boyutlarındaki karot numuneler deney için parafinlendikten sonra deney düzeneğine yerleştirilmiş 8 gün boyunca deneye tabi tutulmuştur.

28 günlük karot numunelerin zamana bağlı olarak bünyesine aldığı toplam su miktarı Şekil 4.12'de, 90 günlük karot numunelerin zamana bağlı olarak bünyesine aldığı toplam su miktarı Şekil 4.13'de verilmiştir.

Şekil 4.12'e bakılacak olursa deney sonunda en az su emen numuneler, 6,43 gr değeri ile V-C25-10-I numuneleri, en fazla su emen numuneler ise 10,67 gr değeri ile hiç vakum uygulanmayan ve uçucu kül katkısı kullanılmayan N-C25-I numuneleri vermiştir.



**Şekil 4.12.** 28 günlük karot numunelerin zamana bağlı olarak bünyesine aldığı toplam su miktarı

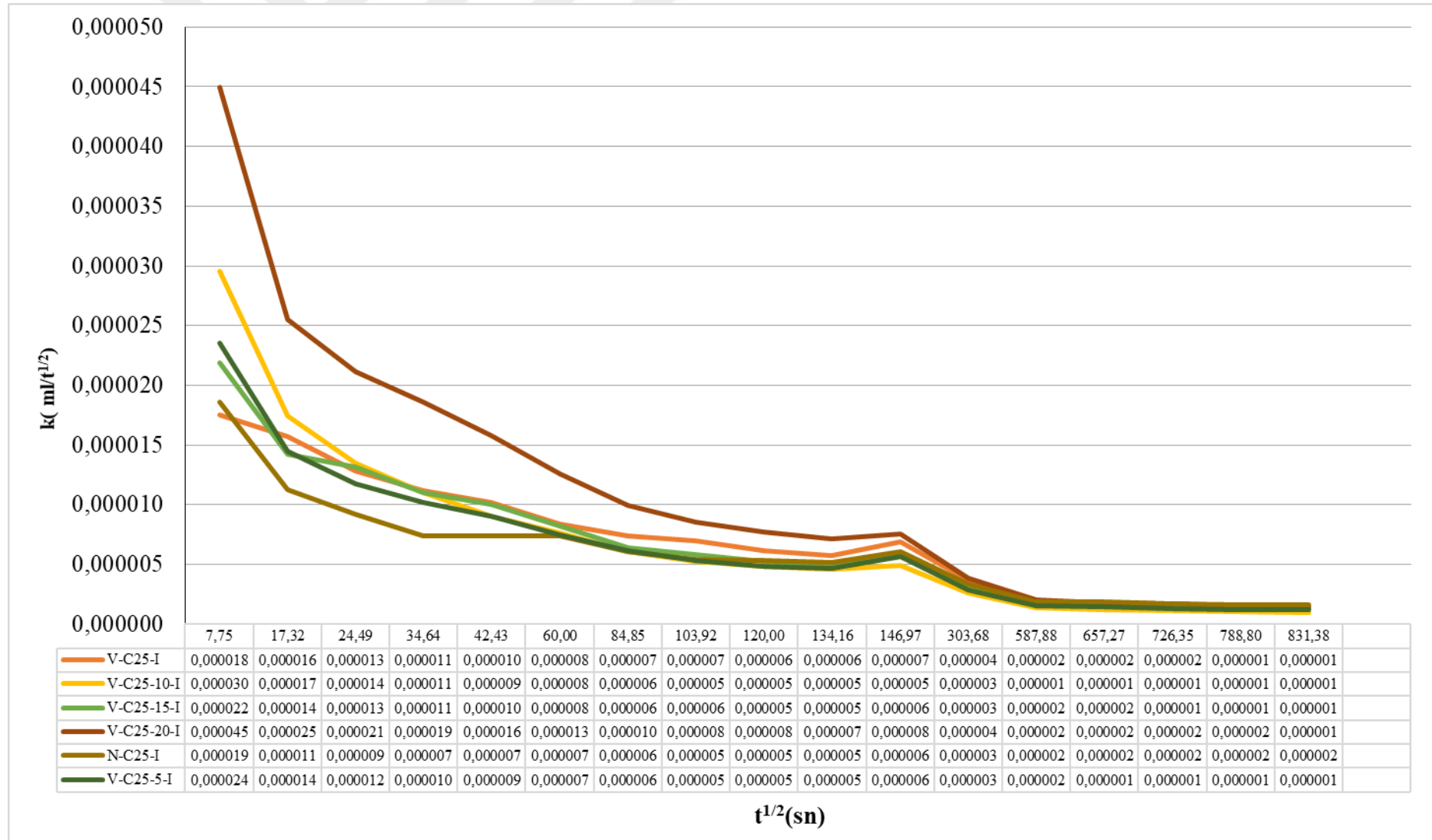


**Şekil 4.13.** 90 günlük karot numunelerin zamana bağlı olarak bünyesine aldığı toplam su miktarı

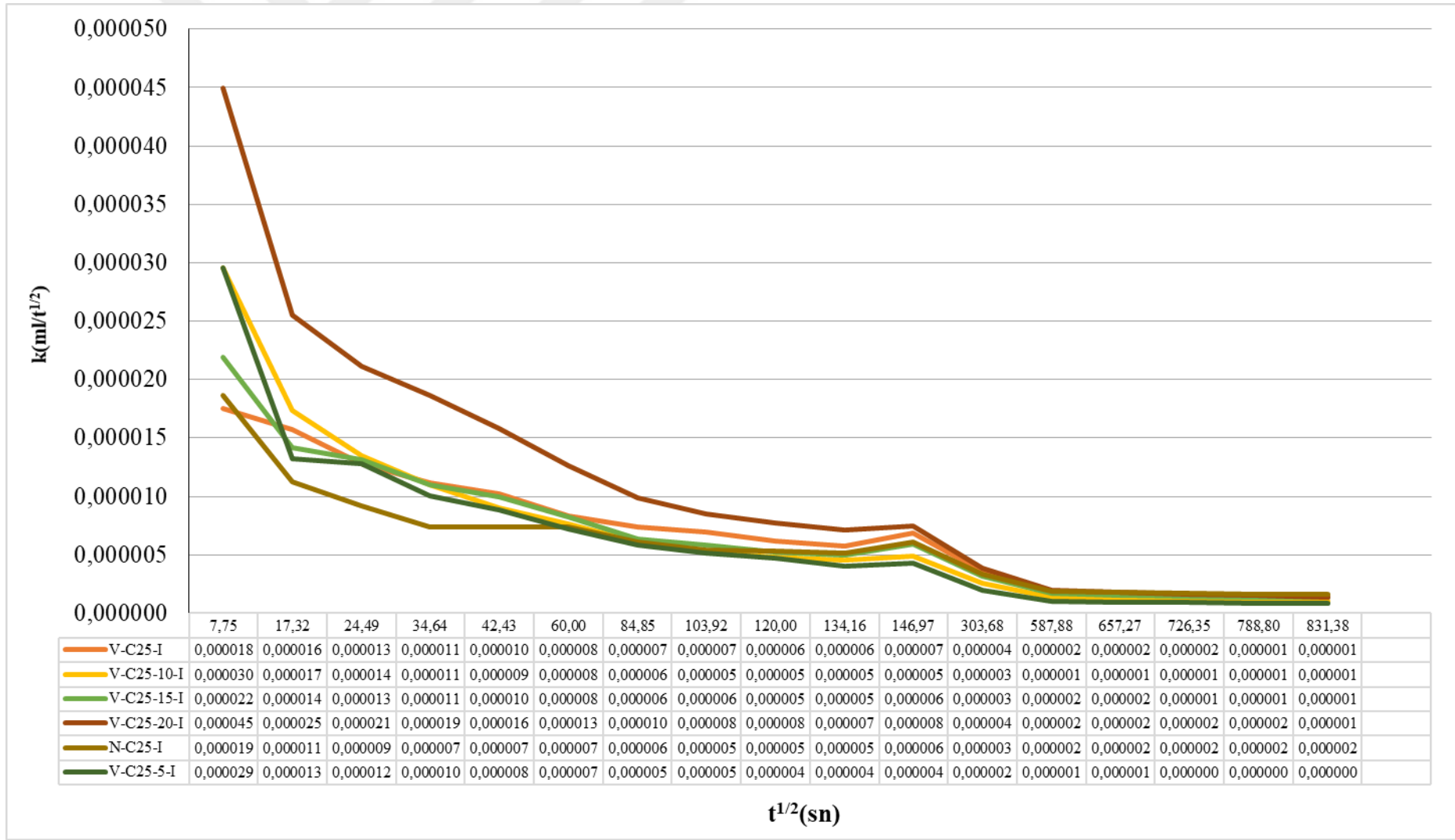
Şekil 4.13'e bakılacak olursa deney sonunda en az su emen numuneler, 3,73 gr değeri ile V-C25-10-I numuneleri, en fazla su emen numuneler ise 7,13 gr değeri ile hiç vakum uygulanmayan ve uçucu kül katkısı kullanılmayan N-C25-I numuneleri vermiştir. Numunelerin 90. günde daha az su emmiştir. Bunun da sebebini puzolonik malzemenin kalsiyum – silika jelleri oluşturup beton içerisindeki boşlukları doldurmasıyla açıklayabiliriz.

28 günlük karot numunelerinden deney sonrası elde edilen elde edilen geçirimsizlik katsayısı olan k faktörünün zamana bağlı grafiği de Şekil 4.14'te, 90 günlük karot numunelerinden deney sonrası elde edilen elde edilen geçirimsizlik katsayısı olan k faktörünün zamana bağlı grafiği de Şekil 4.15'te verilmiştir.





Şekil 4.14. 28 günlük karot numunelerin geçirimsizlik katsayısı değerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.15. 28 günlük karot numunelerin geçirirlik katsayısı değerinin zamana bağlı değişimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, vakum uygulamasının yapıldığı saha betonlarında farklı oranlarda uçucu kül kullanılarak ve farklı deneyler yapılarak optimum uçucu kül oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 5.1. Sonuçlar

Betonun basınç dayanımı sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Çalışma kapsamında beton dayanım sınıfı C25/30 olan beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sırasında alınan 15\*15\*15 cm boyutlarındaki küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları, uçucu külün %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında çimento ile yer değiştirmesine göre sırasıyla 35,88 MPa, 37,56 MPa, 38,31 MPa, 30,79 MPa ve 32,98 MPa'dır. Bu durumda amaçlanan dayanımdan sırasıyla %20, %25, %28, %3, %10 daha yüksek dayanım gözlemlenmiştir.
- 28 günlük en yüksek küp basınç dayanımını 38,31 MPa değeri ile katkı oranı %10 olan V-C25-10 numunesinin üretim aşamasında alınan küp numuneler vermiştir. Katkı oranı %10'u geçtikten sonra basınç dayanımında düşme meydana gelmiştir. Bu yüzden 28 günlük küp numunelerde optimum uçucu kül oranı %10 olarak belirlenmiştir.
- 28. gün betonarme plaktan alınan 10/10 cm boyutlu donatısız karot numunelerde en yüksek basınç dayanımını 39,43 MPa değeri ile V-C25-I numunelerinin verdiği gözlemlenmiştir. Deneyi yapılan diğer numunelerin basınç dayanımları sırasıyla büyükten küçüğe; 39,33 MPa değeri ile V-C25-10-I numuneleri, 37,62 MPa değeri ile V-C25-5-I numuneleri, 35,91 MPa değeri ile N-C25-I numuneleri, 33,27 MPa değeri ile V-C25-20-I numuneleri, 30,65 MPa değeri ile V-C25-15-I numuneleri vermiştir.
- Vakum uygulamasının yapıldığı, uçucu kül oranının %0 olduğu V-C25-I donatısız karot numunelerinin; vakum uygulamasının yapılmadığı, uçucu kül oranının %0 olduğu N-C25-I donatısız karot numunelerine kıyasla basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Yani uygulanan vakum

uygulaması beton basınç dayanımında %10 oranında artışa sebep olmuştur.

- 28 günlük alınan donatısız karot numunelerde en yüksek dayanımı 39,43 MPa değeri ile katkı oranı %0 olan V-C25-I numuneleri vermiştir. Bununla birlikte uçucu kül oranını %10'u geçtikten sonraki donatısız karot numunelerde basınç dayanımında düşme meydana gelmiştir.
- 28. gün betonarme plaktan alınan 10/10 cm boyutlu donatılı karot numunelerde en yüksek basınç dayanımını 40,83 MPa değeri ile V-C25-I numunelerinin verdiği gözlemlenmiştir. Deneyi yapılan diğer numunelerin basınç dayanımları sırasıyla büyükten küçüğe; 40,06 MPa değeri ile V-C25-10-I numuneleri, 37,72 MPa değeri ile V-C25-5-I numuneleri, 35,93 MPa değeri ile N-C25-I numuneleri, 35,18 MPa değeri ile V-C25-20-I numuneleri, 30,5 MPa değeri ile V-C25-15-I numuneleri vermiştir.
- 28 günlük vakum uygulamasının yapıldığı, uçucu kül oranının %0 olduğu V-C25-I donatılı karot numunelerinin; vakum uygulamasının yapılmadığı, uçucu kül oranının %0 olduğu N-C25-I donatılı karot numunelerine kıyasla basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Yani uygulanan vakum uygulaması beton basınç dayanımında %14 oranında artışa sebep olmuştur.
- 28 günlük alınan donatılı karot numunelerde en yüksek dayanımı 40,83 MPa değeri ile katkı oranı %0 olan V-C25-I numuneleri vermiştir. Bununla birlikte uçucu kül oranını %10'u geçtikten sonraki donatılı karot numunelerde basınç dayanımında düşme meydana gelmiştir.
- Üretim sırasında alınan 15\*15\*15 cm boyutlarındaki küp numunelerin 90 günlük basınç dayanımları, uçucu külün %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında çimento ile yer değiştirmesine göre sırasıyla 36,15 MPa, 38,41 MPa, 37,7 MPa, 32,73 MPa ve 32,84 MPa'dır. Bu durumda amaçlanan dayanımdan sırasıyla %21, %28, %26, %9, %9 daha yüksek dayanım gözlemlenmiştir.
- 90 günlük en yüksek küp basınç dayanımını 38,41 MPa değeri ile katkı oranı %5 olan V-C25-5-II numunesinin üretim aşamasında alınan küp

numuneler vermiştir. Ancak katkı oranı %10'u geçtikten sonra basınç dayanımında düşme meydana gelmiştir.

- 90. gün betonarme plaktan alınan 10/10 cm boyutlu donatısız karot numunelerde en yüksek basınç dayanımını 39,88 MPa değeri ile V-C25-II numunelerinin verdiği gözlemlenmiştir. Deneyi yapılan diğer numunelerin basınç dayanımları sırasıyla büyükten küçüğe; 39,84 MPa değeri ile V-C25-10-II numuneleri, 39,56 MPa değeri ile V-C25-5-II numuneleri, 36,36 MPa değeri ile N-C25-II numuneleri, 33,34 MPa değeri ile V-C25-20-II numuneleri, 32,69 MPa değeri ile V-C25-15-II numuneleri vermiştir.
- Vakum uygulamasının yapıldığı, uçucu kül oranının %0 olduğu V-C25-II donatısız karot numunelerinin; vakum uygulamasının yapılmadığı, uçucu kül oranının %0 olduğu N-C25-II donatısız karot numunelerine kıyasla basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Yani uygulanan vakum uygulaması beton basınç dayanımında %10 oranında artışa sebep olmuştur.
- 90 günlük alınan donatısız karot numunelerde en yüksek dayanımı 39,88 MPa değeri ile katkı oranı %0 olan V-C25-II numuneleri vermiştir. Bununla birlikte uçucu kül oranını %10'u geçtikten sonraki donatısız karot numunelerde basınç dayanımında düşme meydana gelmiştir.
- 90. gün betonarme plaktan alınan 10/10 cm boyutlu donatılı karot numunelerde en yüksek basınç dayanımını 41,78 MPa değeri ile V-C25-5-II numunelerinin verdiği gözlemlenmiştir. Deneyi yapılan diğer numunelerin basınç dayanımları sırasıyla büyükten küçüğe; 40,2 MPa değeri ile V-C25-10-II numuneleri, 39,7 MPa değeri ile V-C25-II numuneleri, 35,6 MPa değeri ile N-C25-II numuneleri, 35,18 MPa değeri ile V-C25-20-II numuneleri, 32,57 MPa değeri ile V-C25-15-II numuneleri vermiştir.
- Vakum uygulamasının yapıldığı, uçucu kül oranının %0 olduğu V-C25-II donatılı karot numunelerinin; vakum uygulamasının yapılmadığı, uçucu kül oranının %0 olduğu N-C25-II donatılı karot numunelerine kıyasla basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Yani uygulanan vakum

uygulaması beton basınç dayanımında %12 oranında artışa sebep olmuştur.

- 90 günlük alınan donatılı karot numunelerde en yüksek dayanımı 41,78 MPa değeri ile katkı oranı %5 olan V-C25-5-II numuneleri vermiştir. Bununla birlikte uçucu kül oranını %10'u geçtikten sonraki donatılı karot numunelerde basınç dayanımında düşme meydana gelmiştir.
- 28. ve 90. gün alınan donatılı karot numunelerdeki basınç dayanımının, donatısız karot numunelere kıyasla daha yüksek çıkmasını karot içerisindeki donatının çatlak oluşumunu geciktirmesiyle açıklayabiliriz.
- 90. gün alınan donatısız karot numunelerde basınç dayanımları 28 günlük donatısız karot numunelere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebini uçucu külün puzolonik aktivitesi ile açıklayabiliriz.

Beton eğilme dayanımı sonuçları aşağıdaki gibidir:

- 28. gün betonarme plaktan içerisinde 1φ6 boyuna donatı olacak şekilde kesilerek çıkarılan 15\*15\*40 cm boyutundaki kiriş numunelerden en yüksek eğilme dayanımını 5,82 MPa değeri ile N-C25-I numuneleri vermiştir. Deneye tabi tutulan diğer numunelerin büyükten küçüğe sırasıyla eğilme dayanımı ise 5,8 MPa değeri ile V-C25-20-I numuneleri, 5,75 MPa değeri ile V-C25-15-I numuneleri, 5,34 MPa değeri ile V-C25-10-I numuneleri, 4,912 MPa değeri ile V-C25-I numuneleri ve 3,95 MPa değeri ile V-C25-5-I numuneleri olarak gözlemlenmiştir.
- 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına bakılacak olursa uygulanan vakum uygulaması ve belli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılan uçucu kül, betonun eğilme dayanımında kısmen düşüşe sebep olmuştur. Bununla birlikte vakum uygulanan numunelerde beton içerisindeki uçucu kül oranı %5'i geçtikten sonra arttıkça eğilme dayanımında da artış gözlemlenmiştir.
- 90. gün betonarme plaktan içerisinde 1φ6 boyuna donatı olacak şekilde kesilerek çıkarılan 15\*15\*40 cm boyutundaki kiriş numunelerden en yüksek eğilme dayanımını 6 MPa değeri ile N-C25-II numuneleri vermiştir. Deneye tabi tutulan diğer numunelerin büyükten küçüğe sırasıyla eğilme dayanımı ise 5,95 MPa değeri ile V-C25-15-II numuneleri, 5,88 MPa değeri ile V-C25-20-II numuneleri, 5,41 MPa

değeri ile V-C25-10-II numuneleri, 5,35 MPa değeri ile V-C25-II numuneleri ve 5 MPa değeri ile V-C25-5-II numuneleri olarak gözlemlenmiştir.

- 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına bakılacak olursa uygulanan vakum uygulaması ve belli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılan uçucu kül, betonun eğilme dayanımında kısmen düşüşe sebep olmuştur. Bununla birlikte 90 günlük numunelerin eğilme dayanımı sonuçları 28 günlük deney numunelerine göre daha yüksek gelmiştir. Bunun sebebini beton içerisinde kullanılan pozolonik malzeme olan uçucu külün pozolonik aktivitesi ile açıklayabiliriz.
- 28. ve 90. günlerdeki numunelerin deney sırasında kırılmasına bakılacak olursa kiriş numunelerin çekme kırılmasından kırıldığı gözlemlenmiştir. Bu durumda kiriş içerisine konulan 1φ6 boyuna çekme donatısının akmadığı, kirişte gevrek kırılmanın olduğu ve beton dayanımının hâkim olduğu gözlemlenmiştir.
- 28 ve 90 günlük kiriş numunelerde eğilme dayanımında optimum sonuç bulunamamıştır.

Betonun böhme deneyi ile aşınmaya karşı direncinin sonuçları aşağıdaki gibidir:

- 28. gün betonarme plaktan alınan 4\*4\*7 cm boyutundaki kare prizma numunelerin böhme deneyi ile yüzeylerinin aşınması sonucunda en az hacim kaybına uğrayan numuneler 3,62 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-10-I numuneleridir. Deneye tabi tutulan diğer numunelerin aşınan hacim miktarlarına bağlı olarak büyükten küçüğe sıralaması ise; 3,73 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-5-I numuneleri, 3,80 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-I numuneleri, 3,97 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-15-I numuneleri, 4,04 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-20-I numuneleri ve 4,32 cm<sup>3</sup> değeri ile N-C25-I numuneleri olarak gözlemlenmiştir.
- 28 günlük numunelerde aşınma kaybı vakum uygulanmış ve çimentonun uçucu küllü %10 oranında yer değiştirdiği V-C25-10-I numunelerinde optimum sonucu vermiş, bu oranın artması durumunda aşınan miktarlarda artış gözlemlenmiştir.
- 28 günlük numunelerde vakum uygulanan ve uçucu külün %5, %10, %15 ve %20 oranında çimento ile yer değiştirdiği numunelerde, vakum

uygulanmayan ve uçucu kül kullanılmayan numunelere kıyasla %16, %19, %8 %7 oranında daha az aşınma meydana gelmiştir.

- 28 günlük numunelerde uçucu kül kullanılmayan ve vakum yapılmayan N-C25-I numunelerine kıyasla, uçucu kül kullanılmayan ve vakum uygulanan V-C25-I numuneleri %14 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.
- 90. gün betonarme plaktan alınan 4\*4\*7 cm boyutundaki kare prizma numunelerin böhme deneyi ile yüzeylerinin aşınması sonucunda en az hacim kaybına uğrayan numuneler 3,50 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-10-II numuneleridir. Deneye tabi tutulan diğer numunelerin aşınan hacim miktarlarına bağlı olarak büyükten küçüğe sıralaması ise; 3,65 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-5-II numuneleri, 3,70 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-II numuneleri, 3,79 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-15-II numuneleri, 3,93 cm<sup>3</sup> değeri ile V-C25-20-II numuneleri ve 4,20 cm<sup>3</sup> değeri ile N-C25-II numuneleri olarak gözlemlenmiştir.
- 90 günlük numunelerde aşınma kaybı vakum uygulanmış ve çimentonun uçucu külle %10 oranında yer değiştirdiği V-C25-10-II numunelerinde optimum sonucu vermiş, bu oranın artması durumunda aşınan miktarlarda artış gözlemlenmiştir.
- 90 günlük vakum uygulanan ve uçucu külün %5, %10, %15 ve %20 oranında çimento ile yer değiştirdiği numunelerde, vakum uygulanmayan ve uçucu kül kullanılmayan numunelere kıyasla %15, %20, %11 %7 oranında daha az aşınma meydana gelmiştir.
- 90 günlük numunelerde uçucu kül kullanılmayan ve vakum yapılmayan N-C25-II numunelerine kıyasla, uçucu kül kullanılmayan ve vakum uygulanan V-C25-II numuneleri %14 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.
- Ayrıca, 90 günlük numunelerin 28 günlük deney numunelerine göre aşınma direnci daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebini aşınma direncinin, betonun dayanımına, betonun iç yapısına bağlı olduğunu düşünecek olursak 90 günlük karot numunelerin basınç dayanımının daha iyi çıkması ile yani, uçucu külün puzolonik aktivitesi ile açıklayabiliriz.

Betonun kılcal su emme deneyi sonuçları aşağıdaki gibidir:

- 28. gün betonarme plaktan alınan 10/10 cm boyutlu ve sadece tek yüzeyinden su geçişi olması için parafinlenmiş karot numuneler arasında deney sonunda en az su emen numunelerin 6,43 gr değeri ile V-C25-10-I numuneleri olduğu gözlemlenmiştir. Deneye tabi tutulan diğer numunelerin emdiği su miktarı ise büyükten küçüğe; 7,8 gr değeri ile V-C25-5-I numuneleri, 8,86 gr değeri ile V-C25-15-I numuneleri, 9,03 değeri ile V-C25-20-I numuneleri, 9,27 gr değeri ile V-C25-I numuneleri ve 10,67 gr değeri ile N-C25-I numuneleri olarak gözlemlenmiştir.
- 28 günlük numunelerde vakum uygulanan numuneler arasında; %5, %10, %15 ve %20 oranında çimento ile yer değiştiren numuneler, %0 oranında uçucu kül kullanılan numunelere kıyasla sırasıyla %19, %44, %5, %3 oranında daha az su emmiştir.
- 28 günlük numunelerde uçucu kül kullanılmayan ve vakum uygulanmayan N-C25-I numunelerine kıyasla, uçucu kül kullanılmayan ve vakum uygulanan V-C25-I numuneleri %15 oranında daha az su emmiştir.
- 90. gün betonarme plaktan alınan 10/10 cm boyutlu ve sadece tek yüzeyinden su geçişi olması için parafinlenmiş karot numuneler arasında deney sonunda en az su emen numunelerin 3,73 gr değeri ile V-C25-10-II numuneleri olduğu gözlemlenmiştir. Deneye tabi tutulan diğer numunelerin emdiği su miktarı ise büyükten küçüğe; 5,33 gr değeri ile V-C25-5-II numuneleri, 5,70 gr değeri ile V-C25-15-II numuneleri, 5,93 değeri ile V-C25-20-II numuneleri, 6,40 gr değeri ile V-C25-II numuneleri ve 7,13 gr değeri ile N-C25-II numuneleri olarak gözlemlenmiştir.
- 90 günlük numunelerde vakum uygulanan numuneler arasında; %5, %10, %15 ve %20 oranında çimento ile yer değiştiren numuneler, %0 oranında uçucu kül kullanılan numunelere kıyasla sırasıyla %20, %72, %12, %8 oranında daha az su emmiştir.
- 90 günlük numunelerde uçucu kül kullanılmayan ve vakum uygulanmayan N-C25-I numunelerine kıyasla, uçucu kül kullanılmayan

ve vakum uygulanan V-C25-I numuneleri %11 oranında daha az su emmiştir.

- 28 ve 90 günlük numunelerde su emmenin en az olduğu ve optimum sonucu veren numuneler, katkı oranının % 10 olduğu ve vakum uygulanan numuneler olmuştur.
- 28 ve 90 günlük numunelerde geçirimsizlik katsayısı grafiğine bakılacak olunursa numunelerin ilk 1 gün boyunca düzenli olarak su emme işlemini devam ettirdiği, 1. günden sonra su emme işleminin kısmen durduğu ve grafiğin yatay eksene paralel duruma geldiği gözlemlenmiştir.
- Vakum uygulamasının yapılmasının yanı sıra farklı oranlarda kullanılan uçucu kül, betonun basınç dayanımında ve eğilme dayanımında artışa sebep olmuştur. Bununla birlikte yapılan böhme deneyi ve kılcal su emme deneylerinde % 10 oranında çimento ile yer değiştiren uçucu kül miktarına kadar numunelerde iyileşmeler meydana gelmiştir. Uçucu kül oranının artması ile elde edilen verilerde düşüş meydana gelmiştir. Bundan dolayı optimum uçucu kül oranı % 10 olarak belirlenmiştir. Ayrıca uçucu külün pozolonik etkisinden kaynaklı bütün deneylerde 90 günlük deney sonuçları 28 günlük deney sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Sonuç olarak, kesit kalınlığı diğer yapı elemanlarına göre daha az ve yüzey alanının daha geniş olduğu saha betonlarında vakum uygulaması yapılmasıyla dayanımında artış meydana gelmiştir. Vakum uygulamasının yapılması ile yüzey aşınması miktarında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca vakum uygulamasının yapılması ile beton daha geçirimsiz hale gelmiş, dolayısıyla durabilitesi artmış ve dış etkilere karşı daha dayanıklı duruma getirilmiştir.

## 5.2. Öneriler

Bu deneysel çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Tez kapsamında üretilen plaklara 10 dk vakum uygulaması yapılmıştır. Uygulanan sürenin farklı değerlerinde yapılan deneyler ve katkı oranları kullanılarak optimum vakum süresi bulunabilir.
- Saha betonları sürekli olarak yüke ve farklı hava koşullarına maruz kaldığı için vakum uygulamasının ve uçucu kül katkısının donma-çözülme, sülfata karşı ve ya alkali-silika reaksiyonuna karşı dayanıklılığı test edilebilir.
- Vakum uygulanan saha betonunda katkı malzemesi olarak uçucu kül yerine silis dumanı kullanılarak sonuçlar arasındaki farklılıklar belirlenebilir.
- Vakum uygulanan saha betonlarından alınan kırış numune boyutları ve içerisindeki donatı oranı değiştirilerek eğilme dayanımı için optimum uçucu kül oranı bulunabilir.
- İçerisinde hasır donatı bulunan karot numuneler farklı noktalardan alınarak donatının karot üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Yapılan deneylerin günleri 6 ay ve 1 senelik süreçlerde yapılabilir, vakum uygulaması ve uçucu kül etkisinin betonda zamanla nasıl değişikliğe sebep olduğu incelenebilir.

## KAYNAKLAR

ACI 201.2R-08, (2010) "Guide to Durable Concrete."

Akdağ, B., ve Mutlu, M., (2013). "Yerinde Beton Basınç Dayanımlarının Ölçülmesinde Karot Numune Kullanımı." Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 80-84.

Anonim, <https://theconstructor.org/concrete/vacuum-concrete-techniques-equipments-advantages/6867/> adresinden alındı.(Erişim Tarihi: 15.02.2020).

Anonim, <https://images.app.goo.gl/xhGcnoBHh3aWJwdp7> adresinden alındı. ( Erişim Tarihi: 03.03.2020)

Anonim, [http://imoistanbul.org/imoarsiv/2011-seminer-notlari/santiye/3\\_tumer\\_akakin.pdf](http://imoistanbul.org/imoarsiv/2011-seminer-notlari/santiye/3_tumer_akakin.pdf) adresinden alındı.(Erişim Tarihi: 20.01.2020).

Anonim, [http://www.modart.com.tr/wp-content/uploads/2018/10/KAROT\\_DEGERLEND%C4%B0RME\\_NOTLARI\\_2.pdf](http://www.modart.com.tr/wp-content/uploads/2018/10/KAROT_DEGERLEND%C4%B0RME_NOTLARI_2.pdf) adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 22.01.2020).

Arslan, M., Durmuş, G., Subaşı, S., Can, Ö., Yıldız, K., (2010). "Beton Yol Kaplamalarında Vakum Uygulaması Üzerine Bir Çalışma." Tübav Bilim Dergisi, Cilt:3, Sayı:3, 215-223.

ASTM C-1585-04, "Standard Test Method Measurement Of Rate Of Absorption of Water By Hydraulic- Cement Concrete."

ASTM C 618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete."

Atış, C. D. (2000). "Yüksek Oranda Uçucu Kül Kullanımı İle Üretilen Betonun Aşınma Direnci." İMO Teknik Dergi, 2217-2230.

Atış, C., D. (2001). "Uçucu Kül İçeren, Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri.", Turk J Engin Environ Sci, 25 (2001) , 503 -515.

Baradan, B. ve Yazıcı, H., (2003). "Betonarme Yapılarda Durabilite Ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler.", Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426 - 2003/4.

Baradan, B. ve Aydın, S. (2013). "Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık.", Hazır Beton, Kasım- Aralık, 54-68.

Berber, E. (2010). " Beton Karot Numunelerin Değerlendirilmesi üzerine Bir Araştırma.", Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Konya.

- Bolat, H. (2002). "Vakumlu Betonun Basınç Dayanımı Üzerine Bir Araştırma." Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Bolat, H., Çullu, M., Tekin, İ. (2009). "Bir Saha Beton Uygulaması: Vakumlu Beton.", Yapı Dünyası, Ağustos, Sayı: 161, 52-57.
- Canlı, M. (2017). " Donma Çözülme Etkisindeki Betonlarda Vakum Uygulaması Ve Lif Katkısının Etkisi.", Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Gümüşhane.
- Cengiz, S. (2019). " Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Üretilmiş, Sabit Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerde Kesme Ve Eğilme Davranışının İncelenmesi.", Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Konya.
- Doğruyol, M. (2017). " Diyarbakır Bazaltının Mineral Katkılar İle Kullanılmasının Betonun Dayanım Ve Dayanıklılığına Etkisi.", Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Diyarbakır.
- Erdoğan, S. T. Ve Erdoğan T. Y. (2007). "Puzolanik Mineral Katkılar Ve Tarihi Geçmişleri.", 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 263-329.
- Erdal, M. (2002). "Beton Basınç Dayanımının Bazı Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi.", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Erdal, M. ve Şimşek O., (2005). " Bazı Tahribatsız Deney Metotlarının Vakum Uygulanmış Betonların Basınç Dayanımlarının Belirlenmesindeki Performanslarının İncelenmesi."Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 21 (1), 65-73.
- Erdal, M, (2009). " Prediction Of The Compressive Strength Of Vacuum Processed Concretes Using Artificial Neural Network And Regression Techniques.", Scientific Research and Essay Vol.4 (10), pp. 1057-1065, October.
- Ersoy, U. (2015). Betonarme, Evrim Yayınevi, IV. Baskı, İstanbul, 3-19
- Filiz, M. H. (2006). " Beton Karot Dayanımları İle Standart Silindir Dayanımları Arasındaki İlişkinin Kür Koşullarına Bağlı Olarak Belirlenmesi.", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Trabzon.
- Galle, C., (2001). "Effect Of Drying On Cement-Based Materials Pore Structure As Identified By Mercury İntrusion Porosimetry A Comparative Study Between Oven-, Vacuum-, And Freeze-Drying." Cement and Concrete Research, 31 (2001) 1467–1477.
- Keçeci, A. (2018). "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Silis Dumanı Kullanımının, Beton Basınç Dayanımına Ve Aderansa Etkileri.", Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Konya.

- Küçük, B., (2000). “ Betonun Dayanım Ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler.”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, 79-85.
- Nergiz, M. (2016). " Betonda Vakum Uygulaması Ve Polipropilen Lif Katkısının Beton Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi.", Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Gümüşhane.
- Neville, A.M. ve Brooks, J. J. (2010). “Concrete Tecnology.” Second Edition, 94-120.
- Neville, A., (2003). “Su Beton. Bir Sevgi- Nefret İlişkisi.”, İMO İzmir Şubesi, Ekim-2003, Sayı 113.
- Oghli, E. S. (2019). " Karot Dayanımının Belirlenmesinde Donatı, Döküm Yönü Ve Nem Etkisinin Araştırılması.", Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Konya.
- Önal, O., (2006). " Vakumlu Betonun Dayanıklılığa İlişkin Özelliklerinin İncelenmesi.", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Özdemir, Ö. (1992). “Vakumlu Beton.” (Online), <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12714.pdf> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 08.02.2020).
- Patel, V., Pitroda, J., Bhavsar, J. J. (2015). “Vacuum Dewatering: New Way For Concrete Flooring By Tremix Method.”, International Conference on: “Engineering: Issues, opportunities and Challenges for Development, ISBN: 978-81-929339-1-7.
- Pekmezci, B. Y. ve Atahan, H. N. (2014). “ Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri.”, Hazır Beton, Mayıs – Haziran, 69-82.
- Pickard, S. S. (1981). “Vacuum- Dewatering Concrete.”, Concrete International, November, 49-55.
- Sancak, E., (2008). “Effect Of Vacuum Dewatering Application On The Chemical Corrosion And Mechanical Properties Of Concrete.”, Asian Journal Of Apllied Sciences 1 (1) 79-86.
- Saeed H. H., ve Ezzulddin, A. A. (2014). “Study A New Technique For Producing Vacuum-Dewatered Concrete.”, International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, ISSN: 2319-7463 Vol. 3 Issue 10, October-2014, pp: (1-6).
- Sonebi, M. ve Khayat, K. H. (2001). “Testing Abrasion Resistance of High-Strength Concrete,” Cement, Concrete, and Aggregates.” CCAGDP, Vol. 23, No. 1, June 2001, pp. 34-43.

- Sözüer, F. N. ve Kamanlı, M. ( 2020). “Vakum Uygulanan Donatılı Saha Betonlarında Uçucu Kül Katkısının Deneyisel Olarak Araştırılması. ”, VI. International Congress on Natural and Health Sciences (ICNHS-2020), 14-15 March 2020, Selçuklu/Konya.
- Subaşı, S., Şimşek, O., Sancak, E., (2005). “Vakum Uygulanan Betonlarda Yoğunluğun Radyoaktif Yöntemle Tayini.” 4rd International Advanced Technologies Symposium, September, 28–30, 2005 Konya / Türkiye.
- Subaşı, S., (2008). “Vakumlu Betonlarda Farklı Derinliklerdeki Beton Yoğunluğunun Alternatif Yöntemlere İle Tahmin Edilmesi.”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008 (2), 53-61.
- Sümer, B., (2012). " Silis Dumanı Katkılı Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması.", Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya.
- Şahin, H. M. (2016). " Betonda Vakum Uygulaması Ve Çelik Lif Katkısının Beton Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi.", Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Gümüşhane.
- Temiz, H., Binici, H., Zülkadiroğlu, Ö. F. (2009). “Termik Santral Külü Katkılı Betonların Yol Kaplaması Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması.”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(1), 53-61.
- TS 706 EN 12620, (2003). “Beton Agregaları.”
- TS EN 1097-6, 2013 “Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranının Tayini.”
- TS EN 933-1, (2012). “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu.”
- TS EN 13791, (2019). “Beton Basınç Dayanımının, Yapılar Ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini.”
- TS EN 12350-2, (2002). “Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi.”
- TS EN 12390-3, (2003). “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.”
- TS EN 12390-5, (2002). “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5 : Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.”
- TS EN 450-1, (2013). “Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri.”

- TS 2824 EN 1338, (2005). “Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları - Gerekli Şartlar Ve Deney Metotları.”
- Uygunoğlu, T. Ve Ünal O. (2005). “Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı.”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2005 (1), 13 – 2.
- Ünal, A. (2016). “Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması”, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Ünsal , A., ve Şen, H. (2008). “Beton Ve Beton Malzemeleri Labaratuvar Deneyleri.” Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Labaratuvar Şubesi Müdürlüğü, Eylül-2008.
- Yazıcı, Ş., Göktepe A. B., Altun, S., Karaman, V., (2006). “ Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesinde Kullanılan TS-10465 Ve TS EN 12504-1 Üzerine Bir Değerlendirme.”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 8(1), 119-128

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Fatma Nur SÖZÜER  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya/Meram – 26.11.1994  
**Telefon** : +90 535 243 72 97  
**Faks** : 0332 233 43 76  
**E-Posta** : sozuerfatmanur@gmail.com

### EĞİTİM

| Derece        | Adı                                                                        | İlçe | İl | Bitirme Yılı |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|------|----|--------------|
| Lise          | : Mahmut Sami Ramazanoğlu Anadolu İmam Hatip Lisesi, Selçuklu, Konya, 2012 |      |    |              |
| Üniversite    | : Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya ,2017                               |      |    |              |
| Yüksek Lisans | : Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya, 2020                         |      |    |              |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Kurum            | Görevi            |
|-----------|------------------|-------------------|
| 2017-2018 | Taç Yapı Denetim | Kontrol Mühendisi |

### UZMANLIK ALANI

Mekanik, Betonarme

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

#### Uluslararası Bildiriler:

#### Özet (Yabancı dilde sözlü sunulan ve özeti yayınlananlar):

1. **Fatma Nur Sözüer**, Salih Cengiz, Mehmet Kamanlı, Ülkü Sultan Keskin, Alptuğ Ünal, Oğuzhan Öztürk, “Effect Of Fine Corn Stalk Ash On The Permeability And Mechanical Properties Of Lightweight Concrete.”, 3rd International Conference On Civil And Enviromental Engineering (ICOCEE), 24-27 April 2018, Çeşme, Turkey.

2. Salih Cengiz, **Fatma Nur Sözüer**, Mehmet Kamanlı, Ülkü Sultan Keskin, Alptuğ Ünal, Oğuzhan Öztürk, “The Effects of Ground Limestone on the Permeability of Concrete.”, 3rd International Conference on Civil and Enviromental Engineering (ICOCEE), 24-27 April 2018, Çeşme/Turkey.

3. **Fatma Nur Sözüer**, Mehmet Kamanlı, “Vakum Uygulanan Donatılı Saha Betonlarında Uçucu Kül Katkısının Deneysel Olarak Araştırılması. ”, VI. International Congress on Natural and Health Sciences (ICNHS-2020), 14-15 March 2020, Selçuklu/Konya.

**(Yüksek Lisans Tezinden Türetilmiştir.)**

### **Ulusal bildiriler:**

### **Tam metinli bildiriler (Sözlü sunulan ve tam metni yayınlananlar):**

1. **Fatma Nur Sözüer**, Salih Cengiz, Mehmet Kamanlı, Ülkü Sultan Keskin, (2018), “Mısır Sapı Külü Katkılı Hafif Betonların Basınç Dayanımının Araştırılması.”, 9. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi – UKAY, 9-12 Mayıs 2018, Konya/Türkiye.