

**NUMUNE MESNET ARALIĞI VE BOYUTUNUN BETONUN ÇARPMA  
DAYANIMINA ETKİSİ**

**Hakan KINA**

**Yüksek Lisans Tezi  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI**

**HAZİRAN-2012**

**T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NUMUNE MESNET ARALIĞI VE BOYUTUNUN BETONUN ÇARPMA  
DAYANIMINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hakan KINA**

**(092125105)**

**Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi**

**Programı: Yapı Eğitimi**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26/06/2012**

**HAZİRAN-2012**

**T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NUMUNE MESNET ARALIĞI VE BOYUTUNUN BETONUN ÇARPMA  
DAYANIMINA ETKİSİ**

**YÜKSEKLİSANS TEZİ**

**Hakan KINA**

**(092125105)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26/06/2012**

**Tezin Savunulduğu Tari : 17/07/2012**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)**

**Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü)**

**HAZİRAN-2012**

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan, katkılarını esirgemeyen ve bana yol gösteren değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI ve çalışmanın her aşamasında büyük bir özveriyle yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Zafer KOCALMIŞ ve deneysel çalışmalarım sırasında teknik desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Yapı Eğitimi Bölümü sayın hocalarına ve teknik personeline sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini ve emeklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

**Hakan KINA**  
**ELAZIĞ-2012**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ.....                                                                                        | II  |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                  | III |
| ÖZET.....                                                                                         | V   |
| SUMMARY.....                                                                                      | VI  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                                                             | VII |
| TABLolar LİSTESİ.....                                                                             | IX  |
| SEMBOLLER LİSTESİ.....                                                                            | X   |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                     | 1   |
| 2. BETON ve GENEL ÖZELLİKLERİ.....                                                                | 4   |
| 2.1. Taze Betondan Beklenen Performans.....                                                       | 5   |
| 2.1.1. Taze Betonun Özellikleri.....                                                              | 5   |
| 2.1.1.1. İşlenebilme.....                                                                         | 6   |
| 2.1.1.2. Kıvam.....                                                                               | 6   |
| 2.1.1.3. Segregasyon (Ayrışma).....                                                               | 7   |
| 2.1.1.4. Terleme.....                                                                             | 7   |
| 2.1.1.5. Priz Süresi.....                                                                         | 8   |
| 2.1.1.6. Birim Ağırlık.....                                                                       | 8   |
| 2.1.1.7. Üniformite.....                                                                          | 9   |
| 2.2. Sertleşmiş Betondan Beklenen Performans.....                                                 | 9   |
| 3. BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....                                                               | 11  |
| 3.1. Basınç Dayanımı.....                                                                         | 12  |
| 3.1.1. Betonun Basınç Dayanımıyla Diğer Dayanımları Arasındaki İlişkiler.....                     | 13  |
| 3.2. Çekme Dayanımı.....                                                                          | 14  |
| 3.2.1. Doğrudan Çekme Dayanımı.....                                                               | 16  |
| 3.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı (Dolaylı Çekme Dayanımı).....                                       | 17  |
| 3.2.3. Eğilme Dayanımı.....                                                                       | 18  |
| 3.2.4. Yorulma Dayanımı.....                                                                      | 20  |
| 3.2.5. Gerilme-Birim, Defarmasyon İlişkisi, Poisson Oranı, Elastislik Modülü ve Kayma Modülü..... | 21  |
| 3.2.6. Sünme.....                                                                                 | 22  |
| 3.3. Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler.....                                                    | 23  |
| 3.3.1. Deney Yöntemiyle İlgili Faktörler.....                                                     | 24  |
| 3.3.1.1. Numune Boyutu ve Geometrisinin Dayanıma Etkisi.....                                      | 24  |
| 3.3.1.2. Yükleme Hızının Dayanıma Etkisi.....                                                     | 24  |
| 3.3.1.3. Numunenin Su İçeriği ve Yüzey Islaklığı.....                                             | 24  |
| 3.3.1.4. Numune Bakımı ve Deney Ortamının Sıcaklığı.....                                          | 25  |
| 3.3.2. Deney Yönteminden Bağımsız Olan Etmenler.....                                              | 25  |
| 3.3.2.1. Sıkıştırma Düzeyinin Dayanıma Etkisi.....                                                | 25  |
| 3.3.2.2. Betonun Yaşının Dayanıma Etkisi.....                                                     | 25  |
| 3.3.2.3. Çimento Miktarının Dayanıma Etkisi.....                                                  | 26  |
| 3.3.2.4. Su/Çimento Oranının (Kıvamın) Basınç Dayanımına Etkisi.....                              | 26  |
| 3.3.2.5. Agrega Gronülometrisinin ve En Büyük Agrega Çapının Basınç Dayanımına Etkisi.....        | 27  |
| 3.3.2.6. Kompositenin Basınç Dayanımına Etkisi.....                                               | 28  |
| 3.3.2.7. Katkı Maddelerinin Basınç Dayanımına Etkisi.....                                         | 28  |
| 3.3.3. Kür Ortamındaki Nem ve Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi.....                            | 29  |

|           |                                                             |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.3.1.  | Nemin Basınç Dayanımına Etkisi.....                         | 29        |
| 3.3.3.2.  | Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi.....                    | 29        |
| <b>4.</b> | <b>ÇARPMA DAYANIMI.....</b>                                 | <b>30</b> |
| 4.1.      | Charpy Deney Metodu.....                                    | 31        |
| 4.2.      | Betonda Çarpma Dayanımı İle İlgili Literatür Çalışması..... | 33        |
| <b>5.</b> | <b>MATERYAL ve METOT.....</b>                               | <b>39</b> |
| 5.1.      | Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....                        | 39        |
| 5.1.1.    | Çalışmada Kullanılan Agregalar.....                         | 40        |
| 5.1.2.    | Çalışmada Kullanılan Çimento.....                           | 40        |
| 5.1.3.    | Karışım Suyu.....                                           | 41        |
| 5.1.4.    | Numune Kalıpları.....                                       | 41        |
| 5.2.      | Numunelerde Uygulanan Deneyler.....                         | 43        |
| 5.2.1.    | Basınç Dayanımı Deneyi.....                                 | 43        |
| 5.2.2.    | Eğilmede Çekme Deneyi.....                                  | 44        |
| 5.2.3.    | Yarmada Çekme Deneyi.....                                   | 46        |
| 5.2.4.    | Çarpma Dayanımı Deneyi.....                                 | 47        |
| <b>6.</b> | <b>BULGULAR.....</b>                                        | <b>51</b> |
| 6.1.      | Çarpma Dayanımı.....                                        | 51        |
| 6.2.      | Basınç Dayanımı.....                                        | 55        |
| 6.3.      | Eğilmede Çekme Dayanımı.....                                | 58        |
| 6.4.      | Yarmada Çekme Dayanımı.....                                 | 61        |
| <b>7.</b> | <b>SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>                               | <b>64</b> |
| <b>8.</b> | <b>KAYNAKLAR.....</b>                                       | <b>65</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                        | <b>68</b> |

## ÖZET

Beton ve betonarme elemanlar kullanım yerlerine göre farklı etkilere maruz kalırlar. Bu etkilerden basınç ve çekme kuvvetlerine karşı betonun davranışı üzerine bir çok araştırma yapılmış olmasına karşın betonda çarpma dayanımı etkileri yeterince araştırılmamıştır. Betonarme yapıların etkisi altında kaldığı, davranışı en az bilinen yükleme tipi çarpma yüklemesidir.

Bu çalışmada numune mesnet aralığı ve boyutunun betonun çarpma dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, çarpma mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deneylerde max. agreg a çapı 16 mm. olan, üç farklı  $a/D$  oranına (0,1-0,2 ve 0,3) ve iki farklı  $L/D$  oranına (2,5 ve 4) sahip 6 seri numune hazırlanmıştır.

Hazırlanan her serideki numunelerin basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme ve çarpma dayanımlarının belirlenmesi için deneyler yapılmıştır.

Deneyler sonucunda, mesnet aralığı arttıkça numunenin kırılması için gereken enerjinin azaldığı, boyut arttıkça da kırılması için gereken enerjinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Basınç Dayanımı, Çarpma Dayanımı, Charpy Metodu, Mesnet Aralığı

## SUMMARY

Concrete and reinforced concrete elements are exposed to different effects according to place of use. A lot of researches have been done for some of these effects like the behaviors of concrete against the compressive and tensile forces but the effect of impact resistance has not been investigated sufficiently. The least well known loading type is the impact loading that are affecting on to RC structures.

In this study, it was investigated the effect sample of support spacing and size of sample to concrete of impact strength. At carried out tests to determine of impact resistance, 6 series specimens has prepared that they has got max. aggregate size 16 mm and three different  $a/D$  ratios (0,1-0,2 and 0,3) and two different  $L/D$  ratios (2,5 and 4).

There were some experiments for determining the compressive strength, strength of flexural, strength of splitting and strength of impact for the prepared samples.

As a result of the experiments, the energy requirement to break the sample decreases with increasing range of simple support and also the energy requirement to break the sample increased with increasing length of simple support .

**Keywords:** Concrete, Compressive Strength, Strength of Impact, Method of Charpy, Range of Support



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

|             |                                                                                                              |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1.  | Beton numuneye basınç yükü uygulanması.....                                                                  | 12 |
| Şekil 3.2.  | Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti.....                                                         | 14 |
| Şekil 3.3.  | Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti.....                                                              | 15 |
| Şekil 3.4.  | Beton numuneye doğrudan çekme yükü uygulanabilmesine dair bazı örnekler.....                                 | 16 |
| Şekil 3.5.  | Yarma deneyi uygulama düzeni.....                                                                            | 17 |
| Şekil 3.6.  | Yarma deneyi.....                                                                                            | 18 |
| Şekil 3.7.  | Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi.....                                     | 19 |
| Şekil 3.8.  | Uzunluğu L olan kirişin uçlardan L/3 uzaklıktaki mesafelerde yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi..... | 19 |
| Şekil 3.9.  | Malzemelerin yorulma özellikleri.....<br>(a)çelik (b)beton                                                   | 21 |
| Şekil 3.10. | Betonun tipik sünme eğrisi.....                                                                              | 23 |
| Şekil 4.1.  | Charpy deney düzeneği.....                                                                                   | 32 |
| Şekil 5.1.  | Çarpma deneyinde kullanılan kalıplar.....                                                                    | 42 |
| Şekil 5.2.  | Çarpma deneyinde kullanılan kalıplar.....                                                                    | 42 |
| Şekil 5.3.  | Çarpma deneyinde kullanılan kalıplar.....                                                                    | 42 |
| Şekil 5.4.  | Basınç dayanımı deney düzeneği.....                                                                          | 43 |
| Şekil 5.5.  | Basınç dayanımı sonucunda numunelerin kırılma şekli.....                                                     | 44 |
| Şekil 5.6.  | Eğilme yükü altında kırılma deney düzeneği.....                                                              | 45 |
| Şekil 5.7.  | Eğilme yükü altında numunelerin kırılma şekli.....                                                           | 45 |
| Şekil 5.8.  | Eğilme yükü altında numunelerin kırılma şekli.....                                                           | 45 |
| Şekil 5.9.  | Yarmada çekme deney düzeneği.....                                                                            | 46 |
| Şekil 5.10. | Yarmada çekme numunesinin kırılma şekli.....                                                                 | 47 |
| Şekil 5.11. | Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi.....                                                      | 48 |
| Şekil 5.12. | Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi.....                                                      | 48 |
| Şekil 5.13. | Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi.....                                                      | 48 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.14. Charpy deney düzeneğinde numunenin kırılma şekli.....                                | 49 |
| Şekil 5.15. Charpy deney düzeneğinde numunenin kırılma şekli.....                                | 49 |
| Şekil 5.16. Charpy deney düzeneğinde numunenin kırılma şekli.....                                | 49 |
| Şekil 5.17. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin $L/D=4$ oranına göre ortalamaları.....   | 52 |
| Şekil 5.18. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin $L/D=2,5$ oranına göre ortalamaları..... | 52 |
| Şekil 5.19. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin ( $U_{ort}$ ) ortalamaları.....          | 53 |
| Şekil 5.20. $L/D=4$ oranına göre $\bar{C}_{ort}$ değerleri.....                                  | 53 |
| Şekil 5.21. $L/D=2,5$ oranına göre $\bar{C}_{ort}$ değerleri.....                                | 54 |
| Şekil 5.22. Çarpma dayanımı ortalamaları.....                                                    | 54 |
| Şekil 5.23. Basınç dayanımında $L/D=4$ oranına göre $q_{ort}$ değerleri.....                     | 56 |
| Şekil 5.24. Basınç dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre $q_{ort}$ değerleri.....                   | 56 |
| Şekil 5.25. Basınç dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki $q_{ort}$ değerleri.....               | 57 |
| Şekil 5.26. Eğilmede çekme dayanımında $L/D=4$ oranına göre $q_{ort}$ değerleri.....             | 59 |
| Şekil 5.27. Eğilmede çekme dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre $q_{ort}$ değerleri.....           | 59 |
| Şekil 5.28. Eğilmede çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki $q_{ort}$ değerleri.....       | 60 |
| Şekil 5.29. Yarmada çekme dayanımında $L/D=4$ oranına göre $q_{ort}$ değerleri.....              | 62 |
| Şekil 5.30. Yarmada çekme dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre $q_{ort}$ değerleri.....            | 62 |
| Şekil 5.31. Yarmada çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki $q_{ort}$ değerleri.....        | 63 |

## TABLÖLER LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. Değişik kıvamlardaki betonların çökme değerleri.....                              | 6  |
| Tablo 2.2. Yapı betonlarının değişik özelliklerine ait tipik değerler.....                   | 10 |
| Tablo 3.1. Betonun Çekme, Eğilme ve Kesme Dayanımları.....                                   | 14 |
| Tablo 5.1. Karışıma giren malzeme miktarları.....                                            | 40 |
| Tablo 5.2. Karışıma giren agregaların fiziksel özellikleri.....                              | 40 |
| Tablo 5.3. Karışıma giren çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....                   | 40 |
| Tablo 5.4. Çarpma dayanımının belirlenmesi için kullanılan numune boyutları....              | 41 |
| Tablo 5.5. $U_{ort}$ ve $\bar{C}_{ort}$ değerleri.....                                       | 51 |
| Tablo 5.6. Serilerin basınç dayanımları ve $q_B$ değerleri .....                             | 55 |
| Tablo 5.7. Eğilmede çekme dayanımı ortalamaları ( $F_{ct,ort}$ ) ve $q_{ort}$ değerleri..... | 58 |
| Tablo 5.8. Yarmada çekme dayanımı ortalamaları ( $F_{ct,ort}$ ) ve $q_{ort}$ değerleri.....  | 61 |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|              |                                                                                  |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $F_c$        | : Numunenin basma dayanımı                                                       |
| $P$          | : Kırılma yükü                                                                   |
| $A$          | : Yükün uygulandığı alan                                                         |
| $F_{ct}$     | : Betonun çekme dayanımı                                                         |
| $L$          | : Silindir numunenin boyu                                                        |
| $D$          | : Silindir numunenin çapı                                                        |
| $Q_e$        | : Eğilme dayanımı                                                                |
| $M$          | : Maksimum moment                                                                |
| $c$          | : Tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık, $d/2$ |
| $d$          | : Kiriş kesitinin yüksekliği                                                     |
| $b$          | : Kiriş kesitinin eni                                                            |
| $I$          | : Atalet momenti                                                                 |
| $\epsilon$   | : Birim deformasyon                                                              |
| $\Delta L$   | : Toplam deformasyon                                                             |
| $M\check{C}$ | : 1 m <sup>3</sup> sıkıştırılmış karışım için en az çimento miktarı, kg          |
| $U$          | : Kırılma için gerekli enerji                                                    |
| $G$          | : Sarkacın ağırlığı                                                              |
| $\check{C}$  | : Çarpma dayanımı                                                                |
| $h_0$        | : Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği                                   |
| $h$          | : Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği                                   |
| $\beta$      | : Düşme açısı                                                                    |
| $\alpha$     | : Yükselme açısı                                                                 |

## 1. GİRİŞ

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın ve en popüler malzeme durumundadır. Bunun nedeni, diğer yapı malzemelerine göre betonun sahip olduğu üstünlüklerden ileri gelmektedir. Beton hammaddesinin doğada bol miktarda bulunması, kolayca istenilen şekli alabilmesi, uzun yıllar hizmet vermesi, dayanıklılık ve ekonomik olarak çok uygun malzeme olması açısından vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Dünya nüfusunun hızla artması ve inşaat teknolojisinin büyük bir hızla gelişmesi ile başta konutlar olmak üzere, fabrikalar, köprüler, barajlar yollar ve buna benzer birçok yapılarda beton kullanılması, bu malzemenin önemini daha da artırmaktadır. Betonun özellikleri önce, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton karışımında kullandıkları miktarlara bağlıdır. Bunun yanı sıra uygulanan karılma, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltilmesi işlemleri taze betona uygulanan kür yöntemi ve kür süresi, beton özelliklerini etkileyen çok önemli faktörlerdir [1].

Değişik yapılarda, değişik iklimlerde ve değişik ortamlarda kullanılan betonların sahip olmaları istenilen işlenebilme, priz süresi, dayanım kazanma hızı, dayanım miktarı ve dayanıklılık gibi özellikler farklı olabilmektedir. Bir başka deyişle, değişik koşullar için değişik özellikte beton gerekmektedir. İstenilen özelliklerdeki iyi beton çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin karışımından üretilmektedir. İstenilen kalitedeki betonun doğru yerde, doğru tarzda kullanılabilmesi için beton özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bilimsel araştırmaların sonuçlarına göre beton, yapılardaki çatlamalara ve çökmelere neden olan hataların yaklaşık yüzde doksanı ya iyi malzeme seçilmemesinden ve istenilen özelliklere sahip beton üretilmemesinden, ya da üretilen betonun yapıda gereken özenle kullanılmamasından yapım hatalarından kaynaklanmaktadır. Bilgisiz veya yarı ilgili kişilerin çimento su ve agregayı rasgele kararak elde ettikleri ve dikkatsizce kullandıkları betonun insanlara büyük sıkıntılar verebileceğini unutmamak gerekmektedir. Oysa beton, insan yaşamının can güvenliği ve ekonomik açılarından önemli yeri bulunan, hiçbir zaman hafife alınmaması gereken bir malzemedir [2].

Betonun istenilen dayanım özelliklerini göstermesi, standartlara uygun olarak üretilmesi, taşınması, ayrışmadan ve boşluğu en az olacak şekilde sıkıştırılıp, yerleştirilmesine ve sertleştikten sonra çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını sağlaması için gerekli bakım ve kür şartlarının sağlanmasına bağlıdır. Betondan beklenen özellikler, taze halde işlenebilme sertleşmiş halde iken mekanik

dayanım ve dış koşullara karşı dayanıklılıktır. Betonun mekanik, fiziksel ve kimyasal gibi dış etkiler ile kendi iç yapısında zaman içerisinde meydana gelecek şekil değişikliklerinin belirli değerleri aşmaması gerekir. Betonun mukavemet ve dayanıklılığını etkileyen faktörler; taze betonda kullanılan agrega türü, çimento türü ve miktarı, karışım suyu, su/çimento oranı, kimyasal ve mineral katkı maddesine bağlıdır. Sertleşmiş betonda ise, taze betonun uygun olarak taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi, hidrasyon sağlaması için kür edilmesi işlemlerinin yapılmasına bağlıdır [1].

Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti, sırasıyla; basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Bir diğer özellikleri en az bilinen yüklemelerden biride çarpma dayanımıdır. Çarpma yüklemesi statik yükler gibi kalıcı ve etki özellikleri (süresi, büyüklüğü) belirli olmamakla birlikte anlık şiddeti diğer yüklemelere göre çok daha fazla değerlere ulaşmaktadır [3].

Teknolojik gelişmelerle birlikte çelik, beton gibi temel yapı malzemelerinin çarpma gibi farklı yükler altında gösterdikleri davranış biçimi daha da önem kazanmıştır. Örneğin nükleer santrallerde reaksiyonlar sırasında ortaya çıkan yükler kısa sürede, çok büyük değerlere ulaşabilmektedir. Çok fazla sayıda insanın yaşadığı, askeri önemi olan veya stratejik olarak çok önemli yapıların çarpma etkilerini de göz önüne alarak tasarlanmaları bir gereklilik haline gelmiştir [4]. Çarpma deneyleri yakın tarihimize kadar temel yapı malzemelerinden olan çelik üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat betonun aktif kullanımı yaygınlaştıkça, çarpma etkisi altında davranışı önem kazanmaya başlamıştır. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda deney metotları ve prosedür hakkında herhangi bir standart oluşturulamamıştır [5].

Malzemelerin bünyelerindeki süreksizlikler, betondaki hava boşlukları, kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin katılık ve mukavemetlerindeki değişiklikler gibi durumların olması dolayısıyla, uygulamada, klasik mekanikteki gerilme esaslı yapılan hesaplara göre daha büyük gerilmeler oluşur. Genellikle gerilme yığılmalarını oluşturan büyük gerilmeler, elemanın sadece küçük bir kısmında toplanır. Birçok geometrik şekillerde, özellikle gerilmenin yüksek olduğu yerlerde, bölgesel, matematiksel bir analiz zor veya uygulanamaz olabilir [6]. Günümüzde betonarme yapıların tasarımı yapılırken beton dayanımı esas alınır. Ancak dayanım da boyuta bağlıdır ve betonun gevrekliği ihmal

edilmektedir [7]. Boyutlandırma işleminde, basınç kırılmasından uzak kalınması gerektiği dizayn şartnamesinde belirtilmiştir [8]. Özellikle farklı boyutlu yapılar için aynı güvenliğe ulaşmak mümkündür. Bununla yapısal güvenlik ve ekonomi arttırılır. Böylece yeni beton malzeme ve yeni tasarım yönetmeliklerinin kullanılma olasılığı artacaktır [9].

## 2. BETON ve GENEL ÖZELLİKLERİ

Çimento, su, agrega ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen beton bu malzemelerin karılmasını takibeden üç-dört saat gibi kısa bir süre içerisinde, plastik (şekil verilebilir) bir karışım durumundadır; zaman ilerledikçe, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların daha çok gelişmesiyle, katılaşp sertleşmektedir. Hem taze betondan hem de sertleşmiş betondan beklenen bir çok özellikler vardır: taze beton; yeterince, işlenebilmeye sahip olmalıdır, yani, üniform, kolayla karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır; yerine yerleştirilen taze betonda mümkün olabildiği kadar az terleme ( su salma) yer almalı, priz süresi kullanım amacına uygun olmalıdır. Sertleşmiş beton ise; istenilen süre içerisinde yeterli dayanımı gösterebilmeli, yeterli dayanıklılığa ve hacim sabitliğine sahip olmalıdır. Bu özellikleri sağlayabilecek beton en ekonomik tarzda elde edilmelidir. Betonun özellikleri, önce betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton karışımında kullanıldıkları miktarlara bağlıdır. Değişik yapılarda, değişik iklimlerde ve değişik ortamlarda kullanılan betonların sahip olmaları istenilen işlenebilme, priz süresi, dayanım kazanma hızı, dayanım miktarı ve dayanıklılık gibi özellikler farklı olabilmektedir. Bir başka deyişle, değişik koşullar için değişik özellikte beton gerekmektedir. İstenilen özellikteki iyi beton, çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin karışımından üretilmektedir. Öte yandan, kötü beton da, bu malzemelerden üretilmektedir. Beton, bir başka çok popüler yapı malzemesi olan çelik gibi fabrikada kontrol altında üretilerek kullanıma hazır bir malzeme olmadığı için, istenilen kalitedeki betonun üretiminde kullanılacak malzemeler özenle seçilmeli, malzeme karışım oranları iyi saptanmalı, malzemelerin karılma işlemi, taze betonun taşınma, yerleştirilme, sıkıştırılma işlemleri ve betona uygulanması gereken kür uygun tarzda yerine getirilmelidir. İstenilen kalitedeki betonun, doğru yerde, doğru tarzda kullanılabilmesi için, beton özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir [1].

Bilimsel araştırmaların sonuçlarına göre, beton yapılardaki çatlamalara ve çökmelere neden olan hataların yaklaşık yüzde doksanı, ya iyi malzeme seçilmemesinden ve istenilen özelliklere sahip beton üretilmemesinden, ya da, üretilen betonun yapıda gereken özenle kullanılmamasından, yapım hatalarından kaynaklanmaktadır [1].



## 2.1. Taze Betondan Beklenen Performans

Taze beton, kolayca karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir, ve yüzeyi düzeltiler olabilir olmalıdır; bu işlemler sırasında iri agregalarla çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır. (Bu özelliklerin tümü “işlenebilir” olarak tanımlanmaktadır.)

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun yukarıya çıkma eğilimi (terleme) mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Betonun homojen yapısı bozulmamalıdır [1].

Ayrıca, malzemelerin karılmasından hemen sonra plastik duruma sahip bir betonda, plastikliğin kaybolmasına kadar geçen sürenin uzunluğu (priz süresi), gerekenden daha uzun veya daha kısa olmamalıdır [1].

### 2.1.1. Taze Betonun Özellikleri

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılmaktadır [1].

Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen büyüklükteki dayanımın, dayanıklılığın ve hacim sabitliğinin elde edilebilmesi için, taze betonun aşağıda sıralanan özellikleri göstermesi gerekmektedir:

Beton üretimi için bir araya getirilen malzemeler, betonun içerisinde üniform bir dağılım gösterecek tarzda, “kolayca karılabilir” olmalıdır.

- 1- Taze beton, üniformitesi bozulmadan, “kolayca taşınabilir” olmalıdır.
- 2- Kalıplardaki yerine yerleştirilecek taze beton, üniformitesi bozulmadan, kalıp içerisindeki her noktaya ulaşabilecek tarzda, “kolayca yerleştirilebilir” olmalıdır.
- 3- Yerine yerleştirilen beton, üniformitesi bozulmadan, “kolayca sıkıştırılabilir” olmalıdır.
- 4- Yerine yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun içerisinde bulunan su, hidrasyonun devam edebilmesi için, mümkün olabildiği kadar betonun içerisinde kalmalı, yüzeye çıkarak kaybolmamalıdır.
- 5- Kalıba yerleştirilen ve sıkıştırma işlemi yapılan taze betonun “yüzeyi kolayca düzeltiler olabilir” olmalıdır.
- 6- Taze betonun “priz süresi, betonun kullanılacağı ortama uygun uzunlukta olmalıdır” [1].

### 2.1.1.1. İşlenebilme

Taze betonun “kolayca karılabilmesi, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi, ve yüzeyinin düzeltilebilmesi”, betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstermektedir. O halde, bu özelliklerin tümü, “işlenebilme” adı altında tek bir özellik olarak ifade edilebilmektedir [1].

İşlenebilme, taze betonun katılaşma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özellik olduğundan, betonun karılma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılaşma göstereceği (yani priz süresi), betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemli olmaktadır. Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların yer alma hızı (hidratasyon hızı), priz süresinin kısalığını veya uzunluğunu etkileyen önemli bir faktördür. İşlenebilme, taze betonun en önemli özelliğidir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan taze beton, sertleştğinde yeterli dayanımı ve dayanıklılığı gösteremez [1].

### 2.1.1.2 Kıvam

“Kıvam”, “taze beton karışımının ıslaklık derecesi” anlamına gelmektedir. (Kıvam teriminin taze betondaki su miktarı olarak tanımlanması yanlıştır. Kıvam, betonun ne ölçüde ıslak veya kuru olduğunu tanımlamaktadır.)

Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak, beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira, aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir; yani, bu tür betonlar yeterli işlenebilmeye sahip olamamaktadırlar [1].

Tablo 2.1.’de değişik kıvamlardaki betonların çökme değerleri verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Değişik kıvamlardaki betonların çökme değerleri

| Beton Kıvamı | Çökme Değeri, cm |
|--------------|------------------|
| Aşırı kuru   | ....             |
| Çok kuru     | ....             |
| Kuru         | 0-2.5            |
| Kuru-Plastik | 2.5-5.0          |
| Plastik      | 7.5-10.0         |
| Akıcı        | 15.0-17.5        |

### **2.1.1.3. Segregasyon (Ayrışma)**

Beton karışımı içerisinde yer alan malzemelerin homojen bir tarzda dağılmış olmaları ve betonun yeterli kohezyona sahip olması istenir. Taze betonun içerisinde yer alan iri agrega ile çimento harcının herhangi bir nedenle ayrışma göstermesi “segregasyon” olarak adlandırılmaktadır [1].

Taze betonun segregasyon yapması, beton yapısının heterojen olmasına yol açar; aynı beton karışımının bazı bölgelerinde daha iri agregalar ve çimento hamuru birikmiş olur, bazı bölgelerinde ise ince agrega ve çimento hamurundan oluşan çimento harcı yer almış olur. Bu durum, aynı beton karışımının değişik bölgelerindeki dayanım, dayanıklılık gibi özelliklerin farklı olmasının neden olur.

Betonun segregasyonuna yol açan nedenler şu şekilde sıralanabilir:

- Malzeme oranları ve özellikleri,
- Beton üretiminde kullanılan malzemelerin karılma işleminin yeterince yapılmamış olması,
- Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işleminin uygun tarzda ve uygun süreyle yapılmaması [1].

### **2.1.1.4. Terleme**

Taze betonun yerine yerleştirilmesinden hemen sonra, katı parçacıkların yerçekimi etkisiyle dibe doğru, ve suyun yukarı doğru hareket etme eğilimi bulunmaktadır. Taze betonun üst yüzeyine kadar erişebilen bir miktar su, bazen çok sık bir su birikintisi yaratıp buharlaşmakta, bazen de doğrudan doğruya buharlaşarak kaybolmaktadır [1].

Beton üst yüzeyine erişemeyen bir miktar su da, yüzeye yakın bir bölgede toplanmış olmakta ve bu bölgenin su/çimento oranı yüksek ve dolayısı ile zayıf bir betondan oluşmuş olmasına yol açmaktadır.

Taze betonun içerisindeki suyun beton yüzeyine çıkma eğilimine “terleme” denilmektedir. Bu olay, “su kusma”, veya “kusma” olarak ta anılmaktadır [1].

#### **2.1.1.5. Priz Süresi**

Betonu oluşturacak malzemelerin karılmasıyla elde edilen taze beton, plastik (şekil verilebilir) bir karışım durumundadır. Karılma işleminden sonra başka hiçbir işlem yapılmadan beton kendi haline bırakıldığı takdirde bile, ilk anlardaki plastiklik giderek azalmakta ve bir süre sonra beton, şekil verilemeyecek kadar katı bir duruma gelmektedir. Katılaşma olayını takiben, zaman ilerledikçe, beton daha da katı, sert bir malzeme durumunu kazanmaktadır [1].

Priz başlama süresinin uzunluğu, ya da kısalığı, betonun işlenebilirliği bakımından oldukça önemlidir. Priz süresi, betonda katılaşma olmadan önceki süreyi ifade ettiğinden, bu sürenin, betonun taşınabilmesine, kalıplara yerleştirilebilmesine, sıkıştırılabilmesine ve yüzeyinin düzeltilbilmesine yetecek uzunlukta olması gerekmektedir. Genel olarak, priz başlama süresini bir saatten az olmaması istenir. Bazen, betonun kullanıldığı uygulama koşullarına bağlı olarak, priz süresini yukarıda bahsedilen süreden çok daha az veya çok fazla olması da arzu edilebilmektedir. Böyle durumlarda, betonun karılma işlemi esnasında, betonu oluşturan malzemelere ek olarak priz hızlandırıcı veya priz geciktirici katkı maddeleri katılmaktadır [1].

#### **2.1.1.6. Birim Ağırlık**

“Birim ağırlık”, kelime anlamından da anlaşılabileceği gibi, bir birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığını belirtmektedir. Betonun birim ağırlığı, genellikle,  $\text{kg/m}^3$  veya  $\text{ton/m}^3$  olarak ifade edilmektedir [1].

Betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluk miktarına bağlı olmaktadır. Özgöl ağırlığı yüksek olan agregaların oluşturduğu betonun birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Öte yandan, içerisinde daha çok hava boşlukları bulunduran betonun birim ağırlığı daha düşük olmaktadır.

Taze betonun birim ağırlığının bilinmesi, beton karışım hesapları için gereklidir. Taze betonun, kendi içerisinde veya aynı malzeme oranları ile üretilmiş diğer betonlarla benze özellikler göstermesi gerekmektedir [1].

### 2.1.1.7. Üniformite

Beton üretimi için gerekli olan malzemelerin tipleri ve kullanılacakları oranlar beton üretimine başlamadan önce kararlaştırılmaktadır. Malzeme tiplerinin seçiminde ve malzeme oranlarının hesaplanmasında, üretilmek istenen betondan elde edilmek istenen işlenebilme, dayanım ve dayanıklılık gibi önemli özellikler göz önünde tutulmaktadır [1].

Hedeflenen kalitedeki betonu üretebilmek için, malzeme özelliklerinin ve oranlarının doğru seçilmiş olmalarının yanı sıra, malzemelerin uygun yöntemlerle ve uygun tarzda bir araya getirilmeleri ve karılmaları gerekmektedir [1].

Bir beton karışımını oluşturacak miktardaki (yani, tek bir karışım için gerekli) malzemelerin topluluğuna “beton malzemeleri harmanı” denilmektedir. Bir “beton malzemeleri harmanını” oluşturan malzemelerin karılması ile elde edilen belirli miktardaki taze betona ise, “beton harmanı” ismi verilmektedir.

Aynı kalitede olmak üzere değişik zamanlarda yapılmış olan beton harmanlarındaki işlenebilme, birim ağırlık, dayanım ve diğer özelliklerin de benzer olmaları gerekmektedir. “Üniformite”, aynılık, tamamen benzerlik anlamına gelmektedir [1].

## 2.2. Sertleşmiş Betondan Beklenen Performans

İster yapıdaki kalıbına yerleştirilerek elde edilen beton elemanların üretilmesinde, isterse ön yapımlı beton elemanların üretilmesinde, üreticinin ve kullanıcının son hedefi, sertleşmiş durumdaki betonun, kendisinden beklenen özellikleri gösterebilecek kalitede olmasıdır [1].

Sertleşmiş betondan beklenen özellikler şu şekilde belirlenebilir: sertleşmiş beton;

- 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az dayanım göstermemelidir.
- Çevresindeki suyun ve diğer sıvıların betonun içerisine kolayca girerek olumsuz etki yaratmaması için, yeterince geçirimsiz olmalıdır.
- Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Bir başka deyişle, donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğumaya, aşınmaya, asitlere, sülfatlara ve alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır.

- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani çatlamalara yol açacak ölçüde büzülme (rötre) veya genleşme göstermemelidir [1].

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme-birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, Poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, rötre, sabit yükler altında sünme ve yorgunluk, betonda aranan önemli özelliklerdir.

Tablo 2.2.'de bilgi için, yapı betonlarının değişik özelliklerine ait tipik değerler gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** Yapı betonlarının değişik özelliklerine ait tipik değerler

| Özellikler                                                       | Tipik Değerler                       |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Basınç Dayanımı                                                  | 35 MPa                               |
| Eğilme Dayanımı                                                  | 6 Mpa                                |
| Çekme Dayanımı                                                   | 3 Mpa                                |
| Elastislik Modülü                                                | 28000 Mpa                            |
| Poisson Oranı                                                    | 0.20                                 |
| Kırılmadaki Çekme Birim Deformasyonu                             | 0.001                                |
| Isısal Genleşme Katsayısı                                        | $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ |
| Rötre Birim Deformasyonu                                         | %0.05-0.1                            |
| Yoğunluk                                                         |                                      |
| Normal Ağırlıklı Beton                                           | 2350 kg/m <sup>3</sup>               |
| Hafif Beton                                                      | 1800 kg/m <sup>3</sup>               |
| Not: 1Mpa $\approx$ 10 kgf/cm <sup>2</sup> = 1 N/mm <sup>2</sup> |                                      |

### 3. BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Beton, çimento, doğal veya yapay iri agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkının karıştırılması ile yapılan ve çimentonun hidratasyonu ile dayanım kazanan malzemedir [10]. Burada çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasesini artırır. Çakıl veya kırmataş taneleri betonda iskelet görevi yaparak, dış kuvvetlere karşı koyarlar. Betonun mühendislik uygulamasında istenen bir çok özeliğinin yanı sıra bazı istenmeyen özellikleri de bulunmaktadır. Ancak, bunların üstesinden gelebilmek için beton üreticiye ve kullanıcıya bir çok olanak sağlar. Çelik donatı kullanılarak düşük çekme dayanımı dezavantajının azaltılması, çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılarak çeşitli özelliklerinin daha da iyileştirilmesi bu olanaklara örnek olarak verilebilir [11].

Günümüz yapı dünyasında geniş bir kullanım alanı bulunan beton, üretim ve uygulamaya kadar her aşamasında son derece dikkat ve özen gerektiren bir yapı malzemesi olarak hayatımıza girmiştir. Bir yapının taşıyıcı iskeletini oluşturan betonarme uygulamalarında kullanılan betonun standartlara uygun olarak yüksek kalite ve mukavemet sınıflarında üretilmiş olması, hayati önem arz etmektedir. Bu durumda beton malzemelerine ilişkin bilgiler giderek artmakta buna bağlı olarak ta agregalar, bağlayıcılar, katkı malzemeleri, beton yapım, döküm ve koruma şartları azami standartları sağlamak zorunda kalmaktadır [10].

“Beton dayanımı”, “üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme” olarak tanımlanmaktadır [10]. Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti sırasıyla, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma dayanımı olarak adlandırılmaktadır. Tekrarlı yüklerin etkisi altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyetine ise yorulma dayanımı denilmektedir [1].

Betonun basınç dayanımını etkileyen birçok faktörün birlikte değerlendirilmesiyle, alışlagelmişten çok daha az çimento kullanılarak bile daha dayanımlı beton elde etmek mümkündür. Ya da, tam tersine, bilgisizce hazırlanıp yerleştirilen bir betonda, beklenilenden çok aşağıda basınç dayanımı olabilmektedir. Beton dayanımının çok yaygın

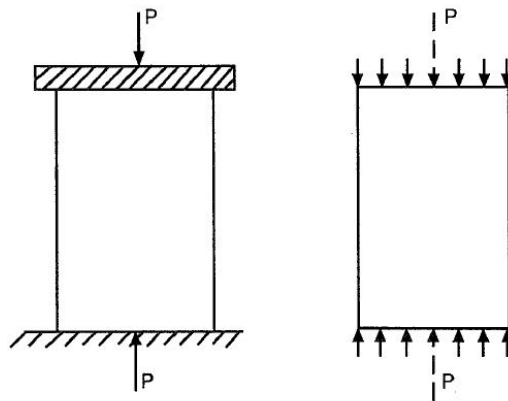
bilindiği gibi yalnızca içindeki çimento miktarına bağlı olmadığını, onun kadar etken başta faktörlerin de var olduğu vurgulanmıştır [11].

Betonun basınca karşı dayanımı olumlu ve olumsuz yönde olmak üzere birçok etken tarafından etkilenmektedir. Bu etkenler agrega türü ve gratasyonu, çimento türü ve miktarı, su/çimento oranı, betonun bakımı, kimyasal ve mineral katkı maddesi kullanımı, taze betonun üretim metodu, karıştırılma süresi, karışım aşamaları, yerleştirme metotlarındaki değişkenler şeklinde sıralanabilir [11].

### 3.1. Basınç Dayanımı

Beton numunelerinin basma dayanımı, TS'ye uygun olarak saklanan numuneler üzerinde tayin edilir. Beton basma dayanımı 150 mm veya 200 mm boyutlarındaki Standard küp numuneler veya çapı 150 mm yüksekliği 300 mm olan standard silindir numuneler kullanılarak saptanır. Bir deneyde kullanılacak olan tüm numuneler aynı koşullarda hazırlanmalı ve sıkıştırılmalıdır. 24 saat süreyle hava cereyanından uzak bir yerde bekletildikten sonra numuneler kalıptan çıkarılır ve kür tankında su içinde veya bakım (kür) odasında  $95 \pm 5\%$  bağıl nemli ortamda  $23 \pm 2$  °C sıcaklıkta deney zamanına kadar tutulur [12].

Basma dayanımı deneyi yapılmadan önce, silindir numunelerin alt ve üst yüzeyleri çimento hamuru, ince harç veya kükürtle başlıklanır. Numuneler uygun bir basma deneyi aletinde uygulanan gerilme hızı saniyede  $0.15 \text{ N/mm}^2$  -  $0.35 \text{ N/mm}^2$  olacak şekilde ayarlanarak kırılmaya kadar yüklenir ve kırılma yükü belirlenir (Şekil 3.1.). Bu yük, uygulandığı alana bölünerek numunenin basma dayanımı hesaplanır [12].



Şekil 3.1. Beton numuneye basınç yükü uygulanması



Bir beton numunenin basma dayanımı aşağıdaki formül kullanılarak hesap edilir :

$$F_c = P / A \quad (3.1.)$$

Burada,

$F_c$   $\equiv$  numunenin basma dayanımı,

$P$   $\equiv$  kırılma yükü,

$A$   $\equiv$  yükün uygulandığı alandır.

Betonun basma dayanımı belirlenirken, doğru ve güvenilir sonuç alabilmek için, numune alma, hazırlama, bakım ve deney yöntemleri standartlara uygun olarak yapılmalıdır [12].

Betonda araştırılan değişik dayanım türleri arasında “basınç dayanımı”nın en çok araştırılan ve kullanılan dayanım türü olmasının nedenleri;

1. Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri, diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.
2. Hemen hemen tüm yapıların tasarımında betonun basınç dayanımı değeri esas alınmaktadır. Birçok yapıda, betonun önemli miktarda çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.
3. Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında yaklaşık olsa da bir korelasyon bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilebilmektedir.
4. Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin, basınç dayanımının yüksek olması, betondaki su geçirimsizliğinin az olduğunu ve dayanıklılığın yüksek olduğunu işaret etmektedir [1].

### **3.1.1. Betonun Basınç Dayanımıyla Diğer Dayanımları Arasındaki İlişkiler**

Daha önce belirtildiği gibi, beton basınç dayanımının bilinmesi bir çok diğer özelliklerin tahmin edilebilmesini sağlar.

Betonun yarmada çekme, eğilme-çekme ve kesme dayanımlarıyla basınç dayanımı arasındaki ampirik ilişkiler Tablo 3.1.'de verilmiştir [13,14]:

**Tablo 3.1.** Betonun Çekme, Eğilme ve Kesme Dayanımları

|                        |   |                                               |
|------------------------|---|-----------------------------------------------|
| Yarmada çekme dayanımı | : | $f_{st} \approx 0.10 \cdot f_c$               |
| Eğilme-çekme dayanımı  | : | $f_{ft} \approx 0.20 \cdot f_c$               |
| Kesme dayanımı         | : | $f_s \approx 0.50 \cdot f_c - 0.80 \cdot f_c$ |

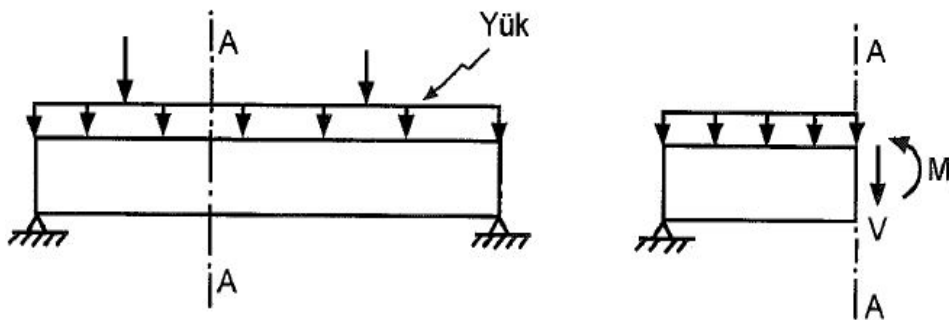
### 3.2. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, “betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır [1].

Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasını neden olmaktadır [1].

Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega tanecikleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır.

Betondaki çekme kuvvetlerinin nasıl oluştukları Şekil 3.2. Ve Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.2.** Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti



Şekil 3.3. Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti

Şekil 3.2.'de görülebileceği gibi, basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, kiriş kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti yaratmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise çekme gerilmesi meydana getirmektedir [1].

Şekil 3.3.'de görülebileceği gibi, betonun üzerine basınç yükü uygulanması durumunda da, betonun içerisinde dolaylı çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedir.

Betondaki basınç ve çekme dayanımları birbiriyle yakından ilgilidir. Genel olarak, betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %9-%10'u kadardır. Betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran %7 ile %17 arasında değişebilmektedir [1].

Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır. Ancak oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Betonarme kirişlerde oluşan eğik çekme kuvvetleri çok büyük sorun yaşatmaktadır. Betonda büyük çatlakların oluşması, kırılmaya neden olmaktadır [1].

Betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapıyla ilgili analizlerin yapılabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır [1].

Betonun çekme dayanımı üç değişik deney yöntemiyle bulunabilmektedir;

1. Çekme yüklerinin doğrudan uygulanması ile çekme dayanımının elde edildiği yöntem (Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi)

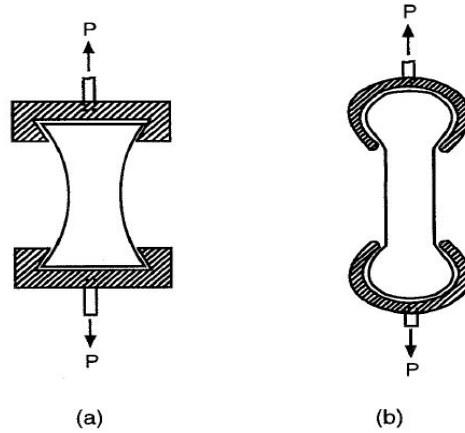
2. Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması ile eğilme dayanımının elde edildiği yöntem (Yarmada Çekme dayanımı Deneyi)
3. Beton kirişlerde eğilme yüklerinin uygulanması ile eğilme dayanımının ve böylece çekme dayanımının elde edildiği yöntem (Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi)

Değişik deney yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen değerler birbirinden oldukça farklı değerlerdir [1].

### 3.2.1. Doğrudan Çekme Dayanımı

Betonun doğrudan çekme yükleri altındaki dayanımını bulabilmek için standart bir deney yöntemi yoktur. O nedenle, böyle bir deneyde kullanılmak üzere standart boyutlu ve şekilli numuneler de bulunmamaktadır [1].

Doğrudan çekme yükleri, değişik boyutlardaki silindir, prizma ve Şekil 3.4.'deki gibi özel boyutlu numuneler üzerinde uygulanabilmektedir. Ancak, beton numuneye doğrudan çekme kuvvetleri uygulayabilmek için, kullanılacak numunelerin uçlarına Şekil 3.4.'deki gibi özel olarak hazırlanmış metal başlıkların yapıştırılması ve bu metal başlıkların ortasına da  $90^0$  açıyla dik olacak tarzda metal çubukların bağlı olması gerekmektedir [1].



**Şekil 3.4.** Beton numuneye doğrudan çekme yükü uygulanabilmesine dair bazı örnekler

Kırılma yaratacak olan yükün ( $P$ 'nin) numune ortasındaki numune kesit alanına ( $A$ 'ya) bölünmesiyle hesap edilir ve  $\text{kgf/cm}^2$  veya  $\text{MPa}$  birimleriyle ifade edilir :

$$F_{ct} = P/A \quad (3.2.)$$

Betonun çekme dayanımı=  $F_{ct}$

Numune boyutunun ortasındaki numune kesit alanı=  $A$

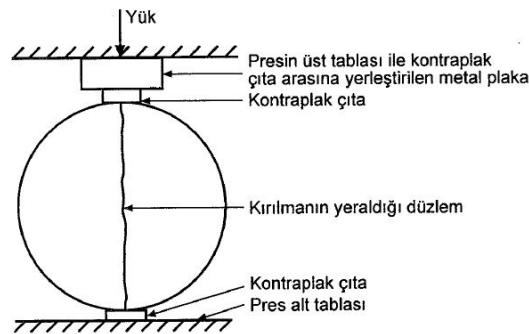
Doğrudan çekme yüklerinin etkisiyle bulunabilen çekme dayanımı, betonun sahip olduğu hakiki çekme dayanımıdır. Ancak, herhangi bir düzenleme ile dahi, betona doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek hem zahmetli hem de zordur. O nedenle, betonun çekme dayanımının bulunabilmesi için doğrudan çekme deney yöntemi nadiren kullanılmaktadır [1].

### 3.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı (Dolaylı Çekme Dayanımı)

Dolaylı çekme yükleri altında betonun çekme dayanımının elde edilebilmesini belirleyen deney yöntemi bütün ülke standartlarında yer almaktadır. Bu konudaki Türk ve ABD standartları, sırasıyla TS EN 12390-6 ve ASTM C 496'dır [12,15].

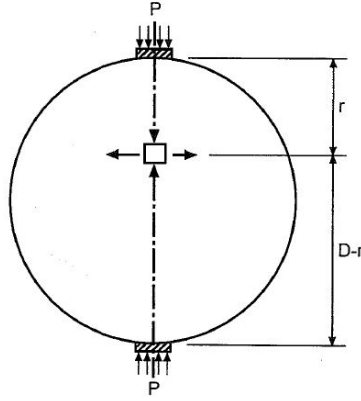
Bu deney yönteminde genellikle silindir şekilli beton numuneler kullanılmaktadır. Küp şekilli beton numunelerin kullanılabilmesi de mümkündür.

Deneyin uygulanmasında, Şekil 3.5.'ten görülebileceği gibi, numune deney presinin üzerine, numune eksenine paralel olacak tarzda yatırılmaktadır. Numunenin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontrplak çiteler yerleştirilmektedir. Deney presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılınca kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü ( $P$ ) ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında, silindir numunenin kırılma tarzı, numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir [1].



Şekil 3.5. Yarma deneyi uygulama düzeni

Silindir şekilli beton numuneye Şekil 3.6.'da görüldüğü tarzda basınç yükünün uygulanması durumunda, beton, yük ekseninde kısaltmaya ve yük eksenine dik olan yatay ekseninde ise uzamaya maruz kalmaktadır [1].



Şekil 3.6. Yarma deneyi

$$\text{Basınç Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \left[ \frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right] \quad (3.3.)$$

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.4.)$$

Yukarıdaki formüllerde ;

P =Kırılmaya neden olan basınç yükü

L =Silindir numunenin boyu

D =Silindir numunenin çapı

R ve (D-r) =Şekil 3.6.'da gösterilen uzaklık

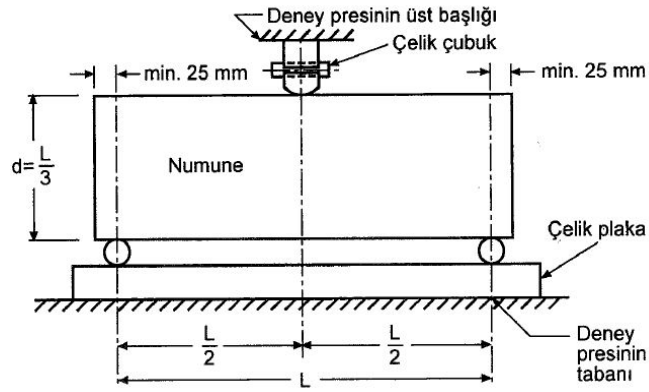
Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için bu yöntem, genellikle “yarma deneyi yöntemi” olarak anılmaktadır.

### 3.2.3. Eğilme Dayanımı

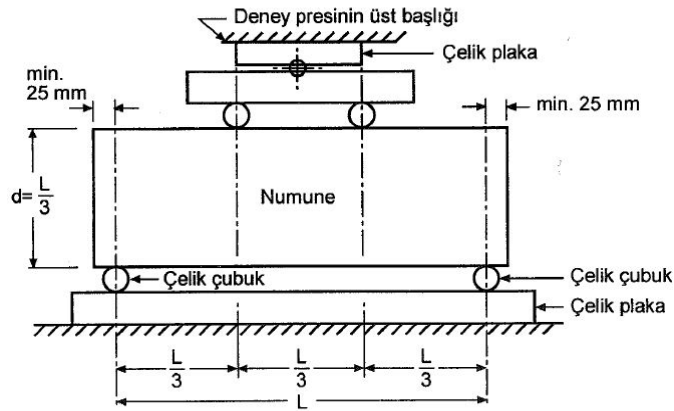
Betonun eğilme çekme veya eğilme dayanımı kiriş numuneler üzerinde (a) üçtebir noktalarından yüklenmiş basit kiriş yöntemi veya (b) orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile belirlenir. Bunlardan birincisi daha güvenilir sonuçlar verir [12].

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için beton kiriş numuneler hazırlanmakta, ve Şekil 3.7. veya Şekil 3.8.'de görülen düzenleme ile, eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır [1].

TS EN 12390-5 ve ASTM C 293 beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından ( $L/2$  mesafesinden) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır [15,16], TS EN 12390-5 ve ASTM C 78'de ise beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden  $L/3$  uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumundaki deney yöntemini anlatılmaktadır [16,17].



Şekil 3.7. Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi



Şekil 3.8. Uzunluğu L olan kirişin uçlardan  $L/3$  uzaklıktaki mesafelerde yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi

Eğilme dayanımı deneylerinde genellikle kare kesitli kirişler kullanılmaktadır. Eğilme dayanımının hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$Q_e = Mc/I \quad (3.5.)$$

Burada;

$Q_e$  =Eğilme dayanımı

$M$  =Maksimum moment

$c$  =Taraflıksız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık, yani  $d/2$

$d$  =Kiriş kesitinin yüksekliği

$b$  =Kiriş kesitinin eni

$I$  =Atalet momenti (dikdörtgen kesitler için  $I=bd^3/12$ ; kare kesitler için  $I=d^4/12$ )

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ( $Q_e = Mc/I$  formülüne uyularak) eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır ;

$$Q_e = 3PL/2bd^2 \quad (3.6.)$$

Mesnetlerden  $L/3$  uzaklıktaki iki noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ise, eğilme dayanımının hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır [1];

$$Q_e = PL/bd^2 \quad (3.7.)$$

#### 3.2.4. Yorulma Dayanımı

Betonun basınç ve eğilme dayanımını bulabilmek için hazırlanan beton numunelere deney presinde oldukça düşük hızda yük uygulanmaktadır; numunenin kırılmasına yol açan yük miktarı ölçüldükten sonra, betonun basınç veya eğilme yüklerine karşı gösterebildiğı maksimum direnç (maksimum gerilme) hesaplanmaktadır. Bu şekilde elde edilen basınç veya eğilme dayanımları, “statik basınç dayanımı” veya “statik eğilme dayanımı” olarak adlandırılmaktadır [13].

Normal olarak, “statik yükün yarattığı mevcut gerilme + hareketli yükün yarattığı gerilme” miktarı (yani, uygulanmakta olan toplam gerilme miktarı), malzemenin sahip

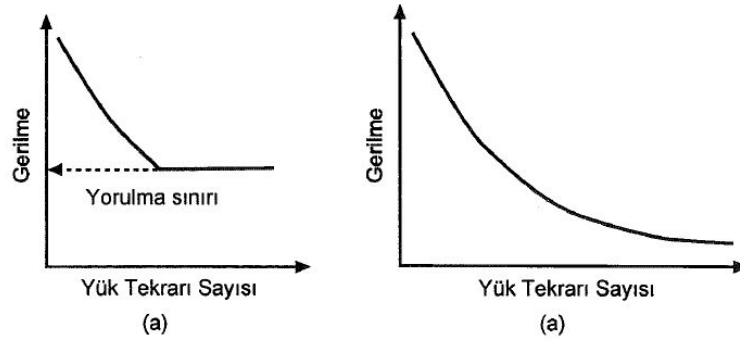


olduğu dayanımı geçmediği takdirde, bu büyüklükteki bir gerilmenin bir-iki kez uygulanması durumunda, malzemede kırılma yer almamaktadır.

Ancak, malzemenin üzerine gelen “statik yükün yarattığı mevcut gerilme + hareketli yükün yarattığı gerilme” miktarı malzemenin sahip olduğu dayanımdan küçük olsa dahi, çok sayıda tekrar tekrar uygulandığında, malzemede kırılma olmaktadır [13].

Maksimum statik gerilme değerinin altındaki gerilme değerlerinin tekrar tekrar uygulanmaları sonucunda malzemede yer alan kırılma olayına “yorulma” denilmektedir.

Bir malzemenin ne kadar sayıdaki yük tekrarı altında kırılacağı, o malzemeye tekrarlı olarak uygulanan toplam gerilme miktarının büyüklüğü ile ilgilidir. Şekil 3.9.’ da gösterildiği üzere uygulanan toplam gerilme miktarı azaldıkça, malzemenin kırılmasına yol açacak yük sayısı artmaktadır.



Şekil 3.9. Malzemelerin yorulma özellikleri  
(a)çelik (b)beton

Betonda belirgin bir yorulma sınırı yoktur. Genel olarak, betondaki yorulma sınırı, 10 milyon yük tekrarına karşılık gelen gerilme değeri olarak kabul edilmektedir.

“Yorulma dayanımı”, belirli sayıdaki yük tekrarı altında, malzemenin kırılmadan direnebileceği en büyük gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır [13].

### 3.2.5. Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi, Poisson Oranı, Elastiklik Modülü ve Kayma Modülü

Bütün malzemeler, üzerine gelen yükün tipinden ve büyüklüğünden etkilenecek belirli ölçüde şekil değiştirme (deformasyon) göstermektedirler, basınç altında kısalmakta, çekme yükleri altında uzamaktadırlar.

Malzemelerin bir birim uzunluğunun yük altında gösterdikleri uzama veya kısalmama miktarı “birim deformasyon” olarak belirtilmektedir [13].

$$\epsilon = \Delta L / L \quad (3.8.)$$

Burada,

$\epsilon$  = Birim deformasyon

$\Delta L$  = Toplam deformasyon

$L$  = Malzemenin orijinal (ilk) boyu

Yükleme nedeniyle belirli miktarda deformasyon gösteren fakat yük kaldırıldığı zaman tamamen orijinal boyutlarına dönen malzemeler “elastik malzemeler” olarak tanımlanmaktadır [13].

Eksenel çekme yükü altında, elemanın boyu uzamakta, eni kısılmaktadır.

Eksenel yük uygulaması nedeniyle oluşan yanıl yöndeki birim deformasyonunun eksenel yöndeki birim deformasyona oranı Poisson oranı olarak adlandırılmaktadır.

Mühendislikte kullanılan birçok malzeme, belirli bir gerilme değeri kadar olan yüklemeler altında elastik özellik göstermektedir; fakat o gerilmeden daha büyük gerilmeler altında tamamen elastik davranış gösterememektedir [13].

### 3.2.6. Sünme

Malzemelerin üzerine taşıyabilecekleri maksimum gerilmeden daha küçük bir gerilme uygulandığı takdirde, çok kısa süre içerisinde (hemen), belirli miktarda bir deformasyon oluşmaktadır. Bu deformasyona “ani elastik deformasyon” denilmektedir.

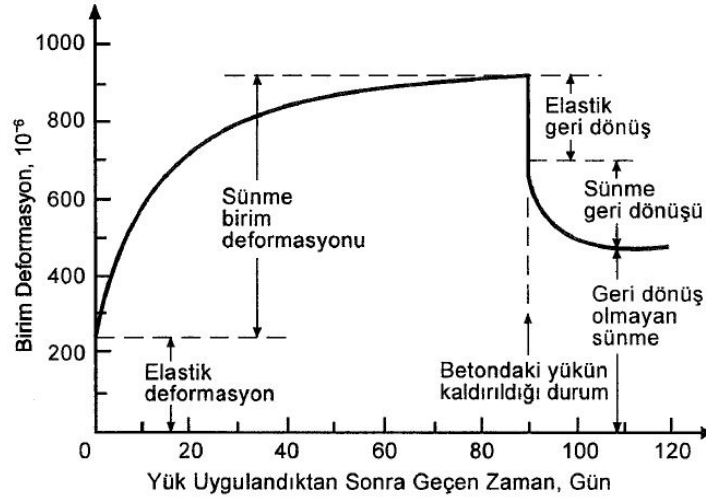
Şayet, uygulanan belirli büyüklükteki bir gerilme (yük) malzemenin üzerinde devamlı olarak bırakılacak olursa, gerilmenin büyüklüğü değişmese dahi (yani, yük miktarı sabitken), zaman ilerledikçe, malzemenin ilk yükleme anında oluşmuş olan deformasyonunda yavaş tempoda fakat sürekli bir artış görülmektedir.

Üzerine uygulanan sabit gerilmenin etkisiyle, zaman geçtikçe, malzemenin gösterdiği yavaş fakat ilerleyen deformasyona “sünme” denilmektedir.

Sünme olayı mühendislikte kullanılan bütün malzemelerde yer alan bir olaydır. Betondaki sünme, düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklık ortamında da meydana

gelebilmektedir. Şekil 3.10. sabit basınç yükü altındaki bir betonun tipik sünme eğrisini göstermektedir [20].

Sabit basınç yükü altında betonun zamanla artan tarzda gösterdiği sünme deformasyonu, betonda çatlakların oluşmasına ve yapı elemanlarının hasar görerek çökmesine neden olabilir.



Şekil 3.10. Betonun tipik sünme eğrisi

### 3.3. Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

Sertleşmiş beton, katılaşıp belirli bir dayanıma ulaşmış olan betondur. Taze beton özellikleri betonun tüm ömrünün en başındaki bir kaç saatlik bölümünü kapsar. Ancak taze beton özellikleri ve bakım koşulları betonun daha sonra sertleşmiş haldeki özelliklerini ve betonun başarımını önemli düzeyde etkiler. Sertleşmiş beton özellikleri genel olarak dayanım, yükler altında şekil değiştirme, büzülme ve dayanıklılık olarak gruplandırılabilir. Genellikle, dayanım sertleşmiş betonun en önemli özeliği olarak kabul edilir. Ancak, bir çok durumda diğer özelliklerin önem kazandığı görülür. Örnek olarak, su geçirimsizliği ve düşük büzülme su tutma yapılarında dikkat edilmesi gereken hususlardır. Çoğunlukla yüksek dayanım diğer sertleşmiş beton özelliklerinin de iyi olduğunun bir göstergesidir. Zaman zaman bunun aksi de söz konusu olabilir. Örnek olarak, betonda su/çimento oranı azaltılıp işlenebilmenin sağlanması için çimento içeriğinin belirli düzeyin üzerinde artırılması dayanımı bir miktar yükseltirken artan büzülmeler sebebiyle çatlamalara ve dayanıklılıkta azalmalara neden olabilmektedir [21].

Dayanım deneyleri oldukça basit deneylerdir. Bununla birlikte deneylerden elde edilen sonuçlar bir çok etmenin etkisiyle aynı bir beton karışımı için dahi birbirinden çok farklı olabilir. Bu etmenlerden bazıları aşağıda sıralanmaktadır [21].

### **3.3.1. Deney Yöntemiyle İlgili Etmenler**

#### **3.3.1.1. Numune Boyutu ve Geometrisinin Dayanıma Etkisi**

Genel olarak, numune boyutları küçüldükçe dayanım artar. Silindir numunelerde boy/çap,  $\ell/d$  oranı arttıkça dayanım azalır. Ayrıca, bütün diğer koşullar sabit tutulduğunda, standart  $\varnothing = 150$  mm  $h = 300$  mm silindir numuneden elde edilen dayanım standart 150-mm küp numuneden elde edilen dayanımın yaklaşık %85'i kadardır. Basma dayanımı yükseldikçe bu oran 1'e yaklaşır [21].

#### **3.3.1.2 Yükleme Hızının Dayanıma Etkisi**

Genel olarak, yükleme hızı arttıkça dayanım artar. Ancak yüzey kuru suya doygun yüksek dayanımlı, su geçirimsizliği düşük basma numunelerinde boşluk suyu basıncı oluşumu yanal doğrultuda genişleme ve katı fazda yanal doğrultuda net çekme gerilmeleri doğurduğundan yükleme hızı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür [21].

#### **3.3.1.3 Numunenin Su İçeriği ve Yüzey Islaklığı**

Kuru beton numuneleri ıslak beton numunelerine oranla daha yüksek dayanım gösterirler. Bunun sebebi kür havuzundan çıkartılan beton numuneleri beton numune yüzeyindeki su kuruduktan sonra basma deneyi uygulanmalıdır.

Yüzeyinde ıslak jel tabakası temizlenmeden ve yüzey kuru duruma gelmeden basma deneyi uygulanması durumunda dayanımlar daha düşük bulunur [21].

#### **3.3.1.4 Numune Bakımı ve Deney Ortamının Sıcaklığı**

Numunenin bakım ortamı ve deneyin yapıldığı ortam  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $60 \pm 10\%$  bağıl nemde olmalıdır. Bu koşulların standarttan farklı olması ve numuneden

numuneye değişmesi elde edilen sonuçların standartta öngörölen sınırlarla karşılaştırılmasını imkânsızlaştırdığı gibi dayanımların standart sapmasını da arttırır [21].

### **3.3.2. Deney Yönteminden Bağımsız Olan Etmenler**

Betonun dayanımı bileşenlerinin nitelikleri ve miktarlarıyla ve karıştırma, yerleştirme ve sıkıştırma koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu etmenlerin bazıları aşağıda sıralanmıştır:

#### **3.3.2.1. Sıkıştırma Düzeyinin Dayanıma Etkisi**

Betonun dayanımını etkileyen bir diğer parametre ise sıkıştırılma düzeyidir. Beton, içindeki boşluk miktarının mümkün olan en az düzeye indirilmesi, bu yoldan dayanım ve dayanıklılığının arttırılması amacıyla sıkıştırılır. Yeterli sıkıştırma işleminin yapılmaması sonucu ve yüksek su içeriği sonucu beton kütlesi içerisinde kalan boşlukların dayanımı azaltıcı etkisi, hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak sürüklenen havanın dayanım azaltıcı etkisinden %2 - %4 hava iğeriklerinde %30 - %15 daha fazladır [21].

#### **3.3.2.2 Betonun Yaşının Dayanıma Etkisi**

Uygun sıcaklık ve nem ortamı sağlandığı sürece betonun dayanımı yaşla birlikte artar. Dayanım artış hızı erken yaşlarda daha yüksektir. Pratikte, betonun 28 günlük dayanımı büyük önem taşır. Bunun nedeni, betonun zaman içinde ulaşabileceği en yüksek dayanımının yaklaşık %70'ini ilk 28 gün içinde elde etmesidir. Daha ileri yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır [21].

#### **3.3.2.3. Çimento Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi**

Beton kütlesindeki agrega taneciklerinin yeterli sağlamlıkta (dayanımda) oldukları varsayılırsa, bağlayıcı hamurun agrega tanecikleri arasındaki boşlukları doldurucu yeterlilikte ve sağlamlılıkta olmasının betonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya çıkar.

Nitekim, basınç altındaki beton kütlesi en zayıf yeri olan bağlayıcı hamurundan kırılmaktadır ki, bağlayıcı hamurun güçlendirilmesi doğrudan betonun güçlendirilmesidir.

Bağlayıcı hamurun yeterliliğinin ve sağlamlılığının diğer faktörlerin yanı sıra önemli ölçüde içindeki çimento miktarına bağlı olduğu bilindiğine göre, belli bir kritik değere kadar betonun içerisinde çimento miktarı arttıkça betonun dayanımı da artacaktır. 1 m<sup>3</sup> sıkıştırılmış karışım içerisinde bulunması gereken en az çimento miktarı, yapılacak betonun türü ve kullanım amacı, agregası, su çimento oranı, kıvamı gibi bir çok faktöre bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Ancak, literatürde ortalama bir değer olarak aşağıda görgül eşitlik verilmektedir [11].

$$MÇ=550 / \sqrt[5]{D} \quad (3.9.)$$

MÇ = 1 m<sup>3</sup> sıkıştırılmış karışım için en az çimento miktarı, kg

D =En büyük agrega çapı, mm.

#### 3.3.2.4. Su/Çimento Oranının (Kıvamın) Basınç Dayanımına Etkisi

Karışım içerisine konulan beton yoğurma suyunun iki temel görevi vardır:

- a. Betonun mukavemetinde etken olan görevi; yoğurma suyu çimento ile reaksiyona girer, bağlayıcı hamuru oluşturur. Çimentonun prizini (hidratasyonunu) ve sertleşmesini sağlar. Bu iş için gerekli yoğurma suyu miktarı literatürde çimento ağırlığının 0,08 ile 0,22'si arasında verilmektedir [11].
- b. Betonun akıcılığı ve işlenebilirliği üzerinde etken olan görevi; yoğurma suyu agrega ve çimento taneciklerini ıslatarak taze betona belirli bir akıcılık (kıvam) verir. Bu görev için gerekli yoğurma suyu ise, çimento ağırlığının 0,30 ile 1,50 si kadardır [11].

Görüldüğü gibi, bağlayıcı hamur oluşturmak için gereken suyun miktarı, tanecikleri ıslatmak için gerekenden çok azdır. Beton yoğurma suyunun belirlenmesinde taze betonun akıcılığının (kıvamının) esas alındığı buradan da anlaşılmaktadır. Çimentonun prizinden (hidratasyonundan) sonra taze beton akıcılık sağlaması için konulan su zamanla buharlaşarak ayrılır ve betonda boşluklar oluşur. Bu durumda ise, betonun dayanımının düşmesine neden olur [11].

Öte yandan, taze beton içerisindeki çimentonun bütün olarak hidratasyonunu sağlamayacak kadar (bağlayıcı hamur oluşturamayacak kadar) az su koymak da doğal olarak basınç dayanımını hızla düşürecektir. Yukarıda, beton yoğurma suyunun

belirlenmesinde taze betonun akıcılığının (kıvamının) esas alındığı belirtilmişti. Taze beton kıvamı üç sınıfa ayrılır (Türk Standartlar Enstitüsü):

- Nemli Toprak Kıvamında Beton: betonun içinde, el ile yoğrulduğu zaman avuca bağlayıcı hamur (çimento hamuru) yapışacak kadar ve ancak iyice sıkıştırıldıktan sonra üst yüzeyi plastik ve düzgün görünüş olacak kadar su bulunmalıdır.
- Plastik Beton Kıvamında; kütle hamur haline gelecek kadar su bulunmalıdır. Abrams çökme deneyinde ölçülen miktar 5-10 cm'yi geçmemelidir.
- Akıcı Beton: sulu hamur görünüşünde olacak kadar su ile karıştırılmalıdır. Abrams çökme değeri 10-15 cm olmalıdır [11].

### **3.3.2.5 Agrega Granülometrisinin ve En Büyük Agrega Çapının Basınç Dayanımına Etkisi**

Betonda, yeterli basınç dayanımının elde edilmesi, büyük oranda su ve çimentodan oluşan bağlayıcı hamurun niteliğine bağlıdır. İstenilen dayanımı en ekonomik şekilde elde etmek ise, bağlayıcı hamur azaltılıp yerine daha fazla agregaya kullanmakla mümkündür. Öte yandan, yeterli akışkanlığın sağlanması için bağlayıcı hamurun miktarının artırılmasının gerektiği bilinmektedir. Bağlayıcı hamur, agregaya boşluklarını doldurmaktan başka, agregaya taneciklerinin etrafını ince bir tabaka halinde sarmalı ve böylece onların fazla grift olmamasını sağlamalıdır. Bu şekilde homojen bir yapı oluşacaktır. Bu durumda, bağlayıcı hamurun miktarında, biri agregaya boşlukları, öteki agregaya yüzeyleri olmak üzere iki unsurun belirleyici olduğu söylenebilir. Bunlardan birini önemseyip, ötekini ihmal etmemek gerekir. İdeal bir granülometrinin mümkün olduğu kadar az boşluklu ve mümkün olduğu kadar az toplam tanecik yüzeyli olması istenir [11].

### **3.3.2.6. Kompasitenin Basınç Dayanımına Etkisi**

Betonda kompasite, birim hacimdeki taze betonda katı maddeler toplam hacminin birim hacme oranı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, kompasitesi yüksek beton içerisinde gözenekleri (boşlukları) az olan beton demektir. Taze betonda kompasitenin yüksek olması basınç dayanımının ve sızdırmazlığının da yüksek olduğunu gösterir.

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörlerden olan kompasite, öteki faktörler gibi (su çimento oranı, çimento türü ve miktarı, agregaya cinsi ve granülometri, katkı

maddesi vs.) doğrudan bir faktör değildir. Betonda kompasite; agreganın cinsine, çimento miktarına bağlı olarak karışımın granülometrisine, maksimum tane büyüklüğüne, kıvama ve sıkıştırma şekline göre değişen dolaylı bir faktördür. Agreganın granülometrisi iyiden kötüye doğru gittikçe (numunelerin basınç dayanımı azaldıkça) aynı zamanda karışımın, dolayısıyla betonun içerisinde daha fazla boşluklar (gözenekler) oluşmakta, başka bir deyişle kompasite azalmakta ve taze beton yoğunluğu düşmektedir. Öteki faktörlerin yanı sıra taze beton kompasitesini artırmak için sıkıştırma yöntemi (vibrator ya da başka yollarla) yaygın olarak bilinir. Taze betonun sıkıştırılması ile içerisindeki havanın hacmi azalmaktadır [12].

### **3.3.2.7. Katkı Maddelerinin Basınç Dayanımına Etkisi**

Piyasada, betonu akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, geçirimsizlik sağlayıcı, dondan koruyucu gibi amaçlara yönelik çok değişik katkı maddeleri vardır. Priz hızlandırıcı katkı maddeleri çimento ile su arasındaki başlangıç reaksiyon hızını artırıp priz zamanını kısalttığı gibi, taze betonun ilk anından başlayarak basınç dayanımlarını da artırır. Bu katkı maddesinin kullanılma oranı, çimento ağırlığının % 2,7'si ağırlık olmaktadır. Priz hızlandırıcı katkı maddesi basınç dayanımlarını, özellikle önemli olan ilk günlerdeki basınç dayanımlarını artırmaktadır. Ancak, her bir metreküp sıkıştırılmış karışım için 7,3 kg katkı maddesi gerekmektedir ki, bu da 1988 yılı ilk ayları piyasa fiyatlarına göre 1 m<sup>3</sup> karışımdaki çimento harcamasının % 65'ine eşit olmaktadır. Başka bir deyişle; 1 m<sup>3</sup> sıkıştırılmış karışımda 270 kg yerine 445 kg çimento kullanmakla eşit maliyette olmaktadır. Bu durumda, karışımdaki çimento oranı % 15'den de aşağılara düşürerek denense bile, belirlenen katkı maddesinin kullanımı ekonomik olmamaktadır [12].

### **3.3.3. Kür Ortamındaki Nem ve Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi**

#### **3.3.3.1. Nemin Basınç Dayanımına Etkisi**

Taze beton ilk hazırlandığında kapsadığı suyun, çimentonun hidratasyonu için gerekenden oldukça fazla olduğu gösterilmiştir. Bu suyun, hidratasyonun devam ettiği ilk devrelerde buharlaşma ya da başka nedenlerle önemli ölçüde azalması, ya tam



hidratasyonu geciktirecek, ya da daha kötüsü hidratasyonun durmasına neden olacaktır. Agrega tanecikleri arasındaki bağlayıcı hamurun tam sertleşmediği böyle bir durumda ise betonun dayanımı düşecektir. Bu nedenle, betonun sertleşme süreci sırasında, tam hidrataayon için gerekli suyun kaybına engel olunması ya da olabilecek su kayıplarının yerinin doldurulması istenir. Betona su püskürtme; beton yüzeylerine toprak, kum, ıslak çuval vs. örterek ya da kalıpları geç sökerek su kaybını önleme; betonun su buharı ile kürü, kür maddeleri ile kürü gibi yöntemler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Nemin eksikliği, ayrıca rötre olayını artırmaktadır. Yeni hazırlanmış betondaki bağlayıcı hamurun hacmi sertleştikten sonraki hacimden daha büyüktür. Rötre değerinin büyüklüğü, birçok diğer faktörün yanı sıra, büyük ölçüde kür ortamındaki neme de bağlıdır. Kür ortamında nem azaldıkça rötre değeri, dolayısıyla betonda çatlaklar artar ve dayanım düşer [12].

### **3.3.3.2. Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi**

Kür ortamındaki sıcaklık azalması, taze beton içindeki çimentonun kimyasal reaksiyonlarını yavaşlatır ve bağlayıcı hamurun sertleşme zamanı uzar. Böylece, betonun yeterli dayanımı kazanması normal sıcaklıktaki ortamlara göre daha uzun zaman alır. Ayrıca, sıcaklık 0°C'ın altına düştüğü zaman, taze beton içindeki su donar ve taze betonda önemli ölçüde hacim genişlemesiyle birlikte çatlamlar ve bozulmalar meydana gelir. Kür ortamında sıcaklık çok yüksek ise, bu defa da taze beton içindeki kimyasal reaksiyonların, dolayısıyla betonun sertleşme hızı artar ve beton ani priz yapabilir. Ayrıca, beton dayanımını zamanla kazanan bir yapıdır. Fazla sıcaklık taze beton içindeki suyu hızla buharlaştırabileceği için çimentonun tam hidratasyonunu sağlayacak su kalmayacaktır. Yine sıcak bir ortamda sertleşmekte olan beton, ortam değişip soğuyacak olursa termal büzölmeler ve yüzeyde çatlaklar oluşur ki, bu durum da dayanımı düşürücü bir diğer etkindir [12].

#### 4. ÇARPMA DAYANIMI

Betonun kalitesi genel olarak dayanımla ölçülmektedir. Beton dayanımı, üzerine gelen yüklerin neler olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır [10]. Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkilere sebep olabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında beton şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı mukavemet gösterebilmelidir. Betonun kullanılacağı yapıların tasarımı yapılırken, betonun üzerine gelebilecek değişik türdeki yüklerin büyüklükleri göz önünde tutulmakta ve üretilecek betonun mekaniksel özelliklerinin bu yüklerle karşı yeterli dayanımı göstereceği varsayılmaktadır. Üretilecek betondaki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir [1].

Bir cismin belirli bir yükseklikten düşmesi veya bir kuvvetin birden bire uygulanmasıyla malzeme çarpma etkisine maruz kalmaktadır. Çarpma sonucu, gerilme çok kısa süre içerisinde artarak büyük değerlere ulaşır. Bu tür çarpma etkisinin meydana getirdiği gerilme altında, malzeme çarpma tesirlerine dayanıklı değilse kısa sürede deformasyona uğrar ve beklenen fonksiyonu gösteremez. Çarpma olayında, malzeme dış kuvvetlerin yapmış olduğu bir işe maruz kalmaktadır. Malzemedeki deformasyonun kritik bir değere ulaşması halinde malzeme çarpma etkisiyle mukavemetini kaybederek kırılır. Betonun mekaniksel özelliklerinden biri olan çarpma dayanımının belirlenebilmesi için kesin bir metot belirtilmemiş ve dolaylı yollardan belirlenmeye çalışılmıştır [20].

Çarpma deneyleri, malzeme şekline ve cinsine bağlı olarak farklı şekillerde yapılabilmektedir [22]. Bunlar;

- a- Hareketli Sarkaç – Charpy , izod
- b- Düşen Top – Düşme makinesinin tipine göre; sabit yükseltideki düşüş veya değişken yükseltideki düşüş
- c- Belirli bir yükseklikten düşürülen yapısal elemanlar
- d- Patlayıcı Maddeler

Beton ve betonarme elemanlar kullanım yerlerine bağlı olarak önemli ölçüde çarpma etkisi altında kalabilirler.

Betonun yeterli çarpma dayanımına sahip olmaması halinde bu gibi yapılar ve elemanlar işlevlerini göremez hale gelirler veya faydalı ömürleri kısılır. Bir malzeme üzerinde çarpma etkisi, yüzeyine bir cismin belirli yükseklikten düşmesi ile olacağı gibi aniden uygulanan kuvvetler şeklinde de olabilir. Çarpma sonucunda bir cisimde gerilmeler çok kısa sürede büyük değerlere ulaşabilmekte, gerilme ve deformasyonların irdelemesi karmaşık ve zor hale gelebilmektedir [22].

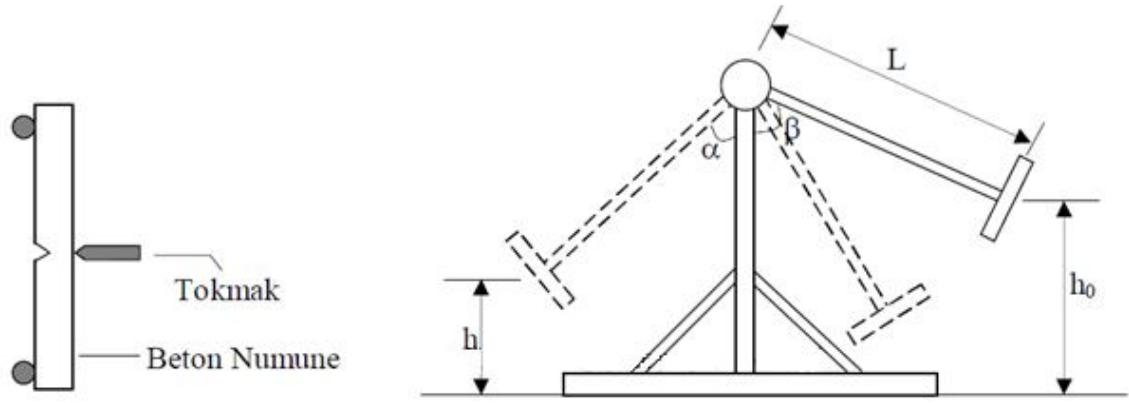
Bir cismin çarpma dayanımı, gerilme-birim deformasyon eğrisinin altındaki alan, yani tokluluğu ile yakından ilişkilidir. Bu alanın büyük olması cismin yüksek dayanımına sahip olması kadar, sünek olmasına da bağlıdır. Genelde kırılğan bir malzeme olan betonda dayanım, normal agregası kullanılması halinde harç matrisine ve ara yüzeyinin kalitesine bağlı olarak değişmektedir [22].

Yükleme şekli esas alındığında malzemeyi kırmak iki yolla mümkündür. Birincisi, gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının elde edilmesinde yapıldığı gibi yükü yavaş yavaş arttırmak suretiyle kırmaktır ve kırılma işi, şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alanla ölçülür. İkincisi ise malzemeyi, sarkaç şeklinde G ağırlığındaki bir tokmak vasıtasıyla kırmaktır. Metallerde çarpma dayanımı izod veya Charpy çentik darbe deneyi kullanılarak belirlenirken, yapı taşlarında ağırlığın belirli bir yükseklikten serbestçe numune üzerine düşürülmesi yöntemi uygulanır [22].

#### **4.1. Charpy Deney Metodu**

Malzemenin çarpma dayanımlarını belirlemek için çeşitli deney metotları uygulanmaktadır. Metallerde Charpy çentik darbe deneyi kullanılırken, yapı taşlarında bir ağırlığın belirli bir yükseklikten serbestçe numune üzerine düşürülmesi yöntemi uygulanır. Fakat betonlar için belli bir standart metot bulunmamaktadır [22].

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe mukavemeti olarak tanımlanır. Ağırlığı “G” olan sarkaç, “h<sub>0</sub>” yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerji (Gxh<sub>0</sub>) mertebesinde dir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette “h” yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji (Gxh) mertebesinde demektir [22].



Şekil 4.1. Charpy deney düzeneği

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi sarkacın başlangıçta bırakıldığı andaki enerjisi ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıdaki formülle de gösterilebilir (4.1.);

$$U = G(h_0 - h) = G.L. (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (4.1.)$$

Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi ve deney şartları doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin, en çok uygulanan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0,5 mm içinde birbirine çıkışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur [22]. Tokmağın ilk ve son konumlarındaki potansiyel enerjileri arasındaki fark bulunur ve numune kesit alanından faydalanılarak çarpma mukavemeti belirlenir.

Charpy metodunun temeldeki ana fikri enerjinin korunumudur. Sarkaç belli bir yükseklikte ( $h_0$ ) durgun halde iken potansiyel enerjisi maksimumdur. Numuneye çarptığı anda kinetik enerji maksimum seviyeye ulaşmıştır. Numuneyi kırıdığı anda

enerjinin belli bir miktarı numunenin kırılma enerjisi olarak harcanır, geriye kalan enerji vasıtasıyla tokmak devam ederek h seviyesine yükselir.

Buradaki enerji kaybı, bize çarpmadaki kırılma enerjisini verir. Kırılma enerjisinden faydalanarak çarpma mukavemeti belirlenir. Genel olarak çarpma dayanımı  $\text{kg.m/cm}^2$  veya  $\text{N.mm/mm}^2$  cinsinden ifade edilmektedir [22].

$$\dot{C}=U/A=(G(h_0-h))/A \quad (4.2.)$$

#### 4.2. Betonda Çarpma Dayanımı İle İlgili Literatür Çalışması

Arıcı, E. [22], betonun çarpma mukavemetine basınç dayanımının etkisi belirleyebilmek için Charpy metodu kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda  $100 \times 100 \times 500$  mm. lik beton numunelerde kullanılabilecek boyutlarda charpy deney düzeneği hazırlanmıştır. Çarpma mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deneylerde max. agrega çapı 8 mm. olan, farklı başlangıç çatlak boyutuna ( relatif çentik boyu 0,2 ve 0,3 ) ve basınç dayanımına sahip üç seri numune hazırlanmıştır. Ayrıca serilerin basınç, yarma ve eğilme dayanımları belirlenebilmesi içinde numuneler dökülmüştür. Elde edilen deneysel verilerden çarpma dayanımında betonun basınç dayanımının etkisi incelenmiştir.

Elde edilen deneysel verilere göre, Çarpma mukavemeti teknolojik bir özellik olmasından dolayı deney sonuçlarını etkileyen bazı faktörlerin olduğunu, Charpy deneyinde numune ile tokmak arasında kırılma sonrası sürtünme v.b. sebeplerden dolayı enerji kayıpları meydana gelebileceğini ve deney sonuçlarının bu enerji kaybından minimum derecede etkilenmesi için numune genişliği ve mesnet aralığına bağlı olarak bir katsayı belirlenmesini, deneysel verilerin bu katsayı ile çarpımı sonucunda daha doğru sonuçlar alınabileceğini vurgulamıştır.

Başlangıç çatlak boyu arttıkça faydalı enkesit alanı azalmaktadır. Bunun sonucunda kırılma için gerekli olan enerji miktarı da azalmaktadır. Fakat çarpma dayanımının ters orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu olayın tam olarak yorumlanabilmesi için çarpma dayanımının boyut etkisi açısından incelenmesinin daha uygun olacağını önermiştir ve betonun çarpma dayanımı ( $\dot{C}$ ) ile basınç dayanımı ( $\sigma$ ) arasındaki orana ( $q$ ) baktığımızda bu değerlerin 0,77 - 0,82 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

Arıcı ve diğ. [23], betonun çarpma mukavemetini belirleyebilmek için Charpy metodu kullanılmış ve bu metodun betona uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç

doğrultusunda 100x100x500 mm. lik beton numunelerde kullanılabilecek boyutlarda Charpy deney düzeneği hazırlanmıştır. Çarpma mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deneylerde max. agreg a çapı 8 ve 16 mm. olan, iki farklı başlangıç çatlağı boyutuna (relatif çentik boyu 0,2 ve 0,3 ) sahip iki seri numune hazırlanmıştır. Ayrıca serilerin basınç, yarma ve eğilme dayanımlarının belirlenebilmesi içinde numuneler dökülmüştür. Elde edilen deneysel verilerden çarpma dayanımında max. agreg a boyutunun etkisi incelenmiştir.

Deneysel veriler sonucunda, Çarpma mukavemetinin tayininde deney sonuçlarını etkileyen bazı faktörlerin olduğunu, betonun çarpma dayanımı (Ç) ile basınç dayanımının karekökü ( $\sqrt{\sigma}$ ) arasındaki orana (q) bakıldığında, genel olarak bu değerlerin 0,7 - 0,8 arasında değiştiğı görölmektedir. Bu sonuçlar neticesinde, Charpy metodunun, betona uygulanabilirliğı ve kapsamlı bir çalışma yapılarak formülasyona gidilebileceğı önerilmiştir.

Selvi, M. [5], normal ve yüksek dayanımlı beton kiriş numunelerin çarpma etkisi altında göstermiş oldukları davranış farklarını araştıran deneysel bir çalışmanın sonuçlarını sunmaktadır. Hazırlanan deney programında 10 adet dikdörtgen kesitli beton kiriş, farklı yüksekliklerden düşürölen sabit ağırlıklı bir çekicinin yaratmış olduğı çarpma etkisi altında test edilmiştir. Kiriş numunelerin 5 tanesi normal dayanımlı, 5 tanesi ise yüksek dayanımlı betondan üretilmiştir. İki ivme ölçer ve bir kuvvet ölçer yardımıyla numuneler üzerinde oluşan etkiler ölçölmüştür. Dayanımlardaki değişimler çekici düşme sayısını, deplasmanları, ivme değerlerini ve göçme mekanizmasını etkilemiştir. Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen çatlak ilerlemesinin ve göçme seklinin ABAQUS sonlu eleman yazılımı kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, çekici düşme yüksekliğı arttıkça numuneyi göçmeye götüren düşürme sayısının azaldığı ve yükseklik artışı ile çekikte depolanan fazla enerjinin, numune içsel kuvvetlerini daha çabuk yendiğı ve enerji yutma kapasitesinin daha da azaldığı vurgulanmıştır.

Deneysel veri sayısı artırılarak kuvvet ölçömlerinin alınmasını, böylece elde edilen yük – deplasman grafikleri kullanılarak rijitlik, enerji tüketimi ve süneklik gibi önemli değerlerin hesaplanabileceğı önerilmiştir.

Kantar, E. ve diğ. [4], beton basınç dayanımındaki değişimin, betonun çarpma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada beş adet normal ve beş adet yüksek dayanımlı olmak üzere toplam on adet donatısız beton kiriş elemanı üretilmiş ve beş farklı

yükseklikten düşürülen sabit ağırlıklı çekiçle, çarpma yüklemesi uygulanarak test edilmiştir. Meydana gelen çarpma etkisiyle oluşan ivme, zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Deney elemanlarının hız, deplasman ve enerji değişimleri hesaplanmıştır. Farklı yüksekliklerden düşürülen sabit ağırlıklı çekicinin normal ve yüksek dayanımlı betonda meydana getirdiği göçme modları gözlenmiştir. Beton basınç dayanımındaki değişimin beton çarpışma davranışı üzerinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Basınç dayanımının artması ile tüketilen enerjinin, çekiç düşme sayısının, ivmenin arttığını ve deplasmanların azaldığı görülmüştür.

DeneySEL veriler sonucunda, çarpma davranışının değerlendirilmesinde incelenen önemli parametrelerinden biri olan düşme sayısının beton basınç dayanımı ile değişim gösterdiği belirlenmiştir. Beton basınç dayanımı yüksek olan deney serisindeki deney elemanlarını göçmeye ulaştıran düşme sayılarının normal dayanımlı deney elemanlarına göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak ağırlık düşürme yüksekliği arttıkça yüksek ve normal dayanımlı deney elemanları arasındaki düşme sayısı farklılıkların gittikçe azaldığı ve 500 mm düşme yüksekliğindeki yapılan testlerde yüksek ve normal dayanımlı deney elemanlarının 2 düşmede göçmeye ulaştığı görülmüştür.

Yazıcıoğlu, S. Ve diğ. [24], Elazığ Ferrokrom İşletmesinden elde edilen cürufun betonun basınç dayanımı ve çarpma enerjisine etkileri incelenmiştir. Betonun maksimum agrega tane çapı 4 mm, 8 mm, 16 mm ve 32 mm seçilmiştir. Çimento inceliğinde öğütülen cüruf, beton karışımına Portland çimentosu (CEM I 32,5) ile ağırlıkça % 1, % 3, % 5, % 7 ve % 10 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışma, sabit slump altında (6-9cm) yapılarak numunelerin 28 günlük basınç dayanımına ve çarpma enerjilerine bakılmıştır. Çalışmada maksimum agrega tane çapı arttıkça betonun basınç dayanımında ve çarpma enerjisinde artış olduğu gözlenmiştir. Cüruf katkısı % 3 olan betonların mukavemeti kontrol betonundan yüksek ve % 5 katkılı betonlarda ise kontrol betonuna denk mukavemetler elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, maliyeti azaltmak açısından cüruf katkısının % 5'e kadar çimento katkı malzemesi olarak betonda kullanılabileceğini göstermiştir.

Çalışmadan edilen verilere göre; en düşük basınç dayanımı maksimum agrega boyutu 4 mm olan beton serisinde, en yüksek basınç dayanımı da maksimum agrega boyutu 32 mm olan beton serisinde görülmüştür. Agrega tane çapı arttıkça betonun hem basınç dayanımında hem de çarpma enerjisinde artış olmuştur. Maksimum agrega

boyutunun artmasıyla betonda absorblanan enerji arttığından çarpma enerjisinin en yüksek değeri de, maksimum agrega boyutu 32 mm olan beton serisinde elde edilmiştir.

Esen, Y. [25], Poliakrilonitril liflerinin çimento hamuru bileşiklerinin mekaniksel özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Poliakrilonitril lifinin çimento hamuru matrisine ilavesi, betonun çekme, eğilme ve çarpma özelliklerinde önemli bir düzelme meydana getirmiştir. Lifler numune içerisinde boşluk gibi davrandıklarından, lif oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. Portland çimentosu hamurunda bu tip lifin varlığının çarpma dayanımını 40-500 kata kadar düzelttiği, ayrıca uzun lif ilavesi ile eğilme dayanımında saf hamura göre aynı şartlarda % 386 civarında bir artma olduğu gözlenmiştir. Poliakrilonitril lifinin % 4 ilavesiyle eksenel çekme dayanımında ise % 103'lük bir artış olmuştur. Betonun darbe dayanımında önemli artışlar kaydedilmiştir.

Yapılan deneylerde kontrol betonunda ilk çatlağın görülmesi ve numunenin parçalanması 3 - 4 darbeye olurken, lif takviyesine bağlı olarak, bu değer % 1 kesik lif katkılı betonlarda 120, % 1 uzun lif katkılı betonlarda ise 250 darbeye olmaktadır. Bu sebeple, özellikle çakım esnasında büyük darbe etkilerine maruz kalan çakma kazıklarında önemli avantajlar sağlayacağı görülmektedir.

Kaymaz, K. [3], betonun mekaniksel özelliklerinin çarpma dayanımına etkisinin incelenmesi konusundaki çalışmada; 30x15 cm ve 20x10 cm boyutlarında standart silindir ile 10x10x50 cm' lik kiriş numunesi üzerinde mekanik olarak; basınç, yarma, eğilme, çarpma dayanımı ile ultrases deneyleriyle veriler elde edilmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler ve analizler neticesinde;  $D_{max}$  değerinin artışı ile basınç dayanımı, eğilme ve yarma dayanım değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. W/C oranının artışı ile basınç dayanımının azaldığı ve buna bağlı olarak eğilme ve yarma dayanımlarının da azaldığı görülmüştür. Serilerin basınç dayanımı ve çekme dayanımlarının artışı ile birlikte çarpma dayanımlarında da artış gözlemlenmiştir. Çarpma dayanımı hesaplandıktan sonra basınç dayanımı ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla çarpma dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki oran (q) hesaplanmıştır. Bu değerlerden görüleceği üzere  $D_{max}$  değerinin büyümesiyle beraber (q) değerinde de artış olmuştur. W/C oranındaki artışla birlikte bu değerlerde düşüş meydana gelmiştir.

Çarpma dayanımı belirlenirken Charpy düzeneğinde deney esnasında bir miktar hesapta olmayan enerji kaybı meydana geldiğinden deney sonuçlarına bu enerji kaybının etki ettiğini fakat bütün deneyler aynı şartlar altında yapıldığından ve bu enerji kaybı değeri çok küçük olduğundan dolayı bu kaybın ihmal edildiği belirtilmiştir. Daha sağlıklı



sonuçların elde edilmesi için, bu kayıp oranlarının tam olarak belirlenip, sonuç izerinde etki ettirilmesinin daha uygun olacağı önerilmiştir.

Toptaş, E. [26], agrega cinsi ve imento dozajının çarpma dayanımı izerinde etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda normal, hafif ve karışık (normal+hafif) agrega ile 300 ve 450 dozlu karışımlar hazırlanarak numuneler dklmştir.

Numuneler izerinde yapılan basınç, eğilmede çekme ve Charpy arpma deneyi sonucunda beklenildiği gibi en yüksek dayanım 450 dozlu normal agregalı betonda, en düşük dayanım ise 300 dozlu hafif agregalı betonda elde edilmiştir. Fakat arpma dayanımının çekme dayanımına oranına bakıldığında dalgalanmalar grlmştir.

Elde edilen deneysel veriler sonucunda, q değerlerine bakıldığında; en yüksek q değerinin 300 dozlu hafif agregalı numunelerde verdiği grlmştir. Seriler arasında 300 dozlu betonda q değerindeki değişim fazla olurken, 450 dozlu betonda be değişim aralığı çok fazla olmamıştır. Çarpma dayanımındaki düşme miktarı basınç ve eğilmede çekme dayanımındaki kadar ařırđ derece olmamasının yanında hem düşük hem de yüksek dozajlı numunelerde hemen hemen aynı oranda kalmıştır. Çarpma dayanımının dozaj ve agrega tipinden fazla etkilenmemesinin tam olarak açıklığa kavuşturulması için daha geniş kapsamlı çalışma yapılmasının uygun olacağı önerilmiştir.

Küden, B. [27], agrega granülometrisi ve imento dozajının betonun çarpma dayanımı izerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla dane apđ 16 mm olan agreganın i farklı gronlometrisi (A16, B16, C16) kullanılarak iki farklı imento dozajında (300, 450 doz) olmak izere toplam 6 seri numune hazırlanmıştır.

Hazırlanan her serideki numunelerin basınç, eğilmede çekme ve çarpma dayanımlarının belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda, basınç, eğilmede çekme ve çarpma dayanım değerlerine bakıldığında maksimum ve minimum dayanım değerlerini veren tek bir serinin oluşmadığı, bu değerlerin farklı serilerde olduğu grlmştir.

Deneysel veriler sonucunda, çarpma dayanımı değerlerine bakıldığında basınç ve eğilmede çekme dayanım değerlerinden farklı olarak en büyük değerler B16 eğrisi ile hazırlanan serilerde çıkmış ve bunu sırasıyla C16 ve A16 serileri takip etmiştir. Basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde olduğu gibi çarpma dayanımında da en büyük değer 450 dozluk betondan elde edilmiştir. En büyük q değeri, 300 dozlu C16 gronülometri eğrisine uygun seriden elde edilirken 450 dozluk betonda B16 ve C16 eğrilerine uygun

seriler arasında pek fark olmamasına (0,48-0,47) karşın en büyük değer B16 eğrisinde elde edilmiştir.

300 dozlu betonda farklı gronölometrilere göre elde edilmiş serilerin basınç dayanımlarındaki değişim oranı, çarpma dayanımındaki değişim oranının 10 katı kadar olmuştur. 450 dozluk numunelerde değişim bu kadar yüksek olmamıştır. Çimento dozajı ve agrega gronölometrisi, betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahipken çarpma dayanımının üzerinde aynı etkiye sahip olmadığı vurgulanmıştır.

## 5. MATERYAL ve METOT

Deneylerde kullanılacak numunelerin karışım hesaplamaları TS 802 esas alınarak yapılmıştır [18]. Numunelerde max. dane çapı 16 mm. olan normal agregâ kullanılmıştır. 28 günlük numunelerin basınç, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımlarının belirlenmesinde yükleme kapasitesi 2.5 MN olan hidrolik yük kontrollü pres kullanılmıştır. Çarpma dayanımının belirlenmesinde ise mesnetlenme mesafesi numune boyutlarına uygun şekilde dizayn edilen Charpy deney düzeneği kullanılmıştır. Basınç dayanımlarının belirlenmesinde 150x300 mm. boyutunda silindir, eğilmede çekme dayanımlarının belirlenmesinde 100x100x500 mm. boyutunda kiriş, yarmada çekme dayanımlarının belirlenmesinde 100x200 mm. boyutunda standart silindir numuneler kullanılırken çarpma dayanımının belirlenmesi için 5 cm kalınlığında 30-32 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda XPS ısı yalıtım levhalarından kalıplar imal edilmiştir.

Deneyisel çalışmalara başlamadan önce literatür taraması yapılmıştır. Yapılan bu taramalarda betonun çarpma dayanımı ile boyut etkisi üzerine yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Mesnet aralığı ve boyutunun çarpma dayanımına etkisinin incelendiği bu tez çalışmasında max. dane çapı 16 mm. olan tek tip agregâ kullanılmıştır. Hazırlanan beton serileri kür tankında 23±2 °C kirece doymuş su içerisinde 28 gün kür edildikten sonra kür havuzundan çıkartılıp doymuş kuru yüzey halinde basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme ve çarpma dayanımı deneyleri yapılmıştır.

### 5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Karışım hesapları TS 802 esas alınarak yapılmıştır [18]. Karışım oranlarına göre toplam 18 seri numune dökülmüştür. Serilerde basınç deneyleri için 3 adet 150x300 mm'lik silindir numune, yarmada çekme deneyleri için 3 adet 100x200 mm'lik silindir numune, eğilmede çekme deneyleri için 3 adet 100x100x500 mm'lik kiriş numuneleri ve farklı boyutlarda çarpma numuneleri dökülmüştür. Karışıma giren 1 m<sup>3</sup> için hesaplanmış malzeme miktarları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.1.** Karışıma giren malzeme miktarları

| Malzeme            | Ağırlık (kg) |
|--------------------|--------------|
| Çimento            | 419          |
| Su                 | 197          |
| İnce Agregat (0-2) | 610          |
| Orta Agregat (2-4) | 193          |
| Orta Agregat (4-8) | 209          |
| İri Agregat (8-16) | 594          |
| Hava               | -            |
| <b>TOPLAM</b>      | <b>2222</b>  |

### 5.1.1. Çalışmada Kullanılan Agregalar

Çalışmada kullanılan agregalar Elazığ ili Palu ilçesi doğal agregasıdır. Agregat TS 706 'daki sınır değerlere uygun olarak seçilmiş, maksimum dane çapı 16 mm olarak tercih edilmiştir [28]. Kullanılan agregaların özellikleri Tablo 5.2.'te verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Karışıma giren agregaların fiziksel özellikleri

| Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | Su emme (%) | Aşınma kaybı (%) | Kil miktarı (%) | Donma kaybı (%) |
|-------------------------------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 2,48                                | 4           | 16,6             | 2,0             | 1,83            |

### 5.1.2. Çalışmada Kullanılan Çimento

Deney numunelerinin hazırlanmasında Elazığ Altınova Çimento San. T.A.Ş.'nde üretilen CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimento TS EN 197-1' e uygun olup çimentoya ait özellikler Tablo 5.3.'te gösterilmiştir [29].

**Tablo 5.3.** Karışıma giren çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

| Kimyasal Analiz Sonuçları |                                |                                |           |         |                 |        |       |       |        |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|---------|-----------------|--------|-------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO       | MgO     | SO <sub>3</sub> | T.E.   |       |       |        |
| 32.08                     | 6.05                           | 3.23                           | 49        | 3.85    | 3.31            | 1.05   |       |       |        |
| Fiziksel Analiz Sonuçları |                                |                                |           |         |                 |        |       |       |        |
| 45μ                       | Blaine                         | Priz baş.                      | Priz son. | Öz. Ağ. | Yoğunluk        | H.gen. | 2 gün | 7 gün | 28 gün |
| 1.3                       | 3493                           | 1.55                           | 3.05      | 3.06    | 980             | 6      | 23.8  | 41.3  | 57     |

### 5.1.3. Karışım Suyu

Türk Standartlarında belirtilen değerlere uygun olarak içme suyu (Elazığ şehir şebekesi) kullanılmıştır.

### 5.1.4. Numune Kalıpları

Deney numunelerinin hazırlanmasında basınç deneyleri için 150x300 mm, eğilmede çekme deneyleri için 100x100x500 mm ve yarmada çekme deneyleri için de 100x200 mm'lik standart çelik kalıplar kullanılmıştır. Çarpma dayanımının belirlenmesi için yapılan deneyler de ise XPS ısı yalıtım levhalarından Tablo 5.4.'te gösterilen boyutlara uygun kalıplar imal edilmiştir. Başlangıç çatlağını oluşturmak için kalıpların orta kısımlarına gelecek şekilde farklı boyutlarda su emiciliği olmayan 3 mm kalınlığında levhalar yerleştirilmiştir.

**Tablo 5.4.** Çarpma dayanımın belirlenmesi için kullanılan numune boyutları (mm)

| Numunenin Genişliği<br>(mm) | Numunenin Boyu<br>(mm) | Mesnet Aralığı<br>(mm) |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| 100                         | 500                    | 400                    |
| 150                         | 700                    | 600                    |
| 200                         | 900                    | 800                    |
| 100                         | 350                    | 250                    |
| 150                         | 475                    | 375                    |
| 200                         | 600                    | 500                    |

Çarpma dayanımının tayini için hazırlanmış numune kalıp örnekleri Şekil 5.1., Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Çarpma deneyinde kullanılan kalıplar



Şekil 5.2. Çarpma deneyinde kullanılan kalıplar



Şekil 5.3. Çarpma deneyinde kullanılan kalıplar

## 5.2. Numunelere Uygulanan Deneyler

### 5.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi için her seride 3'er adet 150x300 mm boyutlarında ki silindir numuneler kullanılmıştır. Numuneler kalıplardan söküldükten sonra 28 gün kirece doygun  $23 \pm 2$  °C suda kür edildikten sonra doygun kuru yüzey halinde deneyler yapılmıştır. Şekil 5.4.'te görülen hidrolik yük kontrollü basınç presinde deneyler yapılmıştır.



Şekil 5.4. Basınç dayanımı deney düzeneği

Numunelerin kırılmasını takiben deney presi ekranından kırılma yükü okunarak gerilme değerleri bulunmuş, üç numunenin ortalaması hesaplanarak  $\sigma_{ort}$  değeri bulunmuştur. Uygulanan basınç dayanımı sonucunda numunelerde oluşan kırılma Şekil 5.5.'te görüldüğü gibidir.



**Şekil 5.5.** Basınç dayanımı sonucunda numunenin kırılma şekli

Elde edilen kırılma yükü,  $\sigma = P/A$  formülündeki max. yükün (N) numunenin kesit alanına ( $\text{mm}^2$ ) bölünmesiyle basınç gerilmesi bulunmuştur.

### 5.2.2. Eğilmede Çekme Deneyi

Eğilmede çekme dayanımı deneyi için her seride 3'er adet 100x100x500 mm boyutlarında ki kiriş numuneler kullanılmıştır. Numuneler kalıplardan söküldükten sonra 28 gün kirece doymun  $23 \pm 2$  °C suda kür edildikten sonra doymun kuru yüzey halinde deneyler yapılmıştır. Kiriş numuneler makineye tam merkezlenecek şekilde, üst ve alt yükleme silindirleri eksenine dik açı teşkil edecek konumda boyuna yerleştirilmiştir. Numuneler yerleştirme işleminden sonra orta noktasından yüklenerek eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmuştur. Deney sonunda elde edilen kırılma yükü yardımıyla eğilmede çekme dayanımı hesaplanmıştır.

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ( $f_{ct} = Mc/I$  formülüne uyarak ) eğilme dayanımı  $f_{ct} = 3PL / 2bd^2$  bulunmuştur.

Şekil 5.6.'da eğilmede çekme deneylerinin yapıldığı hidrolik yük kontrollü basınç presi, Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.' de numunenin kırılma anındaki görüntüsü verilmiştir.





**Şekil 5.6.** Eğilme yükü altında kırılma deney düzeneği



**Şekil 5.7.** Eğilme yükü altında numunenin kırılma şekli



**Şekil 5.8.** Eğilme yükü altında numunenin kırılma şekli

### 5.2.3. Yarmada Çekme Deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyi için her seride 3'er adet 100x200 mm boyutlarında silindir numuneler kullanılmıştır. Numuneler kalıplardan söküldükten sonra 28 gün kirece doymun  $23 \pm 2$  °C suda kür edildikten sonra doymun kuru yüzey halinde deneyler yapılmıştır. Silindir numune yatay vaziyete getirilerek, silindir ile metal çubuklar arasına kontra plak gibi dolgu malzemesi şerit şeklinde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu malzeme genelde 3 mm kalınlığında ve genişliği ise silindir çapının yaklaşık 1/12 'si kadardır. Numune Şekil 5.9. 'da ki gibi prese yerleştirilerek gerilme yükü altında kırılmıştır.



Şekil 5.9. Yarmada çekme deney düzeneği

Yarmada çekme dayanımı hesabı, silindir numunelerde  $f_{ct} = 2P / \pi LD$  formülüyle hesaplanmıştır. Uygulanan yarma deneyi sonucunda numunelerde oluşan kırılma Şekil 5.10.' da görüldüğü gibidir.



**Şekil 5.10.** Yarmada çekme numunesinin kırılma şekli

#### **5.2.4. Çarpma Dayanımı Deneyi**

Çarpma dayanımı deneyi için; üç farklı  $a/D$  oranına (0,1-0,2 ve 0,3) ve iki farklı  $L/D$  oranına (2,5 ve 4) sahip 18 seri numune kullanılmıştır. Numuneler kalıplardan söküldükten sonra 28 gün kirece doymun  $23 \pm 2$  °C suda kür edildikten sonra doymun kuru yüzey halinde deneyler yapılmıştır. Çarpma dayanımının belirlenmesi için Şekil 5.11., Şekil 5.12. ve Şekil 5.13.'te gösterilen Charpy deney düzeneği kullanılmıştır.

Numuneler Charpy deney düzeneğine mesnetlere tam yaslanacak ve çekiç salınım düzlemiyle numunenin orta nokta düzlemi çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç duruma getirilerek düşme açısı ( $\beta$ ) belirlendikten sonra sarkaç düzgün bir şekilde bırakılır ve kırılma sonrası yükselme açısı ( $\alpha$ ) açısı belirlenir.

Ağırlığı  $G$  olan sarkaç,  $h_0$  yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi ( $G \times h_0$ ) mertebesinde dir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette  $h$  yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ( $G \times h$ ) mertebesinde demektir. Şekil 5.14., Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.'da numunenin kırıldıktan sonra ki şekli gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi



Şekil 5.12. Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi



Şekil 5.13. Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi





**Şekil 5.14.** Charpy deney düzeneğinde numunenin kırılma şekli



**Şekil 5.15.** Charpy deney düzeneğinde numunenin kırılma şekli



**Şekil 5.16.** Charpy deney düzeneğinde numunenin kırılma şekli

Sarkacın, numune ile temas haline geldiği andaki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıdaki formülle de gösterilmiştir. Tokmağın ilk ve son konumlarındaki potansiyel enerjileri arasındaki fark bulunur ve numune kesit alanından faydalanılarak çarpma dayanımı belirlenir.

$$U = Gx (h_0 - h) = G \times L \times (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (5.1.)$$

$$\text{Ç} = U / A = (Gx(h_0 - h)) / A \quad (5.2.)$$

$U$  = Kırılma için gerekli olan enerji (N.mm)

$\text{Ç}$  = Çarpma dayanımı (N.mm/mm<sup>2</sup>)

$G$  = Sarkacın ağırlığı ( N )

$L$  = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (mm)

$A$  = Kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

$h_0$  = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (mm)

$h$  = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (mm)

$\beta$  = Düşme açısı (derece açısı (derece )

$\alpha$  = Yükselme açısı (derece)

## 6. BULGULAR

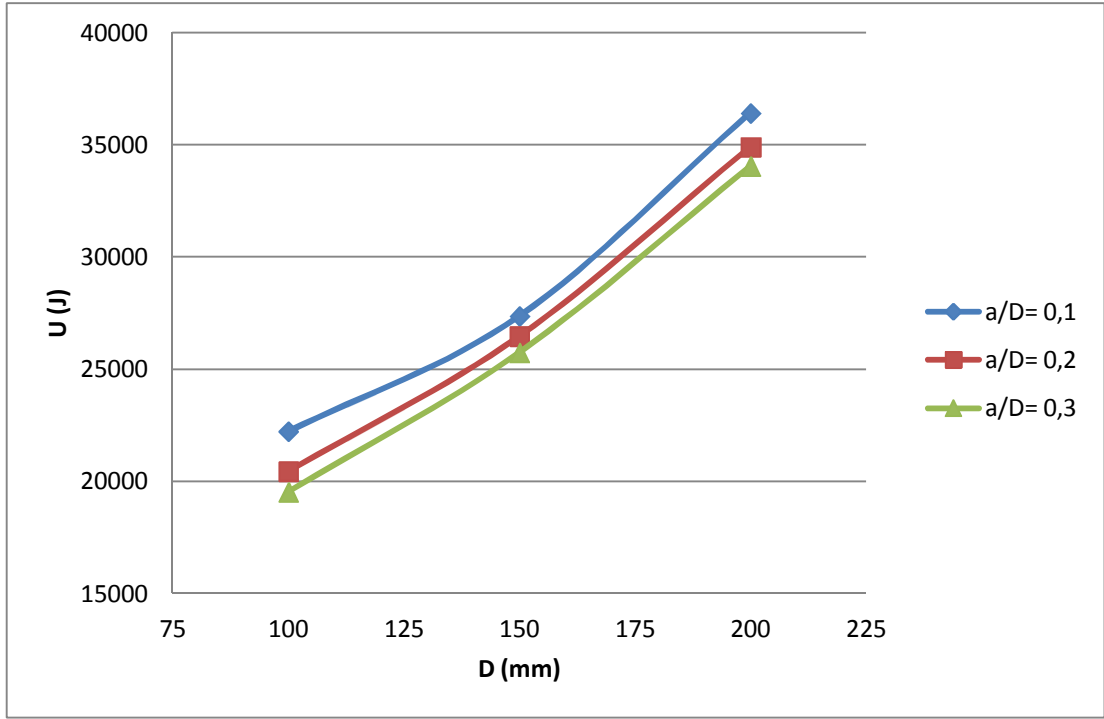
### 6.1. Çarpma Dayanımı

Charpy deneyine tabii tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla, kırılmada gereken potansiyel enerji (U), serilerin çarpma dayanım (Ç) değerleri hesaplanmıştır. Bu verilere uygun olarak oluşan ortalama potansiyel enerjiler  $U_{ort}$  ve ortalama çarpma dayanımı  $\bar{C}_{ort}$  değerleri Tablo 5.5.'te verilmiştir.

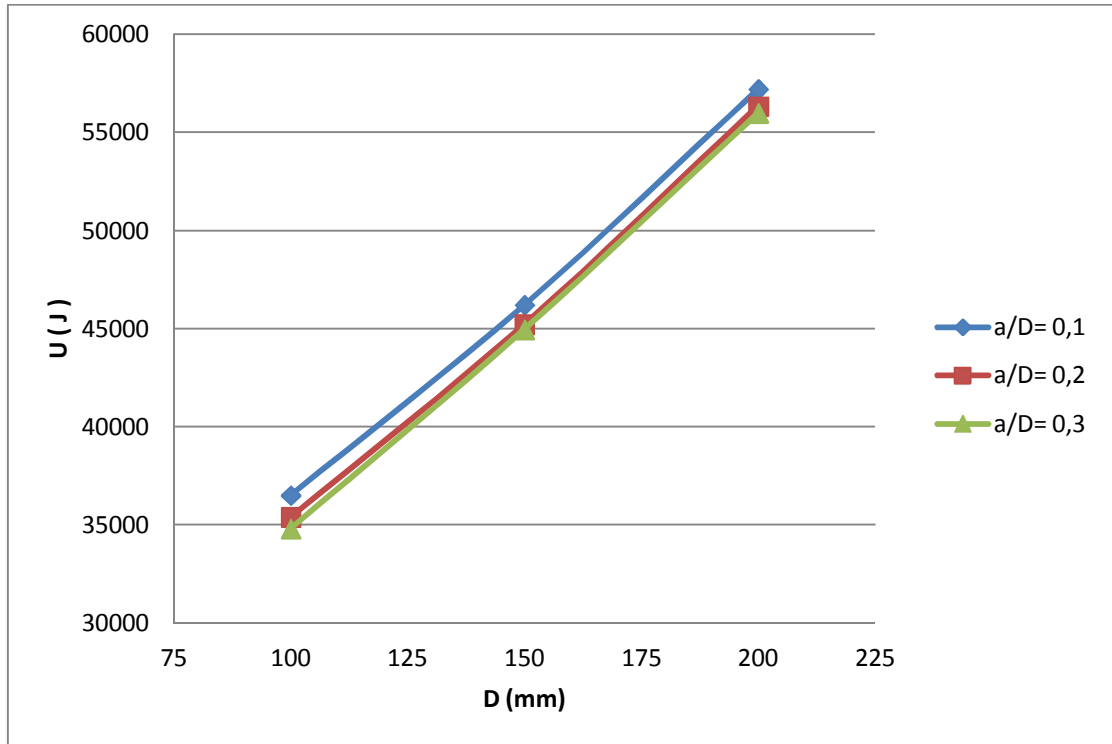
**Tablo 5.5.**  $U_{ort}$  ve  $\bar{C}_{ort}$  değerleri

| Seri No  | Boyutlar (mm) |     |    | $U_{ort}$<br>(N.mm)<br>(J) | $\bar{C}_{ort}$<br>(N.mm/mm <sup>2</sup> )<br>(J/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|---------------|-----|----|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|          | D             | L   | a  |                            |                                                                    |
| Seri I   | 100           | 400 | 10 | 22239,07                   | 4,94                                                               |
|          |               |     | 20 | 20454,83                   | 5,11                                                               |
|          |               |     | 30 | 19533,98                   | 5,58                                                               |
| Seri II  | 150           | 600 | 15 | 27373,92                   | 4,06                                                               |
|          |               |     | 30 | 26467,41                   | 4,41                                                               |
|          |               |     | 45 | 25737,60                   | 4,90                                                               |
| Seri III | 200           | 800 | 20 | 36414,59                   | 4,05                                                               |
|          |               |     | 40 | 34903,05                   | 4,36                                                               |
|          |               |     | 60 | 34049,91                   | 4,86                                                               |
| Seri IV  | 100           | 250 | 10 | 36517,59                   | 8,12                                                               |
|          |               |     | 20 | 35410,06                   | 8,85                                                               |
|          |               |     | 30 | 34823,04                   | 9,95                                                               |
| Seri V   | 150           | 375 | 15 | 46213,04                   | 6,85                                                               |
|          |               |     | 30 | 45226,52                   | 7,54                                                               |
|          |               |     | 45 | 44963,64                   | 8,56                                                               |
| Seri VI  | 200           | 500 | 20 | 57197,18                   | 6,36                                                               |
|          |               |     | 40 | 56329,98                   | 7,04                                                               |
|          |               |     | 60 | 55979,24                   | 8,00                                                               |

Kırılma için gerekli olan potansiyel enerjinin ( $U_{ort}$ )  $L/D=4$  ve  $L/D=2,5$  oranları için grafikler Şekil 5.17. ve Şekil 5.18.' te verilmiştir. Şekil 5.19.'te potansiyel enerjinin  $L/D$  oranlarına ait bütün değerler bir arada gösterilmiştir.

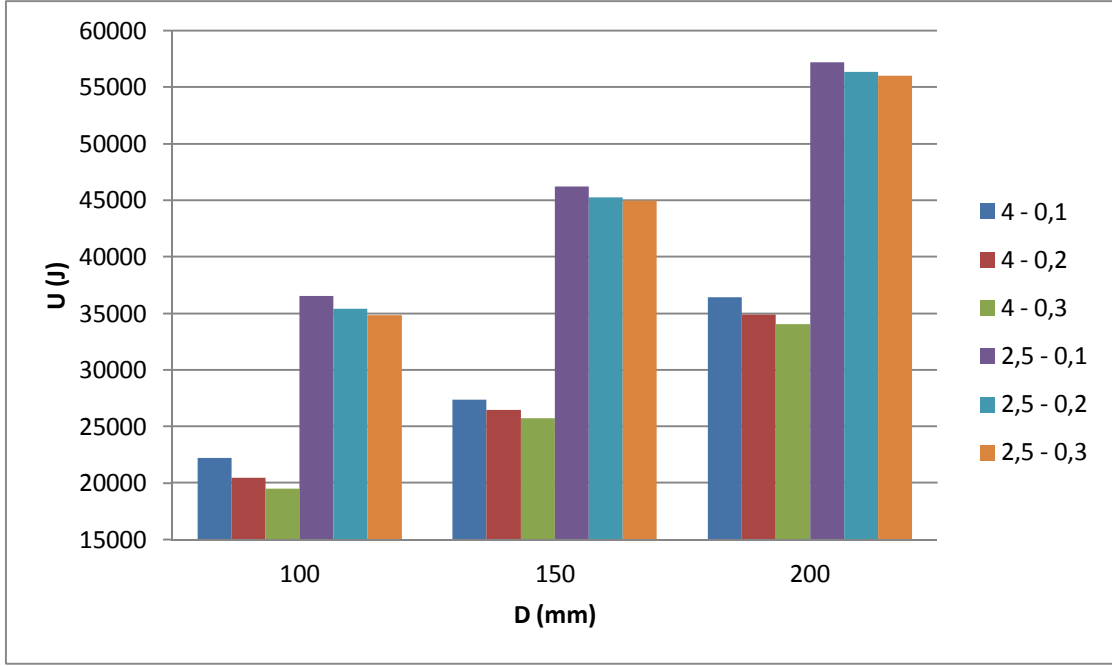


Şekil 5.17. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin  $L/D=4$  oranına göre ortalamaları



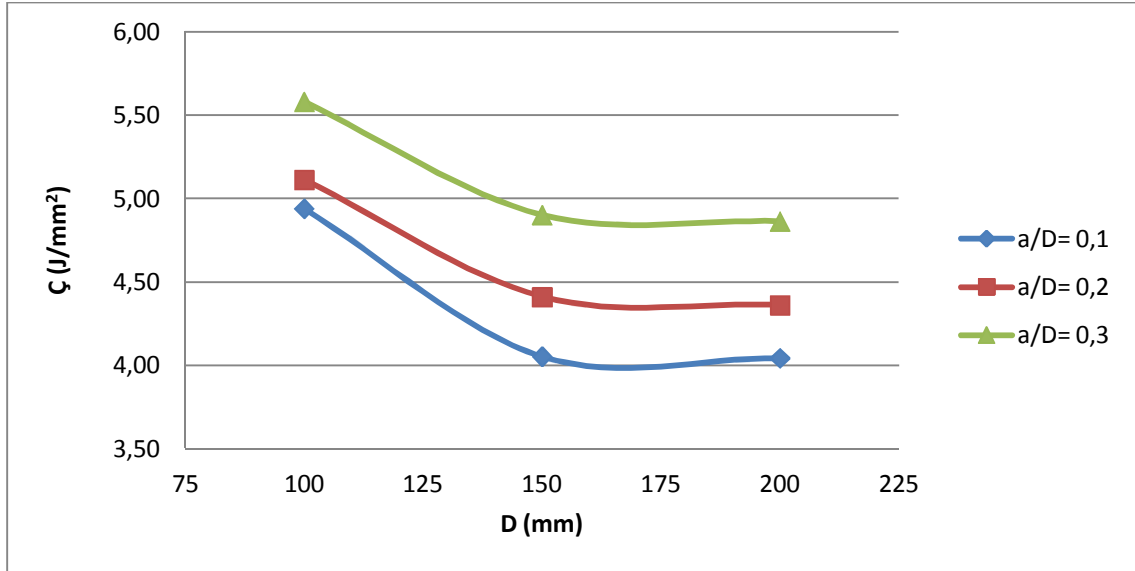
Şekil 5.18. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin  $L/D=2,5$  oranına göre ortalamaları



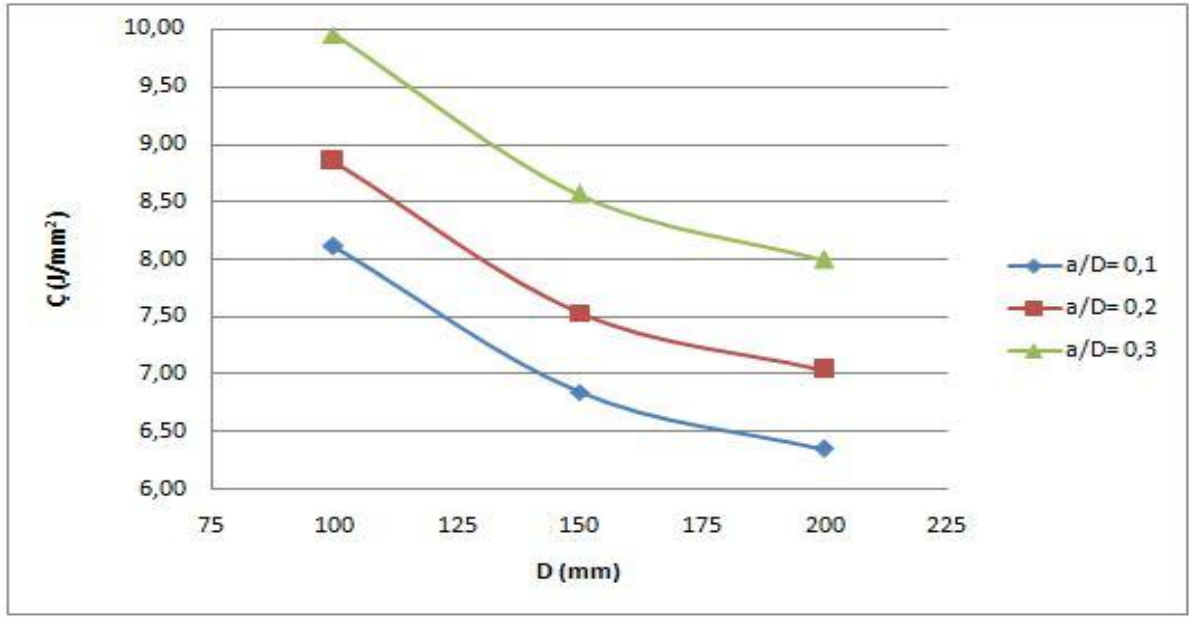


Şekil 5.19. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin ( $U_{ort}$ ) ortalamaları

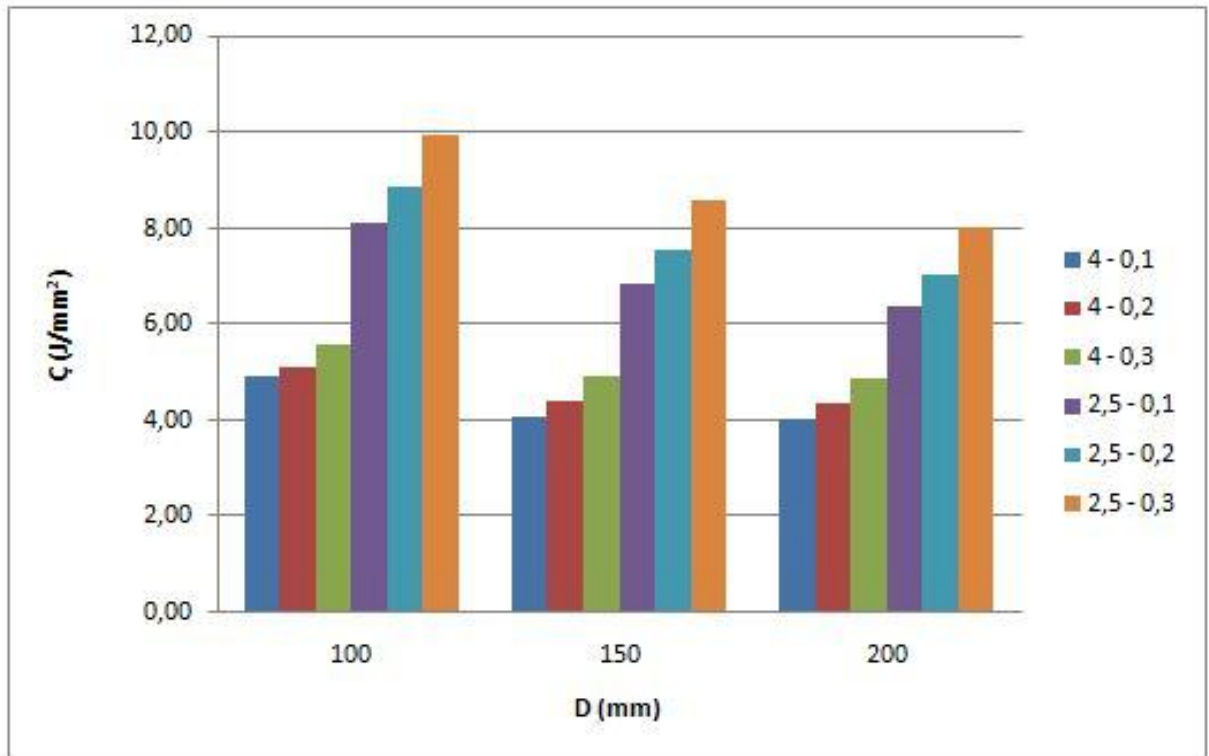
Serilerin hesaplanan çarpma dayanımları ( $\dot{C}$ ) değerleriyle bulunan  $\dot{C}_{ort}$  değerlerinin  $L/D=4$  ve  $L/D=2,5$  oranlarına göre hazırlanmış grafikleri Şekil 5.20. ve Şekil 5.21.'de verilmiştir. Şekil 5.22.'de  $\dot{C}_{ort}$  değerlerinin  $L/D$  oranlarına ait bütün değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.20.  $L/D=4$  oranına göre  $\dot{C}_{ort}$  değerleri



Şekil 5.21.  $L/D=2,5$  oranına göre  $\bar{Ç}_{ort}$  değerleri



Şekil 5.22. Çarpma dayanımı ortalamaları ( $\bar{Ç}_{ort}$ )

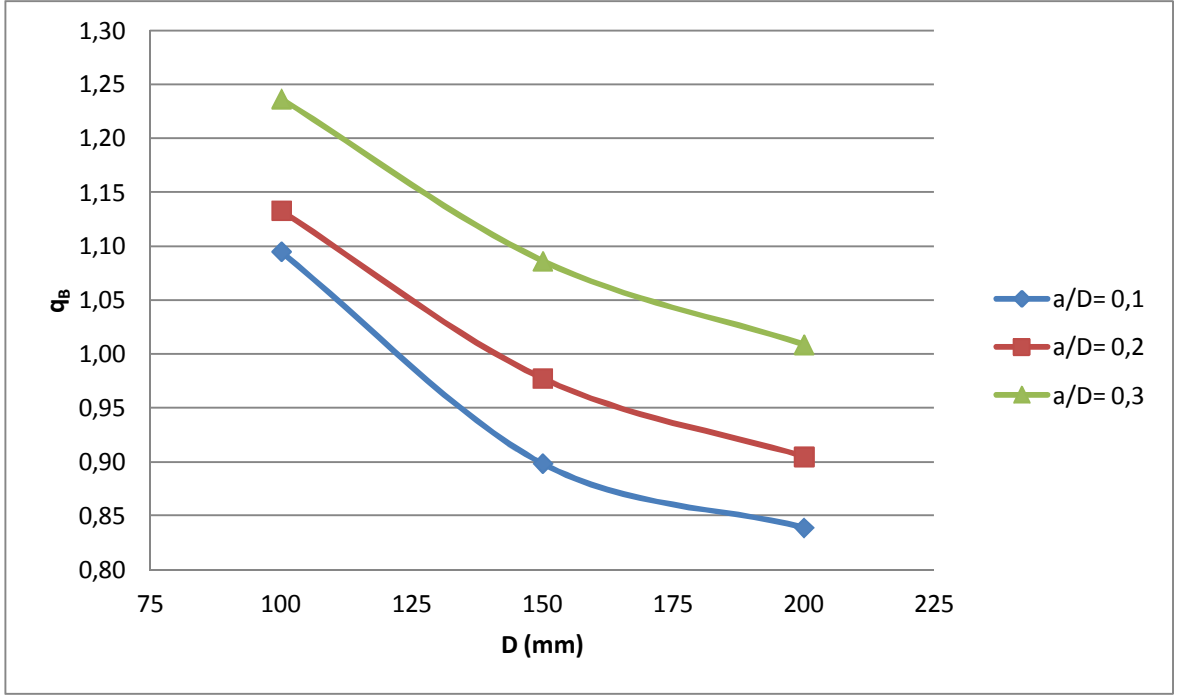
## 6.2. Basınç Dayanımı

Basınç deneyine tabii tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla kırılma yükleri bulunmuş ve MPa cinsinden basınç dayanımları hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması  $\sigma_{ort}$  alınarak basınç dayanımları bulunmuştur. Basınç dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında  $q_B$  değerlerinin hesaplanması için  $q_{ort} = \frac{\zeta_{ort}}{\sqrt{\sigma_{ort}}}$  formülünden faydalanılmıştır. Bulunan değerler Tablo 5.6'.te verilmiştir.

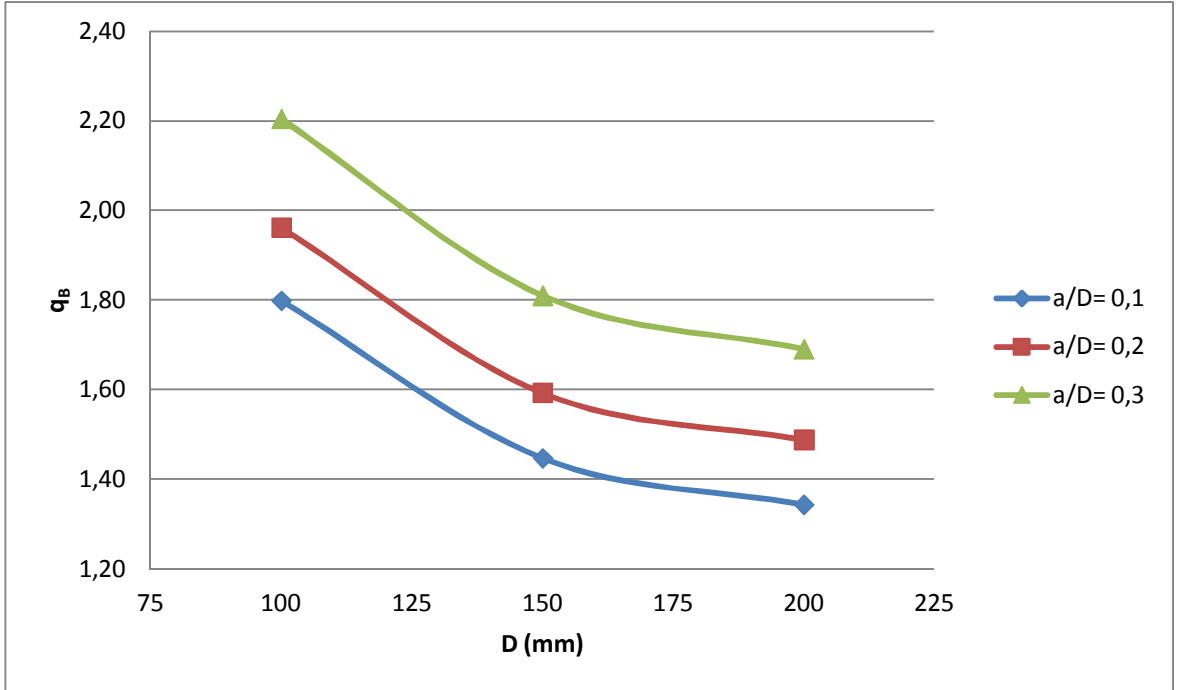
**Tablo 5.6.** Serilerin basınç dayanımları ve  $q_B$  değerleri

| Seri No  | Boyutlar (mm) |     |    | BASINÇ                                 |                                                                  |           |
|----------|---------------|-----|----|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | D             | L   | a  | $\sigma_{ort}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\zeta_{ort}$<br>(N.mm/mm <sup>2</sup> )<br>(J/mm <sup>2</sup> ) | $q_{ort}$ |
| Seri I   | 100           | 400 | 10 | 20,36                                  | 4,94                                                             | 1,095     |
|          |               |     | 20 |                                        | 5,11                                                             | 1,133     |
|          |               |     | 30 |                                        | 5,58                                                             | 1,237     |
| Seri II  | 150           | 600 | 15 | 20,36                                  | 4,06                                                             | 0,899     |
|          |               |     | 30 |                                        | 4,41                                                             | 0,978     |
|          |               |     | 45 |                                        | 4,90                                                             | 1,086     |
| Seri III | 200           | 800 | 20 | 23,24                                  | 4,05                                                             | 0,839     |
|          |               |     | 40 |                                        | 4,36                                                             | 0,905     |
|          |               |     | 60 |                                        | 4,86                                                             | 1,009     |
| Seri IV  | 100           | 250 | 10 | 20,36                                  | 8,12                                                             | 1,798     |
|          |               |     | 20 |                                        | 8,85                                                             | 1,962     |
|          |               |     | 30 |                                        | 9,95                                                             | 2,205     |
| Seri V   | 150           | 375 | 15 | 22,40                                  | 6,85                                                             | 1,447     |
|          |               |     | 30 |                                        | 7,54                                                             | 1,593     |
|          |               |     | 45 |                                        | 8,56                                                             | 1,810     |
| Seri VI  | 200           | 500 | 20 | 22,40                                  | 6,36                                                             | 1,343     |
|          |               |     | 40 |                                        | 7,04                                                             | 1,488     |
|          |               |     | 60 |                                        | 8,00                                                             | 1,690     |

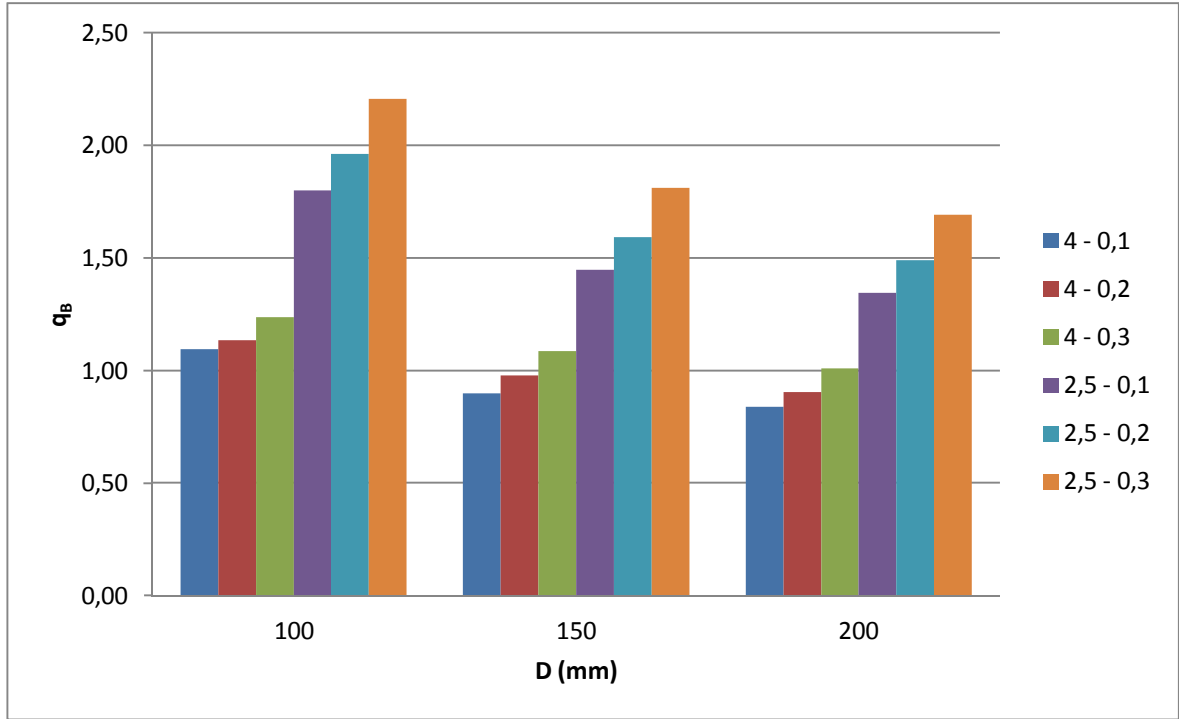
Basınç dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında hesaplanan  $q$  değerlerinin  $L/D=4$  ve  $L/D=2,5$  oranlarına ait grafikleri Şekil 5.23. ve 5.24.'te verilmiştir.  $q_{ort}$  değerlerinin  $L/D$  oranlarına ait bütün değerleri de Şekil 5.25.' te gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Basınç dayanımında  $L/D=4$  oranına göre  $q_{ort}$  değerleri



Şekil 5.24. Basınç dayanımında  $L/D=2,5$  oranına göre  $q_{ort}$  değerleri



Şekil 5.25. Basınç dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki  $q_{ort}$  değerleri

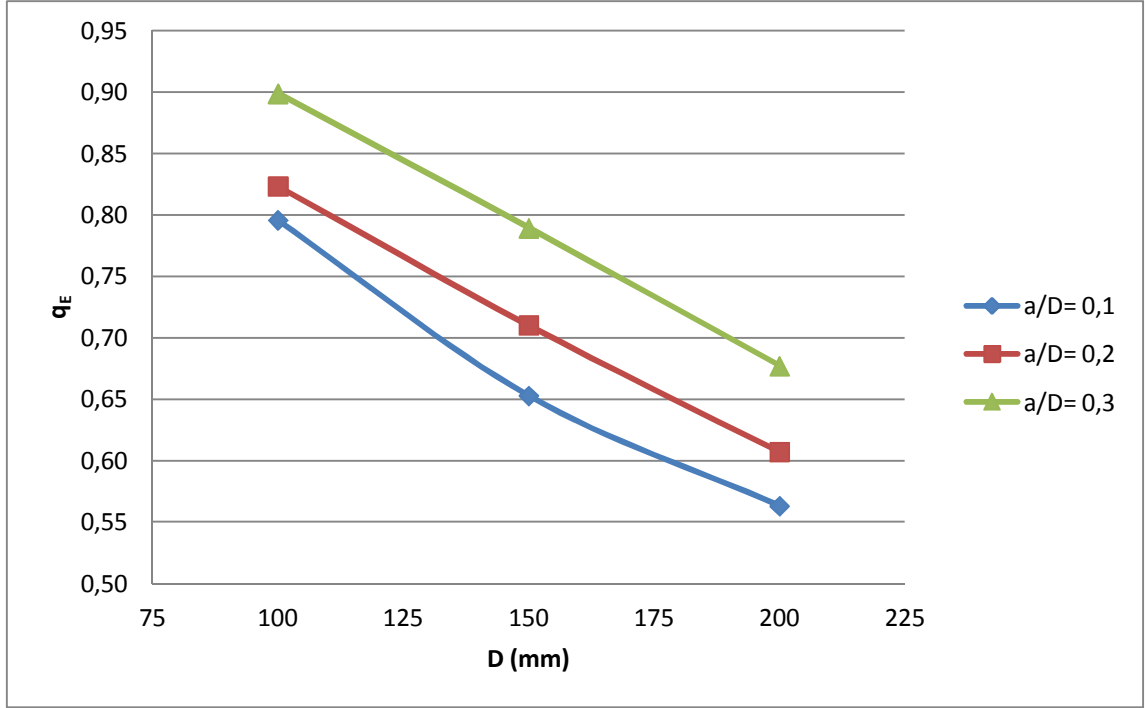
### 6.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

Eğilme çekme deneyine tabii tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla kırılma yükleri bulunmuş ve MPa cinsinden eğilmede çekme dayanımları hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması  $f_{ct_{ort}}$  alınarak eğilmede çekme dayanımları bulunmuştur. Eğilmede çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında  $q_{ort}$  değerleri de hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 5.7’te verilmiştir.

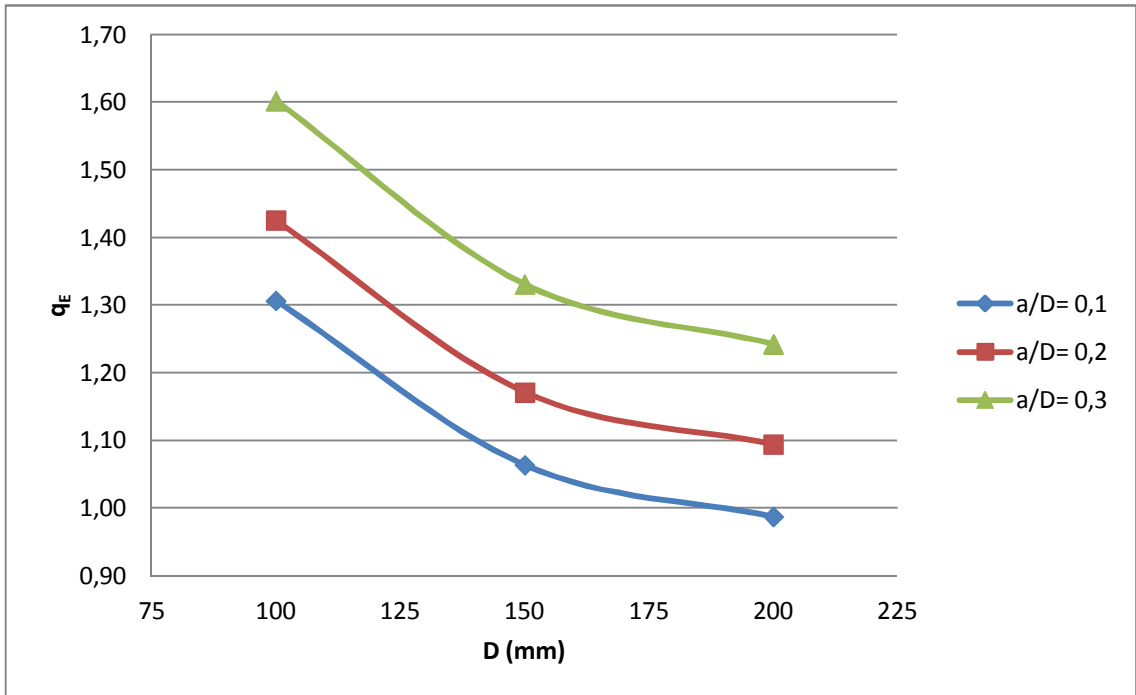
**Tablo 5.7.** Eğilmede çekme dayanımı ortalamaları ( $f_{ct_{ort}}$ ) ve  $q_{ort}$  değerleri

| Seri No  | Boyutlar (mm) |     |    | EĞİLMEDE ÇEKME                         |                                                                    |           |
|----------|---------------|-----|----|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | D             | L   | a  | $F_{ct_{ort}}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\bar{C}_{ort}$<br>(N.mm/mm <sup>2</sup> )<br>(J/mm <sup>2</sup> ) | $q_{ort}$ |
| Seri I   | 100           | 400 | 10 | 6,21                                   | 4,94                                                               | 0,796     |
|          |               |     | 20 |                                        | 5,11                                                               | 0,823     |
|          |               |     | 30 |                                        | 5,58                                                               | 0,899     |
| Seri II  | 150           | 600 | 15 | 6,21                                   | 4,06                                                               | 0,653     |
|          |               |     | 30 |                                        | 4,41                                                               | 0,710     |
|          |               |     | 45 |                                        | 4,90                                                               | 0,789     |
| Seri III | 200           | 800 | 20 | 7,18                                   | 4,05                                                               | 0,563     |
|          |               |     | 40 |                                        | 4,36                                                               | 0,607     |
|          |               |     | 60 |                                        | 4,86                                                               | 0,677     |
| Seri IV  | 100           | 250 | 10 | 6,21                                   | 8,12                                                               | 1,307     |
|          |               |     | 20 |                                        | 8,85                                                               | 1,426     |
|          |               |     | 30 |                                        | 9,95                                                               | 1,602     |
| Seri V   | 150           | 375 | 15 | 6,44                                   | 6,85                                                               | 1,064     |
|          |               |     | 30 |                                        | 7,54                                                               | 1,171     |
|          |               |     | 45 |                                        | 8,56                                                               | 1,331     |
| Seri VI  | 200           | 500 | 20 | 6,44                                   | 6,36                                                               | 0,988     |
|          |               |     | 40 |                                        | 7,04                                                               | 1,094     |
|          |               |     | 60 |                                        | 8,00                                                               | 1,243     |

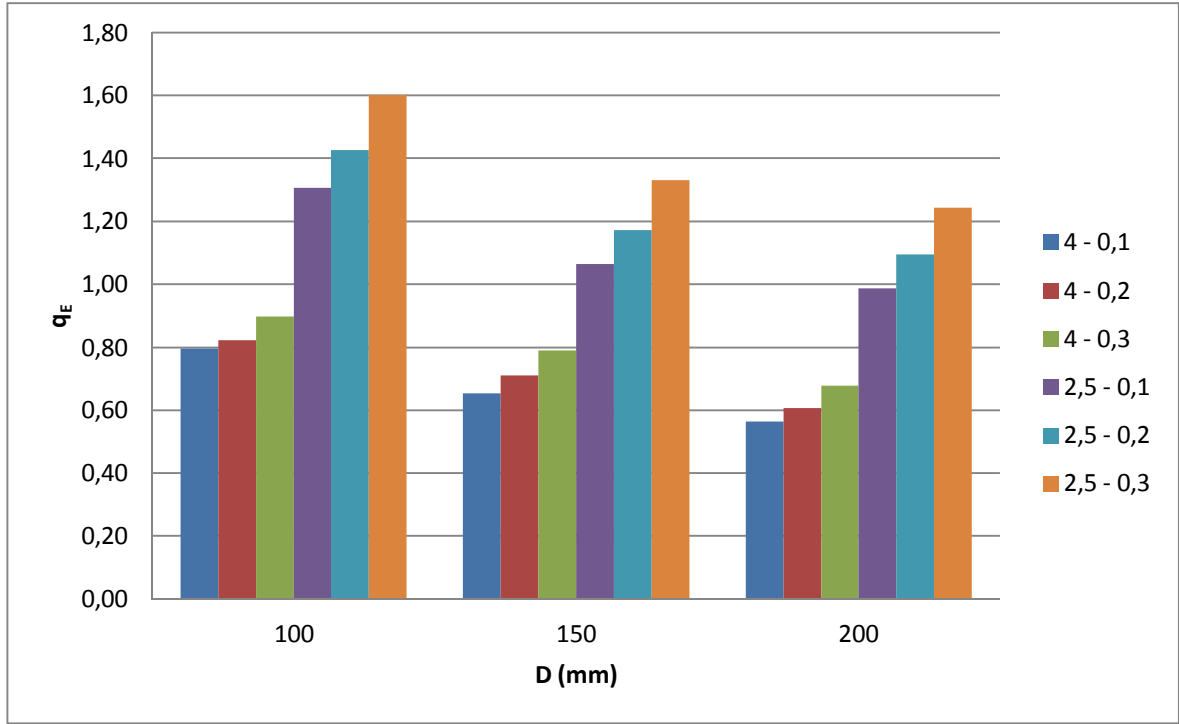
Eğilmede çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında hesaplanan  $q_{ort}$  korelasyon değerlerinin  $L/D=4$  ve  $L/D=2,5$  oranlarına ait grafikleri Şekil 5.26. ve 5.27.’de verilmiştir.  $q_{ort}$  değerlerinin  $L/D$  oranlarına ait bütün değerleri de Şekil 5.28.’de gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Eğilmede çekme dayanımında  $L/D=4$  oranına göre  $q_{ort}$  değerleri



Şekil 5.27. Eğilmede çekme dayanımında  $L/D=2,5$  oranına göre  $q_{ort}$  değerleri



**Şekil 5.28.** Eğilmede çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki  $q_{ort}$  değerleri



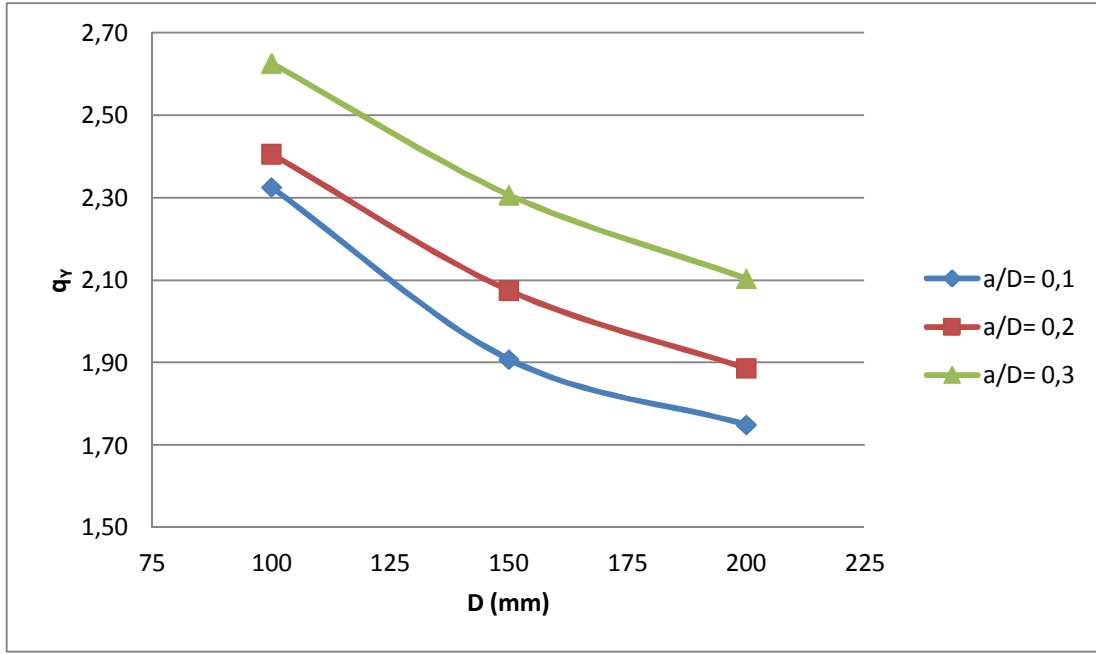
#### 6.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme deneyine tabii tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla kırılma yükleri bulunmuş ve MPa cinsinden yarmada çekme dayanımları hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması  $f_{ctort}$  alınarak yarmada çekme dayanımları bulunmuştur. Yarmada çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında  $q_{ort}$  değerleri  $q_{ort} = \frac{C_{ort}}{f_{ct}}$  formülünden faydalanılarak hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 5.8.'te verilmiştir.

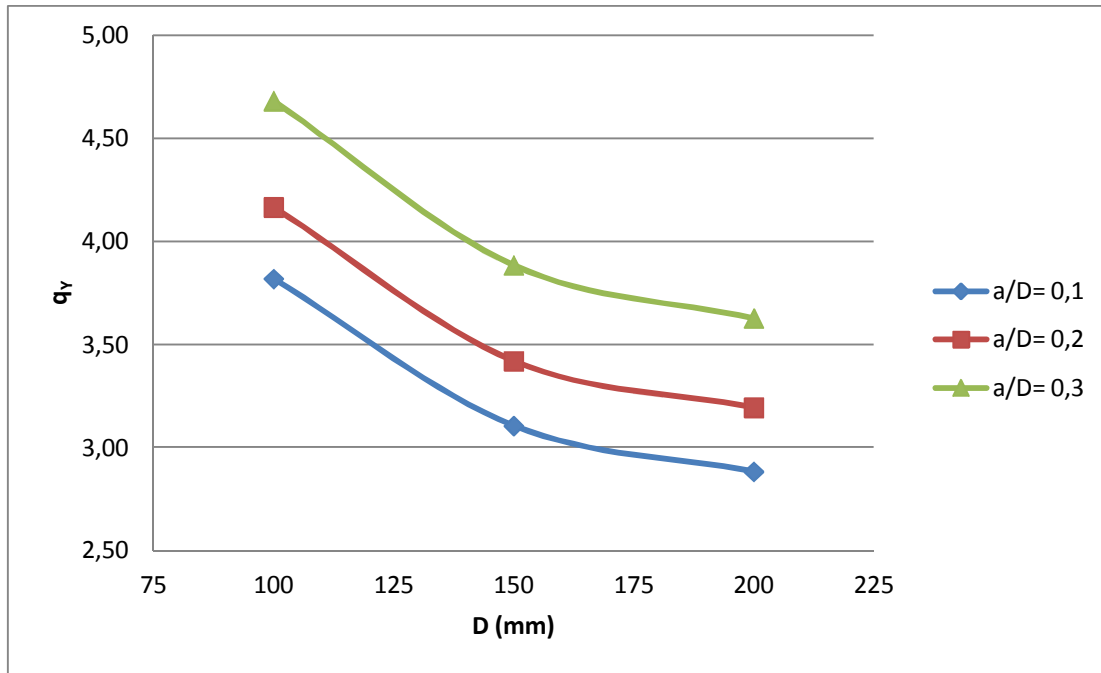
**Tablo 5.8.** Yarmada çekme dayanımı ortalamaları ( $f_{ctort}$ ) ve  $q_{ort}$  değerleri

| Seri No  | Boyutlar (mm) |     |    | YARMADA ÇEKME                     |                                                         |           |
|----------|---------------|-----|----|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|
|          | D             | L   | a  | $f_{ctort}$ (N /mm <sup>2</sup> ) | $C_{ort}$ (N.mm /mm <sup>2</sup> ) (J/mm <sup>2</sup> ) | $q_{ort}$ |
| Seri I   | 100           | 400 | 10 | 2,13                              | 4,94                                                    | 2,325     |
|          |               |     | 20 |                                   | 5,11                                                    | 2,406     |
|          |               |     | 30 |                                   | 5,58                                                    | 2,626     |
| Seri II  | 150           | 600 | 15 | 2,13                              | 4,06                                                    | 1,908     |
|          |               |     | 30 |                                   | 4,41                                                    | 2,076     |
|          |               |     | 45 |                                   | 4,90                                                    | 2,307     |
| Seri III | 200           | 800 | 20 | 2,31                              | 4,05                                                    | 1,750     |
|          |               |     | 40 |                                   | 4,36                                                    | 1,887     |
|          |               |     | 60 |                                   | 4,86                                                    | 2,104     |
| Seri IV  | 100           | 250 | 10 | 2,13                              | 8,12                                                    | 3,818     |
|          |               |     | 20 |                                   | 8,85                                                    | 4,165     |
|          |               |     | 30 |                                   | 9,95                                                    | 4,682     |
| Seri V   | 150           | 375 | 15 | 2,20                              | 6,85                                                    | 3,105     |
|          |               |     | 30 |                                   | 7,54                                                    | 3,419     |
|          |               |     | 45 |                                   | 8,56                                                    | 3,884     |
| Seri VI  | 200           | 500 | 20 | 2,20                              | 6,36                                                    | 2,882     |
|          |               |     | 40 |                                   | 7,04                                                    | 3,194     |
|          |               |     | 60 |                                   | 8,00                                                    | 3,627     |

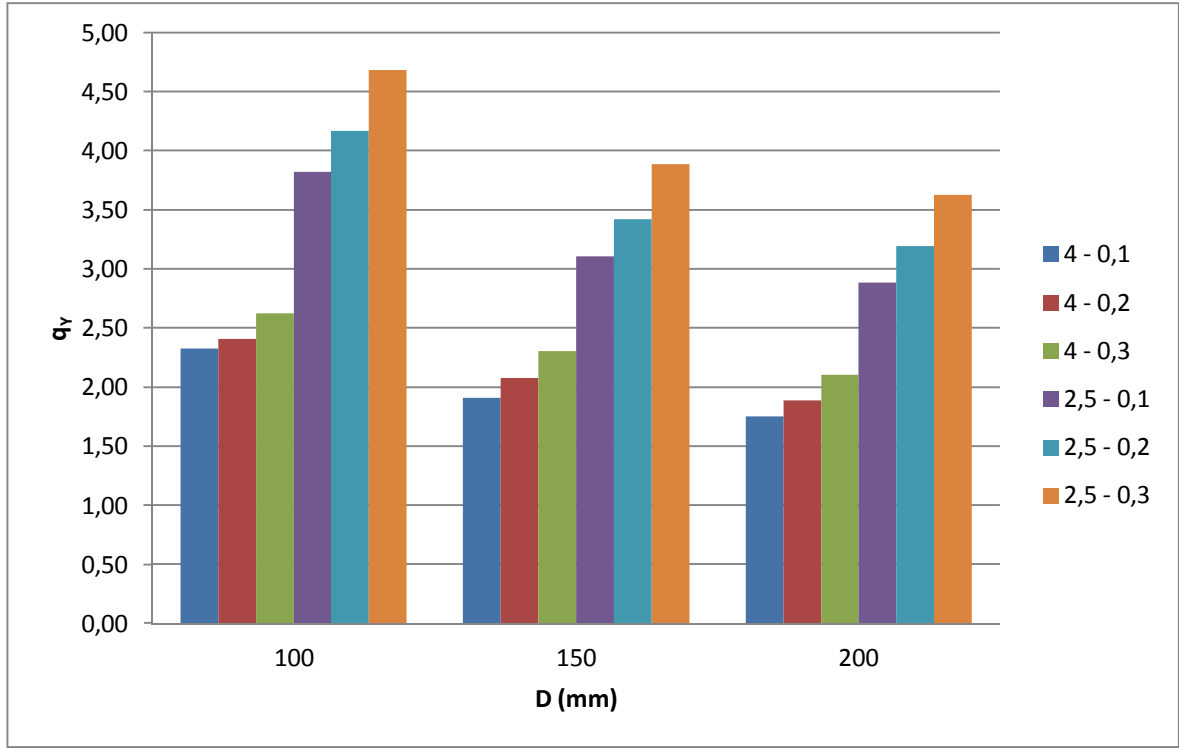
Yarmada çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında hesaplanan  $q_{ort}$  korelasyon değerlerinin  $L/D=4$  ve  $L/D=2,5$  oranlarına ait grafikleri Şekil 5.29 ve 5.30.'da verilmiştir.  $q_{ort}$  değerlerinin  $L/D$  oranlarına ait bütün değerleri de Şekil 5.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Yarmada çekme dayanımında  $L/D=4$  oranına göre  $q_{ort}$  değerleri



Şekil 5.30. Yarmada çekme dayanımında  $L/D=2,5$  oranına göre  $q_{ort}$  değerleri



**Şekil 5.31.** Yarmada çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki  $q_{ort}$  değerleri

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen deneysel verilerin analizleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Numunelerin başlangıç çatlak boyu ( $a$ ) değerinin, numune genişliği ( $D$ ) değerine oranı ( $a/D$ ) arttıkça faydalı enkesit alanının azalmasından dolayı kırılmada gerekli olan potansiyel enerji ( $U$ ) değerleri azalmıştır. Fakat çarpma dayanım ( $\bar{C}$ ) değerleri artmıştır. Bu olay boyut etkisine uymaktadır. Yani numune boyutu büyüdükçe karşıladığı yük artarken nominal dayanımda düşme oluşur.
2. Numune genişliği ( $D$ ) ve başlangıç çatlak boyu ( $a$ ) değerleri aynı olan numunelerde mesnet aralığının ( $L$ ) artışıyla birlikte ( $L/D$  oranındaki artışla) kırılmada gerekli olan potansiyel enerji ( $U$ ) değerleri azalmıştır. Bu azalmayla birlikte çarpma dayanımın değerleri de azalmıştır.
3. Çarpma dayanımları ile çekme dayanımları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla çarpma dayanımları diğer dayanım değerlerine oranlanarak “ $q$ ” değerleri bulunmuştur. Bu değerler hesaplanırken basınç dayanımının karekökü alınarak yaklaşık çekme dayanımı bulunmuştur. Eğilmede ve yarmada çekme dayanımları direk alınmıştır. Bu değerlere baktığımızda çarpma dayanımıyla benzerlikler göstermektedir.

Charpy metodu ile deneyler yapılırken sistemin kendisinden ve sistemden bağımsız olarak meydana gelen enerji kayıplarından dolayı kırılma enerjisinin gerçek değerini vermemektedir. Sistemin kendisinden dolayı enerji kaybı; yataklar, hava v.b. sebepler sonucu meydana gelen sürtünmelerdendir. Bu kayıplar bütün deneylerde aynı oranlarda olduğundan dolayı ihmal edilmiştir. Sistemden bağımsız enerji kayıplarına çarpma hızı, mesnet aralığı gibi sebepler etkili olmaktadır. Buradaki kayıpları minimuma indirmek için doğru düşme açısı belirlenmeli ve buna göre deneyler yapılmalıdır. Ayrıca bu etkenlere bağlı olarak düzeltme katsayısı hesaplanmalı ve çarpma dayanım sonuçları düzeltme katsayısı ile oranlanarak nihai değere ulaşılmalıdır. Bu şekilde daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Erdoğan, Y.T.**, 2003. Beton, ODTU Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve iletişim A.Ş., ANKARA.
- [2] **Postacıoğlu, B.**, 1987. Bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton, Teknik kitaplar yayınevi. Cilt 2.İSTANBUL.
- [3] **Kaymaz, K.**, 2011. Betonun mekanik özelliklerinin çarpma dayanımına etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [4] **Kantar, E., Arslan, A. ve Anıl, Ö.** 2011. Effect of concrete compressive strength variation on impact behaviour, *J.Fac.Eng.Arch.Gazi Univ.*Vol 26 No 1, 115-123
- [5] **Selvi, M.**, 2008. Beton dayanımındaki değişimin çarpma dayanımına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü,Ankara.
- [6] **Koç, V.** 2006. Farklı mesnetlenme şartları altında betonda boyut etkisi ve kırılma parametreleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.Cilt 24*.
- [7] **Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A. N. ve Yerlikaya, M.** Betonun performansa göre tasarımında yeni gelişmeler
- [8] **İnce, R.** 1998. Betonarme yapı elemanlarında basınç-kesme kırılmasının ve boyut etkisinin deneysel ve numerik olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [9] **Koç, V.** 2007. Beton boyut etkisi ve kırılma parametrelerinin tespiti, *BAÜ FBE Dergisi* Cilt:9, Sayı:2, 150-166.
- [10] **Cement and Concrete Terminology**, 1994. ACI Manual of Concrete Practice, PartI, ACI Committe 116, (116R-90).
- [11] **İSTANBÜLLÜOĞLÜ, S.** 1988. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Rangle Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, *MADENCİLİK, Cilt XXVII,Sayı No 3*
- [12] **TS EN 12390-6**, 2002. Betonda yarmada çekme dayanımı deneyi tayini, TSE, Ankara.

- [13] **Baradan, B., 1996.** Yapı Malzemesi II,*Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:207*, İzmir.
- [14] **Postacıoğlu, B., 1987.** Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Cilt 1*, İstanbul.
- [15] **ASTM C 496, 1994.** Standart test method for split tensile strength of cylindrical concrete specimens, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [16] **TS EN 12390-5, 2002.** Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, TSE, Ankara.
- [17] **ASTM C 293, 1994.** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete, *Annual Book of ASTM Standards*.
- [18] **TS 802, 2009.** Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara.
- [19] **ASTM C 78, 1994.** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) , *Annual Book of ASTM Standards*.
- [20] **Güner, M.S., Süme, V., 2000.** Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi, Ankara.
- [21] Anonim, Betonda nitelik denetimi.
- [22] **Arıcı, E., 2010.** Betonun Çarpma Mukavemeti Üzerine Basınç Dayanımının Etkisi,*Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi Cilt 9,Sayı 1-2010*.
- [23] **Arıcı, E., Dursun, R. ve İnce, R., 2007.** Betonun çarpma mukavemetinin tespiti, 8. *Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı 7 – 9 Kasım 2007*.
- [24] **Yazıcıoğlu, S., Gönen, T. ve Çobaoğlu, Ö.C., 2005.** Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonun Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.*
- [25] **Esen, Y., 2003.** Poliakrilonitril lif takviyeli betonların mekanik özelliklerinin ve kullanılabilirliğinin araştırılması, *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(1), 47-54, 2003*.
- [26] **Toptaş, E., 2011.** Agrega tipinin betonun çarpma dayanımına etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,Elazığ.

- [27] **Küden, B., 2011.** Çimento dozajı ve agrega granülometrisinin betonun çarpma dayanımı üzerine etkisinin incelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,Elazığ.
- [28] **TS 706 EN 12620+A1, 2009.** Beton Agregaları, TSE, Ankara.
- [29] **TS EN 197-1, 2012.** Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1982 yılında Hatay’da dünyaya gelen Hakan KINA, ilk ve orta öğrenimini Hatay’da tamamladı. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Öğretmenliği bölümünü kazanmış ve 2007 yılında mezun olmuştur. 2009 yılında F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.