

**İZOD METODUNDA BETON NUMUNE BOYUTUNUN
ÇARPMA DAYANIMINA ETKİSİ**

Zafer KOCALMIŞ

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

OCAK-2014

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZOD METODUNDA BETON NUMUNE BOYUTUNUN
ÇARPMA DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Zafer KOCALMIŞ

(092125105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 13/01/2014

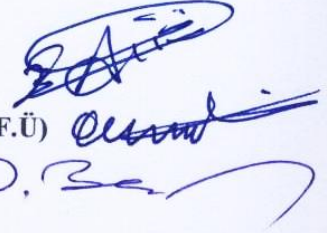
Tezin Savunulduğu Tarih: 31/01/2014

Tez Danışmanı:
Diğer Jüri Üyeleri:

Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü)

Doç. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR (F.Ü)

Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü)



OCAK-2014

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim süresince gerek derslerimde, gerekse tez çalışmamda bilgi, görüş ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, tez çalışması süresince engin hoşgörüsünü eksik etmeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI' ya ve çalışmanın her aşamasında büyük bir özveriyle yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Hakan KINA ve deneysel çalışmalarım sırasında teknik desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Yapı Eğitimi Bölümü sayın hocalarına ve teknik personeline sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Zafer KOCALMIŞ
ELAZIĞ- 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. BETONUN BİLEŞENLERİ.....	3
2.1. Çimento	4
2.2. Agreg a ve Özellikleri	4
2.2.1. Doğal Agreg a	5
2.2.2. Yapay Agreg a	5
2.2.3. İri Agreg a.....	5
2.2.4. Çakıl	6
2.2.5. Kırma Taş	6
2.2.6. Kum	6
2.2.7. Kırma Kum	6
2.2.8. Karışık Agreg a	6
2.2.9. Doğal Karışık Agreg a (Tüvanan Agreg a)	6
2.2.10. Hazır Karışık Agreg a.....	6
2.2.11. Agreg alarda Aranan Özellikler	7
2.3. Karma Suyu	7
2.4. Kimyasal Katkılar	7
3. BETON DENEYLERİ VE BETON DAYANIMINI ETKİLEYEN	
FAKTÖRLER	9
3.1. Tahribatsız Deneyler	9
3.2. Tahribatlı Deneyler	10
3.2.1. Basınç Dayanımı	10
3.2.1.1. Basınç Dayanımına Etki Eden Etkenler	12

3.2.1.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonucunda Elde Edilen Basınç Dayanımına Etki Eden Etkenler	13
3.2.2. Çekme Dayanımı.....	13
3.2.2.1. Doğrudan Çekme Dayanımı	14
3.2.2.2. Yarmada Çekme Deneyi.....	15
3.2.3. Eğilme Dayanımı	16
3.2.4. Yorulma Dayanımı	18
3.2.4.1. Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi, Poisson Oranı, Elastiklik Modülü ve Kayma Modülü	19
3.2.4.2. Sünme	20
3.3. Betonun Dayanımını Etkileyen Faktörler	21
3.3.1. Çimentonun Etkisi.....	21
3.3.2. Betonun Yaşının Dayanıma Etkisi	22
3.3.3. Su/Çimento Oranının (Kıvamın) Basınç Dayanımına Etkisi.....	22
3.3.4. Betonun Yerleştirilmesi.....	24
3.3.5. Agrega Granülometrisinin ve Çapının Basınç Dayanımına Etkisi	24
3.3.6. Betonun Bakımı ve Kürü	25
3.3.7. Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi	25
4. ÇARPMA DAYANIMI	27
4.1. Darbe Deneyi	27
4.2. Sarkaç Hareketinin Mekanik Olarak İncelenmesi.....	28
4.3. Sarkaçtaki Mekanik Enerjinin İncelenmesi	30
4.4. Çarpma Deney Metotları	31
4.4.1. İzod Darbe Deneyi	31
4.5. Betonda Çarpma Dayanımı İle İlgili Literatür Çalışması.....	33
5. MATERYAL ve METOT	37
5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	37
5.1.1. Çalışmada kullanılan agrega	38
5.1.2. Çalışmada Kullanılan Çimento	38
5.1.3. Karışım Suyu	39
5.1.4. Numune Kalıpları.....	39
5.2. Basınç Dayanımı Deneyi	41
5.3. Eğilmede Çekme Deneyi	43

5.4.	Yarmada Çekme Deneyi.....	43
5.5.	Çarpma Dayanımı Deneyi	44
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
6.1.	Çarpma Dayanımı	47
6.2.	Basınç Dayanımı	50
6.3.	Eğilmede Çekme Dayanımı	52
6.4.	Yarmada Çekme Dayanımı.....	54
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER	57
	KAYNAKLAR	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÖZET

Beton ve betonarme elemanlar kullanım yerlerine göre farklı etkilere maruz kalırlar. Bu etkilerden basınç ve çekme kuvvetlerine karşı betonun davranışı üzerine birçok 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 boyutunun betonun çarpma dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, çarpma mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deneylerde max. agrega 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, faydalı kesit alanı azaldıkça numunenin kırılması için gereken enerjinin azaldığı, arttıkça da kırılması için gereken enerjinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Basınç Dayanımı, Çarpma Dayanımı, İzod Metodu.

SUMMARY

EFFECT OF IMPACT STRENGTH OF CONCRETE SAMPLE SIZE IN IZOD METHOD

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 experiments, it was observed that with decreasing of the useful cross-sectional area the energy required to break the sample was decreased and with increasing of the size of the area energy required to break was increased .

Keywords: Concrete, Compressive Strength, Strength of Impact, Strength, Izod method.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Beton numuneye basınç yükü uygulanması.	12
Şekil 3.2. Numuneye doğrudan çekme yükü uygulanması.	14
Şekil3.3. Yarmada çekme deney düzeneği	15
Şekil 3.4. Yarma deneyi.....	16
Şekil 3.5. Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumunda deney düzeneği	17
Şekil 3.6. Uzunluğu L olan irişin L/3 uzaklıktaki mesafelerde yüklenmesi deney düzeneği.....	17
Şekil 3.7. Betonun tipik sünme eğrisi	20
Şekil 4.1. Bir darbe deneyinin şematik olarak gösterimi	28
Şekil 4.2. Sarkaç salınım hareketi	28
Şekil 4.3. Sarkaç kolunda oluşan gerilme kuvveti	29
Şekil 4.4. Sarkacın serbest hareket yörüngesi	30
Şekil 4.5. Çarpma deney metotları	31
Şekil 4.6. İzod deney düzeneği.....	32
Şekil 5.1. Numune kalıpları	40
Şekil 5.2. Yarmada çekme deney numuneleri.....	40
Şekil 5.3. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi	40
Şekil 5.4. Numunelerin kür tankında bekletilmesi.	41
Şekil 5.5. Basınç dayanımının ölçülmesi	42
Şekil 5.6. Basınç deney numunelerin kırıldıktan sonra aldıkları şekiller	42
Şekil 5.7. Eğileme çekme deneyi	43
Şekil 5.8. Yarmada çekme dayanımı	44
Şekil 5.9. İzod deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi.....	45
Şekil 5.10. İzod deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi	45
Şekil 5.11. İzod darbe deneyi sonucu kırılan numune	46
Şekil 6.1. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin $L/D=4$ oranına göre ortalamaları.....	48
Şekil 6.2. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin $L/D=2,5$ oranına göre ortalamaları...48	
Şekil 6.3. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin (U_{ort}) ortalamaları	49
Şekil 6.4. $L/D=4$ oranına göre $\bar{C}_{ort}$ değerleri	49
Şekil 6.7. Basınç dayanımında $L/D=4$ oranına göre q_{ort} değerleri.....	51

Şekil 6.8. Basınç dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre q_{ort} değerleri.....	52
Şekil 6.9. Basınç dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki q_{ort} değerleri	52
Şekil 6.10. Eğilmede çekme dayanımında $L/D=4$ oranına göre q_{ort} değerleri	53
Şekil 6.11. Eğilmede çekme dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre q_{ort} değerleri.....	54
Şekil 6.12. Eğilmede çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki q_{ort} değerleri	54
Şekil 6.13. Yarmada çekme dayanımında $L/D=4$ oranına göre q_{ort} değerleri	56
Şekil 6.14. Yarmada çekme dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre q_{ort} değerleri	56
Şekil 6.15. Yarmada çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki q_{ort} değerleri.....	56

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Karışım da kullanılan malzeme miktarları.....	38
Tablo 5.2. Karışım a giren agregaların fiziksel özellikleri	38
Tablo 5.3. Karışım a giren çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	39
Tablo 5.4. Deney numune kalıpları.....	39
Tablo 6.1. U_{ort} ve $\bar{C}_{ort}$ değerleri.....	47
Tablo 6.2. Serilerin basınç dayanımları ve q_B değerleri.....	51
Tablo 6.3. Eğilmede çekme dayanımı ortalamaları ($f_{ct_{ort}}$) ve q_{ort} değerleri	53
Tablo 6.4. Yarmada çekme dayanımı ortalamaları ($f_{ct_{ort}}$) ve q_{ort} değerleri.....	55

SEMBOLLER LİSTESİ

F_c	: Numunenin basma dayanımı
P	: Kırılma yükü
A	: Yüken 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
ϵ	: Birim deformasyon
ΔL	: Toplam deformasyon
$M\check{C}$	: 1 m ³ 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
β	: Düşme açısı
a	: Yükselme açısı
ω	: Sarkacın açısal frekansı
T	: Sarkaç kolundaki gerilim
m	: Ağırlık
θ_0	: Maksimum açısal yer değıştirme değeridir
E_p	: Potansiyel enerji
E_k	: Kinetik enerji
V	: Hız

1.GİRİŞ

Beton; çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilave edilerek veya edilmeden karıştırılmasıyla oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özelliği kazanan malzemedir [1]. Diğer bir ifade ile beton; kum, çakıl, kırma tas veya diğer agregaların, su, gerektiğinde bazı katkı maddeleri ile çimentonun birlikte karılmasıyla elde edilen bilesimdir. Bu bilesime giren malzemeler özel olarak oranlandığı zaman karışım, herhangi bir yere dökülebilir ve ebadı ile şekli önceden belli kalıpların şeklini alabilen plastik bir kütle meydana getirir. Çimentonun hidratasyonu sonunda beton, birçok gayeler için kullanılabilir mukavemet ve sertlik olarak taşa benzeyen bir yapı malzemesine dönüşür [2].

Beton oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeyini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. O bakımdan, beton, “çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompoziti bir malzeme” olarak da tanımlanabilmektedir [3].

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 [4].

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 [5].

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 [6].

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 [7].

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 özellikle gerilmenin yüksek olduğu yerlerde, bölgesel, matematiksel bir analiz zor veya uygulanamaz olabilir [8]. Günümüzde betonarme yapıların tasarımı yapılırken beton dayanımı esas alınır. Ancak dayanım da boyuta bağlıdır ve betonun gevrekliği ihmal edilmektedir [9]. Boyutlandırma işleminde, basınç kırılmasından uzak kalınması gerektiği dizayn şartnamesinde belirtilmiştir [10]. 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 [11].

2. BETONUN BİLEŞENLERİ

Beton, çimento, agrega (kum, çakıl) ve suyun uygun oranda karıştırılmasıyla oluşan, belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir.

Beton günümüzde hem kentsel alanda hem de kırsal alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çimento, agrega ve su ilk karıştırıldığında kolayca şekil verilebilen bir malzemedir. Bu durumdaki betona taze beton denilmektedir. Birkaç saat içerisinde beton katılaşır ve günlerce süren bir süreç sonunda sertliği artar ve dayanım kazanır. Yeterince dayanım kazanmış betona ise sertleşmiş beton denir[12].

Hem taze betondan hem de sertleşmiş betondan beklenen birçok özellikler vardır: taze beton; yeterince, işlenebilmeye sahip olmalıdır, yani, üniform, 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 [3].

2.1. Çimento

Çimento su ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Çimento su ile hidrolik reaksiyon sonucu hem havada hem de su altında katılaştıkları ve sertleştikleri için bağlayıcı olarak sınıflandırılmaktadır.

Yalnızca portland çimentosu klinker ve alçı taşının birlikte öğütülmesi sonucu elde edilmektedir. Öğütme sırasında portland çimentosu ve alçı taşına belirli miktardaki katkı maddeleri eklenirse farklı tiplerdeki katkılı çimentolar elde edilmektedir. Bu katkı kullanımı, enerji ve hammadde kaynaklarının daha az kullanılması bakımından, ekonomik açıdan önemli olmakla beraber kullanıldığı yerlerde, sülfatlı, klorürlü vs. ortamlardaki zararlı etkilere dayanıklılık açısından önem taşımaktadır. Mesela sülfat etkisine karşı dayanıklı beton yapmak amacıyla yüksek fırın cürufu veya puzolanlı ya da sülfata dayanıklı portland çimento ($C_3A < \%5$) kullanılmalı, baraj inşaatları gibi kütle betonlarında hidrasyon ısısının düşüklüğü ve maruz kalacağı su etkisine karşı dayanıklılık açısından cürufu ve puzolanik çimentolar gibi katkılı çimentolar tercih edilmelidir [4].

2.2. Agrega ve Özellikleri

Beton mukavemetine etki eden bileşenlerden biri agreganın kendi kalitesidir. Agregalar, doğal kum ve çakıl ocaklarından veya sathi tabakalar altındaki kayaların kırılması ile elde edilmektedir. Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregadır [13]. Agregalar; ince (kum) ve kaba (çakıl) olarak ikiye ayrılır. Beton elemanın maruz kaldığı basınç gerilmesine asıl iri agrega karşı koyar. Kum (Tek agrega kullanılmıyorsa), iri agregalar arasında kalan boşlukları doldurur. Çimento hamuru da kum ve iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurur ve agrega tanelerini birbirine bağlayarak çalışmaları esnasında gerilmeleri birbirlerine iletmelerini sağlar.

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin yanında, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkinliklerine karşı dayanımını artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmesi gerekir [14].

Agrega bileşeninin uygun bir tane boyu dağılımı (granülometri) göstermesi çok önemlidir. İyi bir granülometriye sahip agrega içindeki hava boşluğu, daha az olacaktır.

Dolayısıyla, yoğunluğu da artacaktır. Bu şekilde, toplam beton hacmi içinde çimento hamuru daha ekonomik olarak kullanılabilir ve beton istenilen yere kolaylıkla, kalitesi bozulmadan yerleştirilebilir [15].

Beton agregalarının kalitesi, tanelerin yüzey durumu, tanelerin biçimi, granülometrisi ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Üretilen betonda agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin bulunması yani kuvvetli bir aderansının olması betonun mekanik mukavemetin yüksek bir değer almasına yardım eder. Burada aderansa olumlu etki eden agrega yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılara çimento hamurunun girmesi ayrılmaları güçleştirir, betonun mukavemetini artırır. Agregatanelerinin biçimi olarak en uygun durum tanelerin küp veya küre şeklinde olmasıdır. Yassı ve uzun taneler agregaların ve dolayısıyla betonun kompazitesini azaltıp, mukavemetinin düşmesine neden olur [16]. Aşağıda agrega çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar verilmektedir.

2.2.1. Doğal Agregat

Nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi kaynaklardan temin edilmiş, ancak; konkasörde kırma, eleklerden eleyerek değişik tane boyu sınıflarına ayırma ve yıkama işlemleri dışında, doğadaki yapılarında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmamış olan agregalardır. Kum, çakıl ve kırma tas en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır [17].

2.2.2. Yapay Agregat

Beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen veya malzemeye ısı işlem uyguladıktan sonra beton yapımında kullanılmaya uygun hale getirilen agregalardır. Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. Yapay taş veya Yapay kum da denir [17].

2.2.3. İri Agregat

4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

2.2.4. akıl

Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

2.2.5. Kırma Taş

Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

2.2.6. Kum

Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.

2.2.7. Kırma Kum

Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. akılın kırılması ile elde edilir.

2.2.8. Karışık Agreg

İnce ve iri agrega karışımıdır.

2.2.9. Doğal Karışık Agreg (Tüvanan Agreg)

Agrega ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalara da doğal karışık agrega denir.

2.2.10. Hazır Karışık Agreg

İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır [18].

2.2.11. Agregalarda Aranılan Özellikler

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları
- Zayıf taneler içermemeleri
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri
- Alkali reaksiyonu göstermemeleri [13].

2.3.Karma Suyu

İçilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanılmaya uygun olmaktadır. Birtakım ön deneyler yapılmak şartıyla, içilemeyen sularla da kaliteli beton üretilmektedir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilmektedir. Karışım suyu ve beton imalatından çıkan tekrar kullanılacak suyun TS EN 1008: 1997'ye uygunluğu gösterilmelidir.

Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun en önemli görevleri; kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamaktır [19].

2.4.Kimyasal Katkılar

Betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddeleri çoğunlukla beton karışım suyuna katılır. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiçbir faydası olmayabilir. Kurallarına uygun üretilen betonların da katkı maddeleri ile uyumu önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir [19].

Katkı maddelerinin kullanımındaki amaçlardan önemli olanları aşağıdaki gibi sıralanabilir[20];

- a. Sabit su miktarında islenebilmenin arttırılması veya sabit islenebilmede su miktarının azaltılması
- b. Prizin hızlandırılması veya geciktirilmesi
- c. Bir miktar hacim genişlemesinin sağlanması
- d. Terleme miktarının ve hızının değiştirilmesi
- e. Ayrışmanın azaltılması
- f. Pompalanabilirliğin artırılması
- g. Priz sırasında açığa çıkan ısıнын azaltılması
- ı. Erken yaslardaki dayanımın arttırılması
- j. Dayanımın(basınç, çekme, eğilme) arttırılması
- k. Dayanıklılığın arttırılması

3. BETON DENEYLERİ VE BETON DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Mühendisler herhangi bir tasarımda kullanılan malzemenin hizmet gördüğü surece ayakta kalıp kalmayacağını bilmek istemektedirler. Bu soruya cevap verebilmek için malzeme bilgisi ve muayenesi yöntemleri sürekli gelişmektedir. Malzeme üretimi sırasında yapısındaki değişiklikleri tespit etmek ve üretilen ürünlerin istenen özelliklere sahip olup olmadığını anlamak için yapılan kontrol işlemlerinin tümüne malzeme deneyi denilmektedir.

Malzeme deneyinin belirli amaçları vardır. Bunlar parçanın hazırlanması sırasında geçtiği kademelerde en doğru malzemenin kullanılmasını sağlamak, böylece hatalı ürünlerin satışa sunulmasını önlemektir. Malzeme deneyinin diğer bir amacı urunun zamanından önce aşınması bozulması halinde hasar nedenlerinin belirlenmesidir. Darbe dayanımı, dinamik çalışma ortamında malzemenin fiziksel darbelere dayanımını, çalışma ortamındaki nem, sıcaklık, basınç gibi parametrelerin değişimi ile malzeme dayanıklılığının nasıl değiştiğini ve aradaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Güvenliğin son derece kritik olduğu durumda, malzemeler en kötü hizmet durumları için test edilmektedir. Örneğin nükleer yakıt taşımada kullanılan depolar, köprüler, basınç kazanları, binalar, gemi gövdeleri çatlama için test edilmektedir [21].

Teorik olarak çatlama mekaniğinin yapısal bütünlüğünü değerlendirme ve malzemenin kırılma tokluğunun bulunması çok zor olabilir. Tam ölçekte deney yapmak maliyeti yüksek olduğu için çok nadir yapılmaktadır. Kırılma tokluğu parametreleri (K_{IC} , K_{ID}) vurma deneyi sonuçları kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

Malzemenin kontrol edilecek özelliğine göre kullanılacak deney şekilleri farklılık göstermektedir. Malzemeye yaptığı etkiler açısından deneyler tahribatsız deneyler ve tahribatlı deneyler olarak iki sınıfta incelenmektedir.

3.1. Tahribatsız Deneyler

Tahribatsız deneylerde malzemelere herhangi bir zarar vermeden dinamik ve statik yapısı hakkında bilgi edinmek mümkün olabilmektedir. Tahribatsız deney yöntemi ile malzemelerin imalat esnasında veya belli bir müddet kullanıldıktan sonra, korozyon veya

aşınma gibi nedenlerden dolayı oluşan çatlak, iç kesimlerde oluşan boşluk, kesit incilmesi vb. hataların belirlenmesi, malzemeden herhangi bir örnek almadan yapılabilir.

Deneyler doğrudan iş parçası üzerinde yapılabilir. Kullanıma uygun olmayan veya kullanıma uygunluğunu zamanla yitirmiş olan yapı elmanı hakkında çoğunlukla iskartaya çıkarma şeklinde karar verilmektedir.

3.2. Tahribatlı Deneyler

Tahribatlı muayenelerde, muayene edilecek malzeme kırılma, ezilme, parçalanma sonucu bir daha kullanılamaz hale gelmektedir. Belli başlı tahribatlı deneyler aşağıda sıralanmıştır.

- a. Basınç dayanımının tayini Deneyi,(TS EN 12390-3),
- b. Eğilme Dayanımının Tayini (TS EN 12390-5)
- c. Yarmada Çekme Dayanımının Tayini (TS EN 12390-6),
- d. Yoğunluk Tayini (TS EN 1290-7)
- e. Charpy Vurma Deneyi (DIN 50115),
- f. Yorulma Deneyi,
- g. Sertlik Ölçme Deneyi,
- h. Kırılma Tokluğu Deneyi,
- i. Sürtünme Deneyi,
- j. Aşınma Deneyi,

3.2.1. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, eksensel basınç yükü altındaki betonun kırılmamak için gösterdiği direnme yeteneği (eksensel basınç yükü etkisiyle betonda oluşan maksimum gerilme) olarak adlandırılır [3].

Beton araştırmalarında en çok kullanılan ve en popüler olanı basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri ise şöyle sıralanabilir [12];

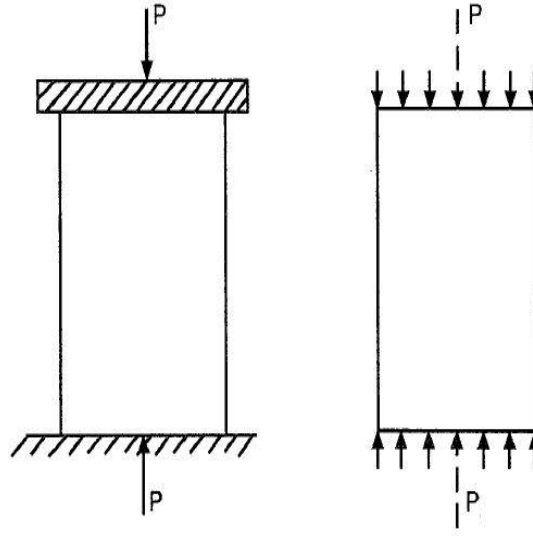
- Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.

- Tüm yapılan tasarımlarda betonu basınç dayanımı değeri esas alınır. Birçok yapıda betonun önemli miktarda çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükü oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.
- Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında yaklaşık da olsa bir korelasyon bulunmaktadır. O nedenle basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilmektedir.
- Basınç dayanımının bilinmesi betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin basınç dayanımın yüksek olması betondaki su geçirirliğinin az olduğunu ve dayanıklılığının yüksek olduğunu işaret etmektedir.
- Betonlar projelendirmede belirli sınıflara bölünmüştür. Bu sınıflandırmalardaki amaç, betonun belirli bir özelliğini diğer tüm özelliklerinin ölçütü varsaymak ilkesine dayanmaktadır. Beton sınıfının oluşturulmasında bu belirgin özellik beton basınç dayanımıdır.

Basınç dayanımı TS' ye uygun olarak saklanan numuneler üzerinde tayin yapılır. Bu numuneler üzerine belli miktarlarda basınç uygulanarak basınca karşı dayanımı hesaplanır. Bu hesaplamalar 150mm veya 200mm boyutlarındaki Standart küp numuneler veya 300mm olan Standard silindir numuneleri kullanarak saptanır. Bu deneyi yaparken unutulmaması gereken konu tüm numuneler aynı koşullar altında hazırlanmalı ve sıkıştırılmalıdır. Basınç dayanımı hesaplanırken numuneler 24saat(1gün)hava ceryanından uzak tutulduktan sonra kalıplardan çıkarılır. Daha sonra kür tankında su içinde veya bakım odasında veya bağıl nemli ortamda 23°C sıcaklıkta deney zamanına kadar tutulur [22].

Deneye başlanmadan önce numunelerin alt ve üst yüzeyleri kükürtlerle veya inçe harçlarla kaplanır. Numuneler uygun bir basma deneyi aletinde gerilme hızı saniyede 0.15-0.35N/mm² olacak şekilde ayarlanarak kırılmaya kadar yükselir. Burada kırılma yükü belirlenir ve bu yük, uygulandığı alana bölünerek basınç dayanımı hesaplanır [22].

0,2 MPa/s (N/mm².s) - 1,0 MPa /s (N/mm².s) arasında sabit bir yükleme hızı seçilmelidir. Yük, numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma, $\pm$ %10'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmalıdır. Göstergeden okunan en büyük yük kaydedilmelidir.



Şekil 3.1. Beton numuneye basınç yükü uygulanması.

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

Burada

F_c =numunelerin basınç dayanımı

P =kırılma yükü

A =yükün uygulandığı alan

3.2.1.1. Basınç Dayanımına Etki Eden Etkenler

- a. Su/Çimento Oranı: Su/çimento oranı arttıkça betonun içerisinde yer alan boşluk miktarı daha çok olmakta ve bu nedenle basınç dayanımı değeri düşük elde edilmektedir.
- b. Çimento ile ilgili Etkenler: Çimento cinsi ve miktarı (dozajı) basınç dayanımını etkiler.
- c. Yoğurma Suyu ile ilgili etkenler: Betonun üretiminde kullanılacak yoğurma suyunun içerisinde betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve betonarme yapılarıdaki donatının korozyonuna olumsuz etki yapacak yabancı maddeler bulunmamalıdır.
- d. Betonun Kompasitesi: Kompasite (K), 1 m³ taze betondaki katı öğelerin (agrega ve çimento) kapladığı mutlak hacim toplamıdır. İyi bir betonda kompasite k³⁰%80 olmalıdır. Kompasitesi yüksek, dolu bir betonun basınç dayanımı da yüksektir.
- f. Kür Koşulları (Dış Koşullar): Betonun sertleşme aşamasında uygulanan çevre koşullarına kür koşulları denilir. Bunlar ise nem ve sıcaklık olarak gruplanabilir.

3.2.1.2 Basınç Dayanımı Deneyi Sonucunda Elde Edilen Basınç Dayanımına Etki Eden Etkenler

Standart deneyle elde edilen basınç dayanımına etki eden etkenleri su şekilde sıralanması olasıdır:

1. Boy/çap oranı
2. Beton numunenin şekli
3. Aynı boy/çap oranına sahip ancak farklı boyuttaki numuneler
4. Yükleme hızı
5. En büyük agrega tane boyutu
6. Deney sırasında numunenin nem durumu
7. Deney sırasında numunenin sıcaklığı

3.2.2. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı; betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik yapılarında beton elemanlara çoğu zaman çekme kuvveti direkt uygulanmaz. Ancak, beton elemanların üzerlerine gelen basınç veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır [3].

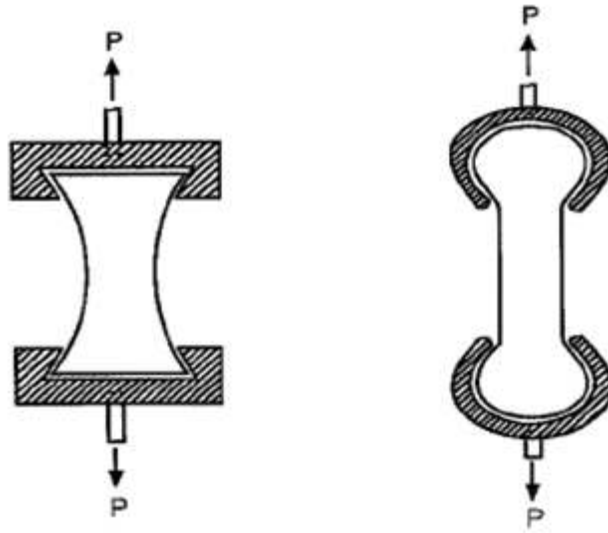
Çekme dayanımı üç değişik yöntemle ile bulunabilmektedir.

1. Doğrudan çekme dayanımı
2. Yarmada çekme dayanımı
3. Eğilmede çekme dayanımı

3.2.2.1 Doğrudan Çekme Dayanımı

Normalde 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 [3].

Doğrudan çekme yükleri, değişik boyutlardaki silindir, prizma ve özel boyutlu numuneler üzerinde uygulanabilmektedir. Ancak, beton numuneye doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek için kullanılacak numunenin uçlarına özel olarak hazırlanmış metal başlıkların yapıştırılması ve bu metal başlıkların ortasına da 90° açıyla dik olacak tarzda metal çubukların bağlı olması gerekmektedir [3].



Şekil 3.2. Numuneye doğrudan çekme yükü uygulanması.

Betonunun buradaki çekme dayanımını hesaplayabilmek için aşağıdaki formül uygulanır.

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

Burada;

f_{ct} = Betonun çekme dayanımı (MPa)

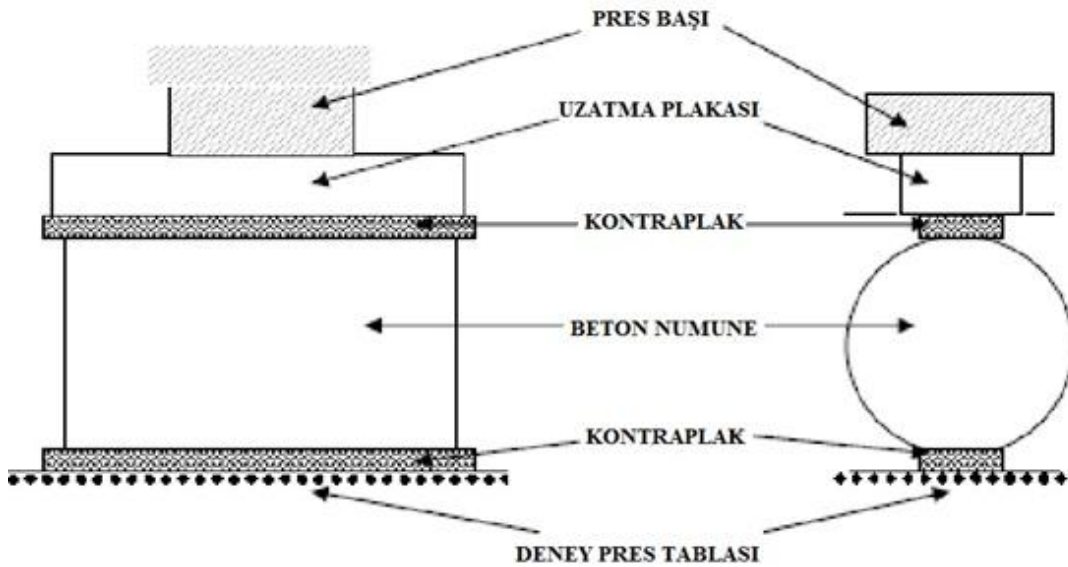
P = Kırılma yaratacak yük (N)

A = Numune boyutunun ortasındaki kesit alanı (mm²)

3.2.2.2. Yarmada Çekme Deneyi

Yarmada çekme deneyi uygulanırken genellikle silindir şekilli beton numuneler kullanılmaktadır. Küp şekilli beton numunelerin kullanılabilmesi de mümkündür. Deneyin uygulanmasında Şekil 3.3. 'de görülebileceği gibi numune, deney presinin üzerine numune eksenini presin alt tablasına paralel olacak tarzda yatırılmaktadır.

Seçtiğimiz silindir yada küp şeklindeki numunelerin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontrplak çitalar yerleştirilmektedir. Deney presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılincaya kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında silindir numunenin kırılma tarzı, numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir [22].



Şekil3.3. Yarmada çekme deney düzeneği

$$\text{Basınç Gerilme} = \frac{2P}{\pi LD} [D^2r(D-r) - 1]$$

(3.3)

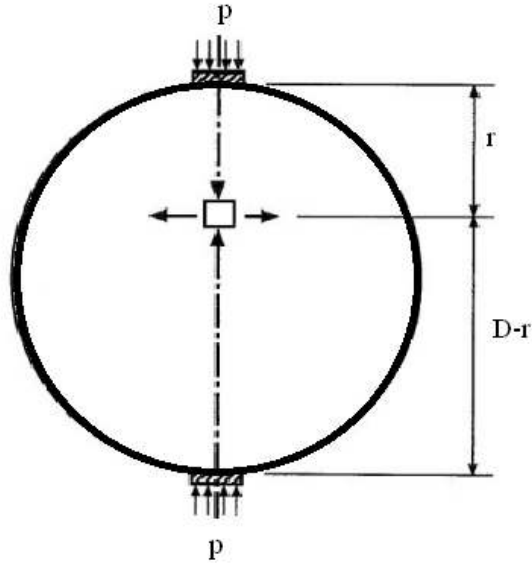
$$\text{Çekme gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD}$$

Yukarıdaki formüllerde;

P = Kırılmaya neden olan basınç yükü

L = Silindir numunenin boyu

D = Silindir numunenin çapı R ve (D-r) = Şekil 3.4.'da gösterilen uzaklık



Şekil 3.4. Yarma deneyi

Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için bu yöntem, genellikle “yarma deneyi yöntemi” olarak anılmaktadır.[23]

3.2.3. Eğilme Dayanımı

Betonun eğilme çekme veya eğilme dayanımı kiriş numuneler üzerinde üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş yöntemi veya orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile belirlenir. Bunlardan birincisi daha güvenilir sonuçlar verir [22].

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için beton kiriş numuneler hazırlanmakta ve Şekil 3.5. veya Şekil 3.6.’de görülen düzenleme ile, eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır [3].

TS EN 12390-5 ve ASTM C 293 beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından ($L/2$ mesafesinden) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır. [23,24] TS EN 12390-5 ve ASTM C 78’de ise beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden $L/3$ uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumundaki deney yöntemini anlatılmaktadır [24,25].

b= Kiriş kesitinin eni (mm)

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

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde, eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Q_e = 3PL/2bd^2 \quad (3.5.)$$

Mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ise, eğilme dayanımının hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

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

3.2.4. Yorulma Dayanımı

Burada betonun yorulma 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 gösterebildiği maksimum direnç (maksimum gerilme) hesaplanmaktadır. Bu şekilde elde edilen basınç veya eğilme dayanımları, “statik basınç dayanımı” veya “statik eğilme dayanımı” olarak adlandırılmaktadır [26].

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 [26].

Maksimum statik gerilme değerinin altındaki gerilme değerlerinin tekrar tekrar uygulanmaları sonucunda malzemede yer alan kırılma olayına “yorulma” denilmektedir. Elimizde bulunan malzemenin ne kadar sayıda yük tekrarı altında kalacağına, o malzemeye tekrarlı olarak uygulanan toplam gerilme miktarının büyüklüğü ile ilgilidir. Sonuç olarak

uygulanan toplam gerilme miktarı azaldıkça, malzemenin kırılmasına yol açacak yük sayısı artmaktadır.

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 [26].

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

Üzerinde çalıştığımız bütün malzemeler, üzerine gelen yükün tipinden ve büyüklüğünden etkilenerek belirli ölçüde şekil değiştirme (deformasyon) göstermektedirler, basınç altında kısalmakta, çekme yükleri altında uzamaktadırlar. Yükleme nedeniyle belirli miktarda deformasyon gösteren fakat yük kaldırıldığı zaman tamamen orijinal boyutlarına dönen malzemeler “elastik malzemeler” olarak tanımlanmaktadır. Malzemelerin bir birim uzunluğunun yük altında gösterdikleri uzama veya kısalma miktarı “birim deformasyon” olarak belirtilmektedir [26].

$$\epsilon = \Delta L / L$$

(3.7.)

Burada,

ϵ = Birim deformasyon

ΔL = Toplam deformasyon

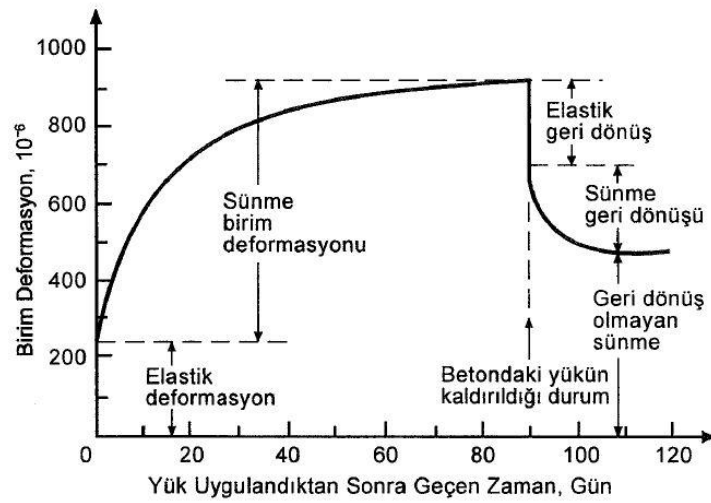
L = Malzemenin orijinal (ilk) boyu

Eksenel çekme yükü altında, elemanın boyu uzamakta, eni kısalmaktadır. Eksenel yük uygulaması nedeniyle oluşan yanal yöndeki birim deformasyonunun eksenel yöndeki birim deformasyona oranı Poisson oranı olarak adlandırılmaktadır. Mühendislikte kullanılan birçok malzeme, belirli bir gerilme değerine kadar olan yüklemeler altında elastik özellik göstermektedir; fakat o gerilmeden daha büyük gerilmeler altında tamamen elastik davranış gösterememektedir [26].

3.2.4.2. Sünme

Elimizde bulunan malzemenin 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.

Fakat 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.



Şekil 3.7. Betonun tipik sünme eğrisi

“Normalde betondaki sünme, düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklık ortamında da meydana gelebilmektedir. Şekil 3.7. sabit basınç yükü altındaki bir betonun tipik sünme eğrisini göstermektedir [27]. Sabit basınç yükü altında betonun zamanla artan tarzda gösterdiği sünme deformasyonu, betonda çatlakların oluşmasına ve yapı elemanlarının hasar görerek çökmesine neden olabilir.

3.3. Betonun Dayanımını Etkileyen Faktörler

Genellikle, dayanım sertleşmiş betonun en önemli özeliği olarak kabul edilir. Ancak, birçok 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 büzülme sebebiyle çatlamalara ve dayanıklılıkta azalmalara neden olabilmektedir. Değişik boyutlardaki agrega tanelerinden ve bu tanelerin yüzeylerini kaplayarak aralarındaki boşlukları dolduran çimento hamurundan oluşan beton, çok fazlı kompozit bir malzemedir.

Betonun yapısı mikro ölçekte ele alınacak olur ise; Agregalar, değişik minerallerin biraya gelmesiyle oluşmuş ve yapılarında bir miktar gözenek bulunabilen malzemelerdir. Çimento hamuru ise, çimentodaki değişik ana bileşenlerin hidrasyonu sonucunda oluşan her biri değişik boyutlara ve özelliklere sahip değişik hidrasyon ürünlerini içermektedir. Ayrıca çimento hamurunun içerisinde değişik şekil ve boyutlara sahip boşluklar ve hidrasyonunu henüz tamamlamamış çimento tanecikleri bulunmaktadır. O nedenle, beton çok kompleks bir yapıya sahiptir [28]. Dayanımı ölçmek için deneyler yapılır. Bu deneyler oldukça basit deneylerdir. Bu deneylerin sonucunda birçok etmenin etkisiyle aynı bir betonun karışımlarında bile farklı sonuçlar oluşturmaktadır. Deney sonucunda yapılan etmenler aşağıda sıralanmıştır.

3.3.1. Çimentonun Etkisi

Bilindiği gibi, çimento hamuru, bağlayıcı özeliğe sahip bir malzemedir; agregaların yüzeyini kaplamakta, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmakta ve agrega taneleri ile aderans kurarak, betonun tek bir malzeme durumunu alabilmesini sağlamaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı yüksek olmadığı takdirde betona uygulanan yükler karşısında çatlamaların ve kırılmaların oluşması bu malzemedan başlamaktadır. Çimento hamurunun dayanımı, çimentonun ne ölçüde hidrasyon yapmış olmasına ve beton yapımında kullanılan su/çimento oranına bağlıdır.

Daha düşük su/çimento oranına sahip çimento hamurunda daha az miktarda kapiler boşluk oranı yer almaktadır. Kapiler boşluk oranının azalması, çimento hamurunun ve buna bağlı olarak betonun daha yüksek dayanım göstermesine neden olmaktadır [29].

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 m³ sıkıştırılmış karışım içerisinde bulunması gereken en az çimento miktarı, yapılacak betonun türü ve kullanım amacı, agregası, su çimento oranı, kıvamı gibi birçok faktöre bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir.

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. Ancak, literatürde ortalama bir değer olarak aşağıda görülen eşitlik verilmektedir [30].

$$MÇ=550 / 5\sqrt{D}$$

MÇ = 1 m³ sıkıştırılmış karışım için en az çimento miktarı, kg

D =En büyük agrega çapı, mm

3.3.2. 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.

3.3.3. 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 [30].

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 [30].

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 [30].

Öte yandan, taze beton içerisindeki çimentonun bütün olarak hidratasyonunu sağlamayacak kadar (bağlayıcı hamur oluşturmamaya 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.
- Akıcı Beton: sulu hamur görünüşünde olacak kadar su ile karıştırılmalıdır.

Bilindiği gibi, çimento hamuru, bağlayıcı özeliğe sahip bir malzemedir; Agregaların yüzeyini kaplamakta, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmakta ve agrega taneleri ile aderans kurarak, betonun tek bir malzeme durumunu alabilmesini sağlamaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı yüksek olmadığı takdirde betona uygulanan yükler karşısında çatlamaların ve kırılmaların oluşması bu malzemeden başlamaktadır. Çimento hamurunun dayanımı, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapmış olmasına ve beton yapımında kullanılan su/çimento oranına bağlıdır.

Daha düşük su/çimento oranına sahip çimento hamurunda daha az miktarda kapiler boşluk oranı yer almaktadır. Kapiler boşluk oranının azalması, çimento hamurunun ve buna bağlı olarak betonun daha yüksek dayanım göstermesine neden olmaktadır [29].

3.3.4. Betonun Yerleştirilmesi

Betonun yerleştirilmesi işleminde segregasyona neden olmayacak ve betonun üniformitesini bozmayacak tarzda yapılmalıdır. Aksi halde, beton kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler göstermekte ve beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Bu bakımdan, yerine yerleştirilen taze betona uygun tarzda sıkıştırılma (vibrasyon gibi) yöntemlerinin uygulanmasının ve betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu olarak yerleştirilmesinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır. Betonun sıkıştırılmasındaki kolaylık veya zorluğuna işlenebilirlik denir. Betonu oluşturan karışım malzemelerinin oranlarının bulunması, betonun karılması ve taşınması gibi işlemler kusursuz olarak yerine getirilmiş olsalar dahi, betonun yerine yerleştirilmesi ve sıkıştırılması uygun tarzda yapılmadığı takdirde, betondan beklenen kaliteyi elde etmek mümkün değildir. Betonun karılması ve yerine yerleştirilmesi esnasında içerisine kendiliğinden, istemeden bir miktar havada sıkışmaktadır. İçerisine hapsolmuş hava bulunduran beton sertleştiği takdirde agregayla çimento arasında, betonla donatı arasında veya betonla kalıp arasında boşluklar bulunduran bir yapı meydana getirir. Bu haliyle su geçirimsizliği yüksek, dayanım ve dayanıklılığı gibi düşük bir bileşen meydana getirir [31].

3.3.5. Agreganın Granülometrisinin ve 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 agrega kullanmakla mümkündür.

Öte yandan, yeterli akışkanlığın sağlanması için bağlayıcı hamurun miktarının artırılmasının gerektiği bilinmektedir. Bağlayıcı hamur, agrega boşluklarını doldurmaktan başka, agrega 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, iri agrega boşlukları, öteki agrega 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 [30].

Normal ağırlıklı beton üretiminde kullanılan agregalar genellikle çimento hamurunun dayanımından daha yüksek dayanıma sahiptirler. Ancak beton yapımında kullanılan agregalar düşük dayanımlı ve kolayca kırılabilir türde iseler, uygulanan yükler altında betonda meydana gelecek çatlama ve kırılma, iri agrega tanelerinin kırılmasıyla başlamaktadır. Yine agreganın tane şekli ve boyutu, betonun işlenebilirliğini dolayısıyla su miktarını etkilemekte ve buna bağlı olarak dayanımında etkilemektedir. Örneğin kırma taş gibi köşeli agregalar, sürtünme etkisiyle betonun akıcılığı azaltmaktadır [29].

3.3.6. Betonun Bakımı ve Kürü

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. Agregatanecekleri arasındaki bağlayıcı hamurun tam sertleşmediği böyle bir durumda ise betonun dayanımı düşecektir. Bu nedenle, betonun sertleşme süreci sırasında, tam hidratasyon için gerekli suyun kaybına engel olunması ya da olabilecek su kayıplarının yerinin doldurulması istenir. Betona su püskürtme; beton yüzeylerine toprak, kum, su tutucu örtüler vs. örterek ya da kalıpları geç sökerek su kaybını önleme ve betonun su buharı ile kür uygulanabilir. 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 [19].

3.3.7. Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi

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

büzülmeler ve yüzeyde çatlaklar oluşur ki, bu durum da dayanımı düşürücü bir diğer etkidir. 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 [88].

4. ÇARPMA DAYANIMI

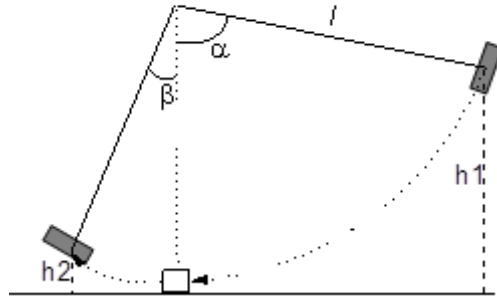
Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkilere sebep olabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında beton şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı mukavemet gösterebilmelidir. Betonun kullanılacağı yapıların tasarımı yapılırken, betonun üzerine gelebilecek değişik türdeki yüklerin büyüklükleri göz önünde tutulmakta ve üretilecek betonun mekaniksel özelliklerinin bu yüklere karşı yeterli dayanımı göstereceği varsayılmaktadır. Üretilecek betondaki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir.[32]

Yükleme şekli esas alındığında malzemeyi kırmak iki yolla mümkündür. Birincisi; gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının elde edilışinde 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 İzod veya Charpy çentik darbe deneyi kullanılarak belirlenirken, yapı taşlarında ağırlığın belirli bir yükseklikten serbestçe numune üzerine düşürülmesi yöntemi uygulanır [33].

4.1. Darbe Deneyi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deneyin temel prensibi Şekil 4.1’de şematik olarak gösterildiği gibi, bir l uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir G ağırlığına sahip çekiç belli bir h_1 yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılıyor. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi $G.h_1$ iken numune kırıldıktan sonra belli bir h_2 yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi $G.h_2$ olur. Bu durumda Kırılma Enerjisi (K.E.) $=G.h_1 - G.h_2$ olarak ifade edilir. Buna göre

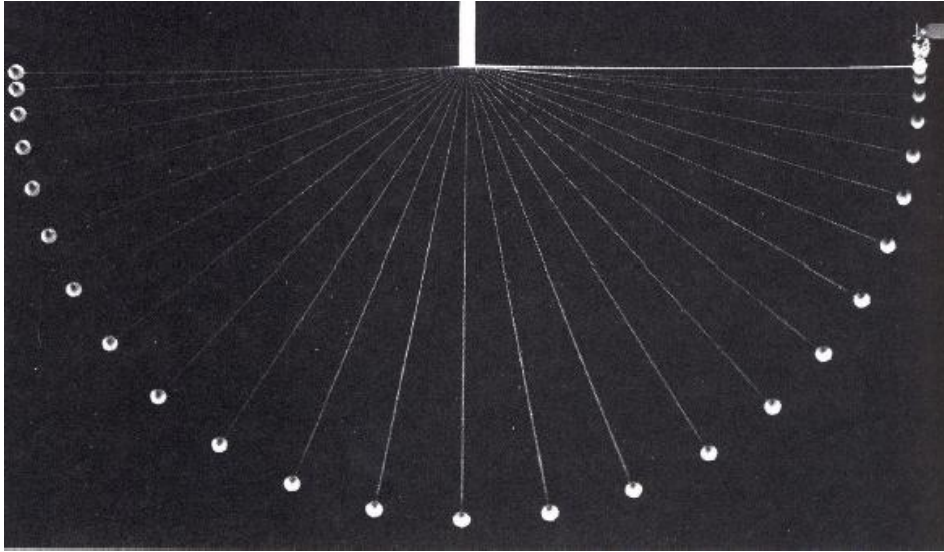
$K.E.=G(h_1-h_2)=G.l.(Cos\beta-Cos\alpha)$ olarak ifade edilir. Burada l sarkaç boyudur. Buradan, β salınım açısı ve h_2 yüksekli ne kadar az gerçekleşirse kırılan o malzemenin ne kadar çok darbe direnci yada yüksek tokluk gösterdiğini anlarız [32].



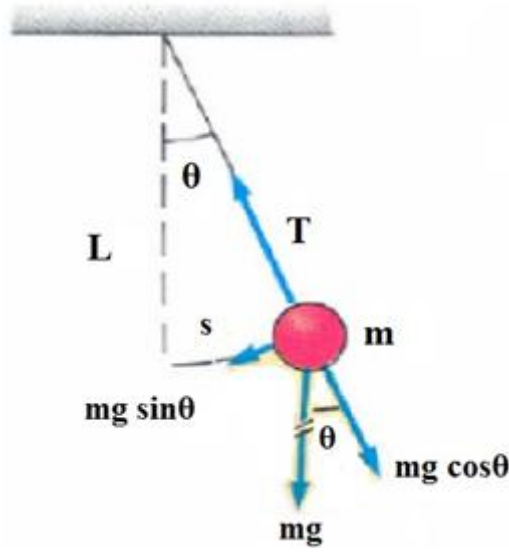
Şekil 4.1. Bir darbe deneyinin şematik olarak gösterimi

4.2. Sarkaç Hareketinin Mekanik Olarak İncelenmesi

Charpy ve Izod vurma deneyinde kullanılan düzeneğin çalışmasının, sarkacın çalışma prensibine bağlı olduğu söylenebilir. Sarkacın salınımı incelendiğinde, düzgün olmayan (hızı sabit kalmayan) dairesel hareket yaptığı Şekil 4.2. de görülüyor[34].



Şekil 4.2. Sarkaç salınım hareketi



Şekil 4.3. Sarkaç kolunda oluşan gerilme kuvveti

Sarkaç kolunda şekil 4.3'te görülen T gerilimini oluşturmaktadır. Bu gerilme kuvveti sarkaca bağlı olan m kütlesine (tokmak) etki eden yer çekim ivmesine bağlıdır. şekil 4.3.' te denge konumundan aşağıdaki eşitlik yazılabilir [34].

$$T = m \cdot g \cdot \cos\theta \quad (4.1.)$$

Gerilme kuvvetinin teğet bileşeni $T = m \cdot g \cdot \sin\theta$ olmaktadır. Yolun zamana göre ikinci türevi ivme olacağından

$$F_1 = m \cdot \frac{d^2s}{dt^2} \text{ yazılabilir.} \quad (4.2.)$$

Yine şekil 4.3'ten $\sin\theta = \frac{s}{L}$ olacağından

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{d^2L \cdot \sin\theta}{dt^2} \text{ olmakta ve } m \cdot g \cdot \sin\theta = \frac{d^2L \cdot \sin\theta}{dt^2} \quad (4.2.)$$

Sinüs fonksiyonu seri olarak yazıldığında ve küçük açılarda $\sin\theta \approx \theta$ olabilir. 0 ile 15° arasında $\sin\theta$ ile θ arasındaki farklılık %1 kadardır. Buna göre eşitlik

$$m \cdot g \cdot \theta = L \cdot m \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \text{ ve } \frac{g\theta}{L} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

$\theta = \theta_0 \cos(\omega t)$ şeklinde değişmektedir. (θ_0 = maksimum aşılal yer değıştirme değeri dir.)

Sarkacın açılal frekansl $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ şeklinde yazılabilir.

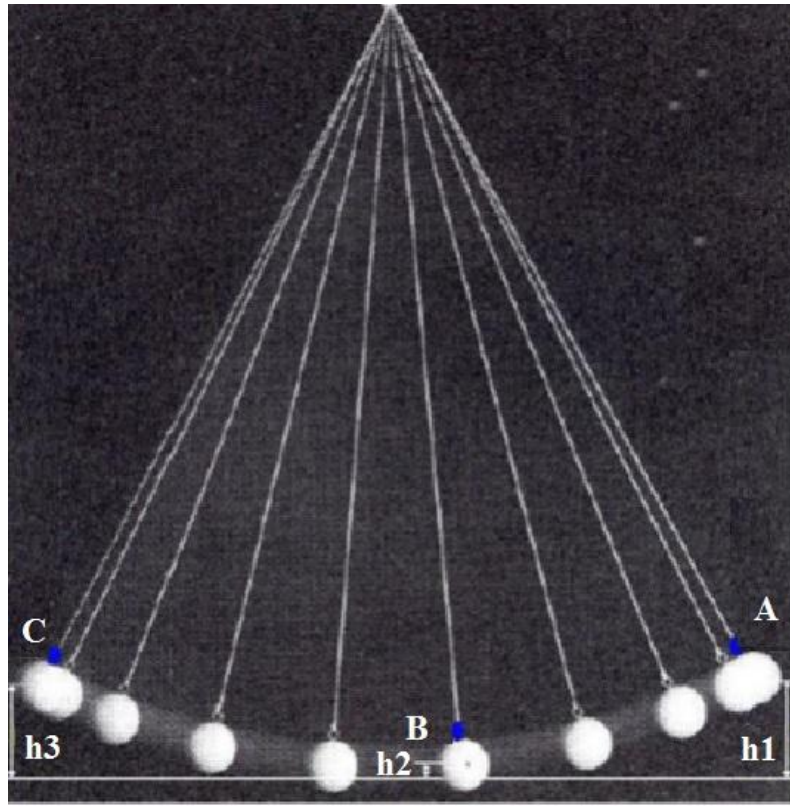
Sarkacın salınımindaki dönem ise $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \frac{\bar{L}}{g}$ şeklinde yazılabilir. Gerçekte ise sarkacın

hareketi basit harmonik hareket değildir. Dolayısıyla periyot

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \frac{\bar{L}}{g} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta_o}{2} + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{\theta_o}{2} + \dots \right) \text{ Şeklinde olmaktadır.}$$

4.3. Sarkaçtaki Mekanik Enerjinin İncelenmesi

Sarkacın serbest hareket yörüngesi şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Sarkacın serbest hareket yörüngesi

Sarkacın hareketinde herhangi bir noktadaki mekanik enerji $E_p + E_k$ şeklinde olmaktadır [37].

Sarkacın ilk bırakıldığı noktada A noktası için

$$\text{Mekanik enerji} = E_{p_A} + E_{k_A} \quad (4.3.)$$

$$E_{p_A} = m \cdot g \cdot h_1 \quad E_{k_A} = 0 \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Sarkacın hareket yörüngesinde B noktası için Mekanik enerji = $Ep_B + Ek_B$

$Ep_B = m \cdot g \cdot h_2$ $Ek_B = \frac{1}{2} \cdot m V_B^2$ şeklinde yazılabilir.

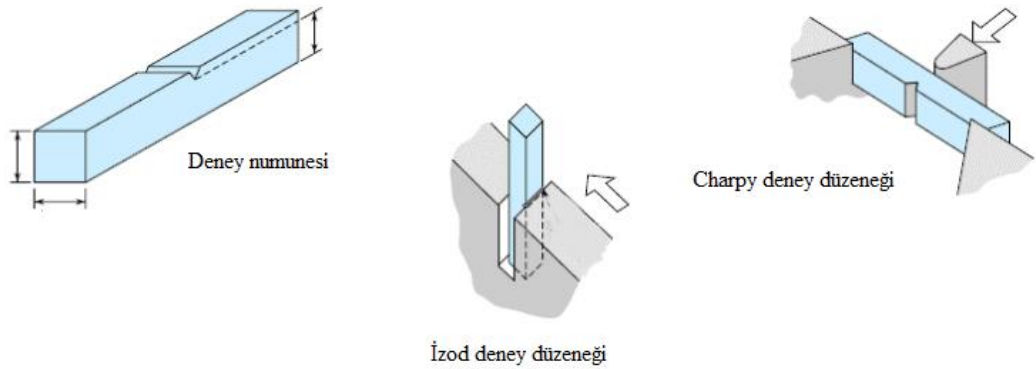
Sarkacın diğer tarafta eristiği en yüksek nokta (C noktası) için

Mekanik enerji = $Ep_C + Ek_C$

$Ep_C = m \cdot g \cdot h_3$ $Ek_C = 0$ şeklinde yazılabilir.

4.4. Çarpma Deney Metotları

Genellikle Charpy ve Izod olarak iki tipte darbe deney yöntemi vardır. Temel prensip aynıdır. Charpy deney numunesi yatık olarak Izod deney numunesi dik olarak darbe deney cihazına yerleştirilir.



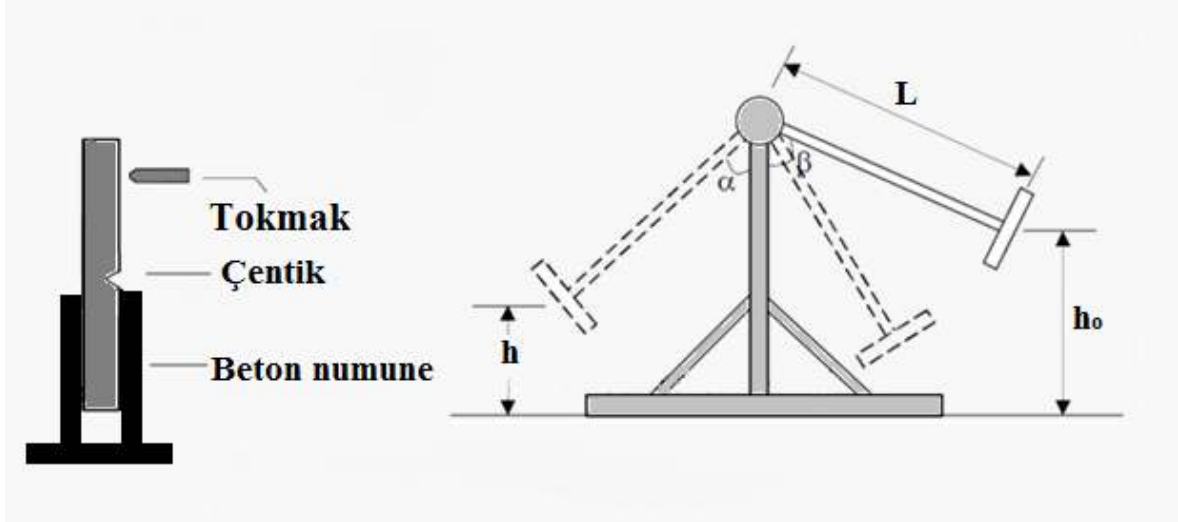
Şekil 4.5. Çarpma deney metotları

4.4.1. İzod Darbe Deneyi

Malzemenin çarpma dayanımlarını belirlemek için çeşitli deney metotları uygulanmaktadır. Metallerde 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 [33].

İzod 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, “h₀” yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerji (Gxh₀) 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 [33].



Şekil 4.6. İzod deney düzeneği

Şekil 4.6’da 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.

$$U = G(h_0 - h) = G.L. (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (4.4.)$$

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, çekicinin salınım düzlemi ile çentikinin 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 [33]. Tokmağın ilk ve son konumlarındaki potansiyel enerjileri arasındaki fark bulunur ve numune kesit alanından faydalanılarak çarpma mukavemeti belirlenir.

İzod 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 kırdığında 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 kg.m/cm^2 veya N.mm/mm^2 cinsinden ifade edilmektedir [33].

$$\text{Ç} = U/A = (G(h_0 - h))/A \quad (4.5.)$$

4.5. Betonda Çarpma Dayanımı İle İlgili Literatür Çalışması

Arıcı, E. [33], 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 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 (Ç) ile basınç dayanımı (σ) arasındaki orana (q) baktığımızda bu değerlerin 0,77 - 0,82 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

Arıcı ve diğ. [32], betonun çarpma mukavemetini belirleyebilmek için Charpy metodu kullanılmış ve bu metodun betona uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 100x100x500 mm. lik beton numunelerde kullanılabilecek boyutlarda Izod deney düzeneği hazırlanmıştır. Çarpma mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deneylerde max. Agrega çapı 8 ve 16 mm. olan, iki farklı başlangıç çatlak 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. agrega 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 değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde, Charpy metodunun, betona uygulanabilirliği ve kapsamlı bir çalışma yapılarak formülasyona gidilebileceği önerilmiştir.

Selvi, M. [7], 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 düşürülen sabit ağırlıklı bir çekicin yaratmış olduğu çarpma etkisi altında test edilmiştir. Kiriş numunelerin 5 tanesi normal dayanımlı, 5 tanesi ise yüksek dayanımlı betondan üretilmiştir. İki ivmeölçer ve bir kuvvetölçer yardımıyla numuneler üzerinde oluşan etkiler ölçülmüştür. Dayanımlardaki değişimler çekiç 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, çekiç düşme yüksekliği arttıkça numuneyi göçmeye götüren düşürme sayısının azaldığı ve yükseklik artışı ile çekişte depolanan fazla enerjinin, numune içsel kuvvetlerini daha çabuk yendiği ve enerji yutma kapasitesinin daha da azaldığı vurgulanmıştır.

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

Uğurlu A. [28], Bu çalışmada, özellikle süreksizlik sınırına kadar olan beton davranışı üzerinde önemli bir etkisi olan çimento hamuru - agrega ara yüzeyi yapısı ve bu yapının yük altındaki davranışı agrega açısından incelemiştir. Betonun yükleme altındaki davranışını etkileyebilecek faktörlerin fazla olması nedeniyle doğal olarak farklı özellikleri (kalite) olan betonların olduğunu ve bu betonlar basınç, çekme, darbe, vs. dayanımları açısından birbirlerinden ayrılacağını, bu nedenle pratikte adına beton sınıfı dediğimiz ve betonları karakter itibari ile birbirinden ayırt etmeye yarayan, statik hesaplamalarda esas alınan bir kavram olarak geliştirmiştir. Bundan dolayı beton için tek bir gerilme - deformasyon davranışı tarif edilememiştir. Ancak kaba bir yaklaşımla betonun çimento hamuru ve agrega gibi iki fazdan meydana geldiği kabulünden hareketle betonun kısa süreli yükleme altındaki davranışı incelenmiştir. Diğer kompozitelerde de olduğu gibi kompozit davranışını, kompoziti meydana getiren malzemeler ve bu malzemelerin birbirleri ile olan etkileşimleri ele alınmıştır.

Klasik anlamda, tek eksenli yükleme altında betonda kırılma işlemi üç aşamada meydana gelmiş olduğunu bunların; çatlakların başlangıcı, çatlakların yavaş büyümesi ve çatlak gelişimi şeklindeki aşamalar halinde sıralamıştır. Sonuç olarak agrega çimento hamuru bağı basit genellemeler ve kaba yaklaşımlar ile açıklanamayacak kadar karmaşık olduğunu açıklamıştır.

Bayromov F., Taşdemir M.A. ve Akkaya Y [35], yapıları çalışmada betonun kırılma mekaniğinde, tasarımda kullanılan mekanik özellikleri ile kırılma parametreleri arasında bağıntıları konu almışlardır. Betonun kırılma parametrelerinin ve kırılma mekaniğinin daha iyi anlaşılması için öncelikle beton malzemenin davranışının, içyapısının ve mekanik davranışı arasındaki ilişki incelenerek, daha sonra kırılma parametrelerini modellendirmişlerdir. Betonun kırılma parametrelerinin saptanması için nonliner kırılma mekaniğine dayanan yöntemler geliştirmişlerdir. Betonun gevrekliğinin saptanması için model olarak fiktif çatlak modeli, iki parametrelili modeli ve boyut etkisi modeli olarak açıklamışlardır.

Yazıcıoğlu, S. Ve diğ. [36], Elazığ Ferro-krom 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 tlen cüruf, beton karışımına Portland imentosu (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 imento 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. Agreg a tane çapı arttıkça betonun hem basınç dayanımında hem de çarpma enerjisinde artış olmuştur. Maksimum agrega 36 boyutunun artmasıyla betonda absorblanan enerji arttığından çarpma enerjisinin en yüksek değeri de, maksimum agrega boyutu 32 mm olan beton serisinde elde edilmiştir.

5. MATERYAL ve METOT

Numune boyutunun çarpma dayanımına etkisinin incelendiği bu tez çalışmasında max. Dane çapı 16 mm. olan tek tip agrega 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.

Betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi konusundaki çalışmada; 150x300 mm ve 100x200 mm boyutlarında standart silindir ile 100x100x500 mm' lik kiriş numunesi üzerinde mekanik olarak; basınç, yarma, eğilme, çarpma dayanımı ile ultra ses deneyleriyle veriler elde edilmiştir. Deneylerde kullanılacak numunelerin karışım hesaplamaları TS 802 esas alınarak yapılmıştır. Numunelerde max. dane çapı 16 mm. olan normal agrega kullanılmıştır. 28 günlük numunelerin basınç, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımlarının belirlenmesinde yükleme kapasitesi 2.5 MN olan hidrolik yük kontrollü pres 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 kullanılmıştır.

5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Karışım hesapları TS 802 esas alınarak yapılmıştır. Karışım oranlarına göre toplam 18 seri numune dökülmüştür. Serilerde basınç deneyleri için 5 adet 150x300 mm'lik silindir numune, yarmada çekme deneyleri için 5 adet 100x200 mm'lik silindir numune, eğilmede çekme deneyleri için 5 adet 100x100x500 mm'lik kiriş numuneleri ve farklı boyutlarda çarpma numuneleri dökülmüştür. Karışıma giren 1 m³ için hesaplanmış malzeme miktarları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir[37].

Tablo 5.1. Karışımda kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (kg)
Çimento	419
Su	197
İnce Agregası (0-2)	610
Orta Agregası (2-4)	193
Orta Agregası (4-8)	209
İri Agregası (8-16)	594
Hava	-
TOPLAM	2222

5.1.1. Çalışmada kullanılan agrega

Deneylerde kullanılan agrega, Elazığ ili, Palu ilçesinden temin edilmiştir. Mineralojik olarak nehir kumu niteliğinde olan agreganın özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir. Numunenin seri özelliklerine göre, maksimum dane çapı, 4 mm, 8 mm ve 16 mm olarak alınmıştır. Granülometrik bir karışım oluşturulması amacıyla TS 706’daki sınır değerlere uygun olarak ayarlanmıştır.

Tablo 5.2. Karışıma giren agregaların fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	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.

Tablo 5.3. Karışıma giren çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz Sonuçları																			
SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		CaO		MgO		SO ₃		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, eğilmedeçekme deneyleri için 100x100x500 mm ve yarmada çekme deneyleri için de 100x200mm'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. Deney numune kalıpları

Numunenin Genişliği (mm)	Numunenin Boyu (mm)	Numune Eni (mm)
100	500	50
150	700	50
200	900	50
100	350	50
150	475	50
200	600	50



Şekil 5.1. Numune kalıpları



Şekil 5.2. Yarmada çekme deney numuneleri



Şekil 5.3. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

Şekil 5.1, Şekil 5.2. ve Şekil 5.3. de görüldüğü gibi kalıplarımızı oluşturulduk. Yeterince sertleştikten sonra numuneler kalıplardan çıkarılıp kür tankına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.4. Numunelerin kür tankında bekletilmesi.

5.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Beton basınç dayanım deneyi için karışım hazırlanarak, 150x300 mm silindir kalıplara doldurularak yeterli şişleme sonrasında üstü masterlanarak numune döküm işlemi tamamlanmıştır. Oluşturulan numunelerin hepsi aynı şartlarda hazırlanmıştır. Laboratuvar ortamında 24 saat kalıplarda bekletilen numuneler, sertleştikten sonra kür tanklarına yerleştirilmiştir. 28 günlük olan numuneler kür tanklarından çıkarılarak Şekil 5.5. görülen otomatik yük kontrollü preste kırılmıştır.



Şekil 5.5. Basınç dayanımının ölçülmesi

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



Şekil 5.6. Basınç deney numunelerin kırıdıktan sonra aldıkları şekiller

5.3. 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 ± 2 °C suda kür edildi. Numuneler doymun kuru yüzey halindeyken deneyler yapılmıştır. Kiriş numuneler Şekil 5.7. görüldüğü gibi 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 5.7. Eğilme çekme deneyi

5.4. Yarmada Çekme Deneyi

Yarmada çekme dayanımı testinde 10x20 cm standardında silindir numune Şekil 5.9. da görüldüğü gibi yatay vaziyette getirilerek, silindir ile metal çubuklar arasına kontra

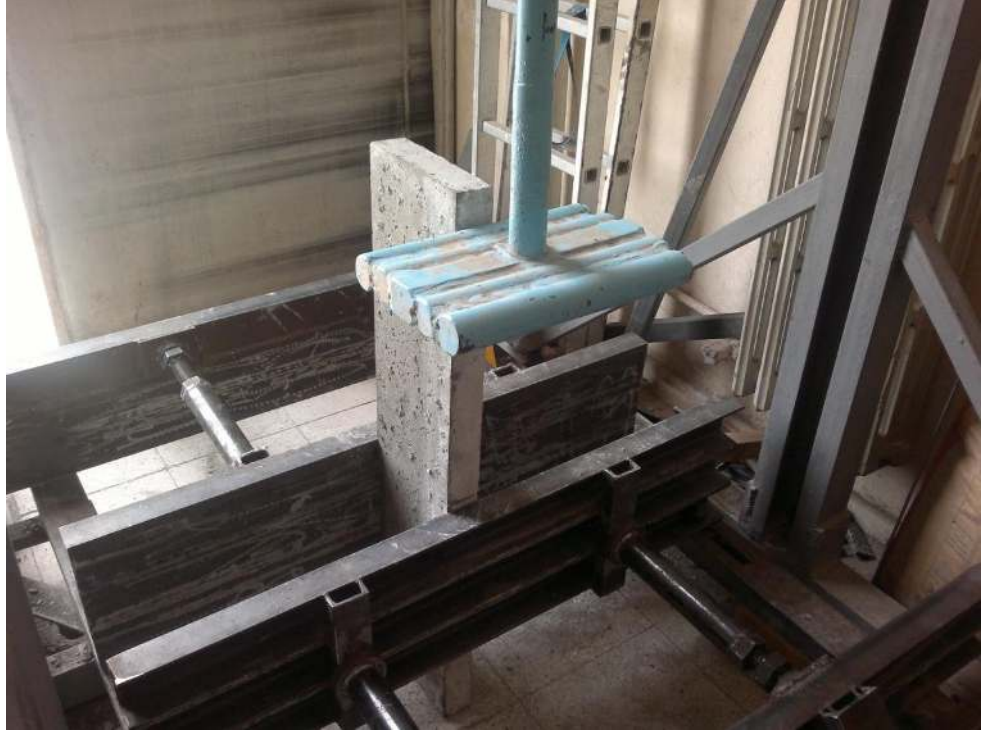
plak gibi dolgu malzemesi şerit şeklinde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu malzeme genelde 3 mm kalınlığında ve genişliği ise silindir çapının yaklaşık 1/12 'si kadardır. Numune şekil 5.9. 'deki gibi prese yerleştirilerek gerilme yükü altında kırılmıştır.



Şekil 5.8. Yarmada çekme dayanımı

5.5. Çarpma Dayanımı Deneyi

Betonun çarpma dayanımı deneyinde metallerde kullanılan izod darbe deney düzeneğinin kodifiye edilmesiyle yapılmıştır. Numune şekil 5.11. deki gibi yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç duruma getirilerek düşme açısı (β) belirlenir. Sarkaç düzgün bir şekilde bırakılır ve kırılma sonrası yükselme açısı (α) açısı belirlenir.



Şekil 5.9. İzod deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi



Şekil 5.10. İzod deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi



Şekil 5.11. İzod darbe deneyi sonucu kırılan numune

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)

Ç = Çarpma dayanımı (N.mm/mm²)

G = Sarkacın ağırlığı (N)

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

A = Kesit alanı (mm²)

h_0 = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (mm)

h = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (mm)

β = Düşme açısı (derece açısı (derece)

α = Yükselme açısı (derece)

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

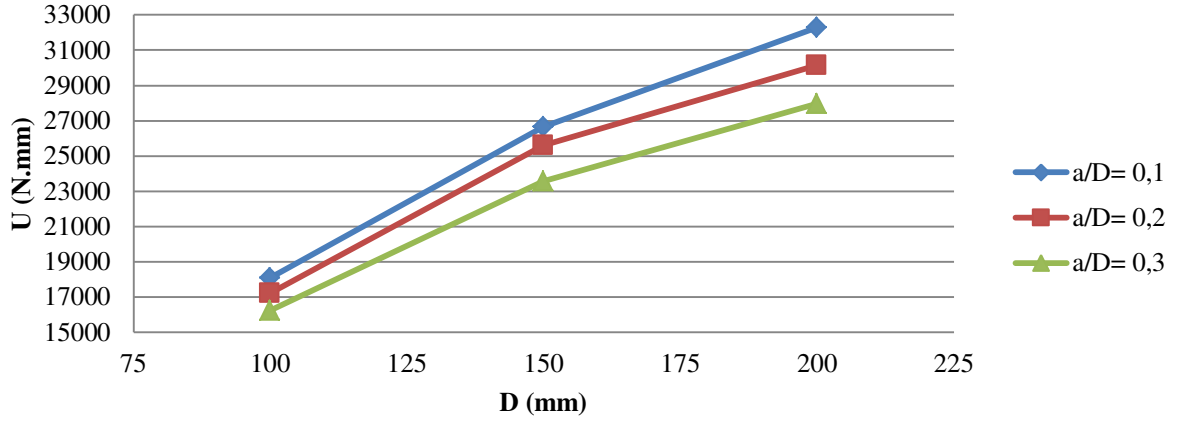
6.1. Çarpma Dayanımı

Çarpma deneyi için gerekli olan çentikli (başlangıç çatlağına sahip) numuneler 28. günün sonunda İzod metoduna uygun olarak çarpma deneyine tabii tutuldu. Elde edilen deney verileri yardımıyla, kırılmada gereken potansiyel enerji (U) miktarı ve bu değer yardımıyla serilerin çarpma dayanım (Ç) değerleri hesaplanmıştır. Tablo 6.1. da serilere ait kırılma için gerekli olan potansiyel enerji ve çarpma dayanımlarının ortalamaları verilmiştir. Potansiyel enerji değerleri denklem 4.4.'den çarpma dayanımları denklem 4.5.'den faydalanarak hesaplanmıştır.

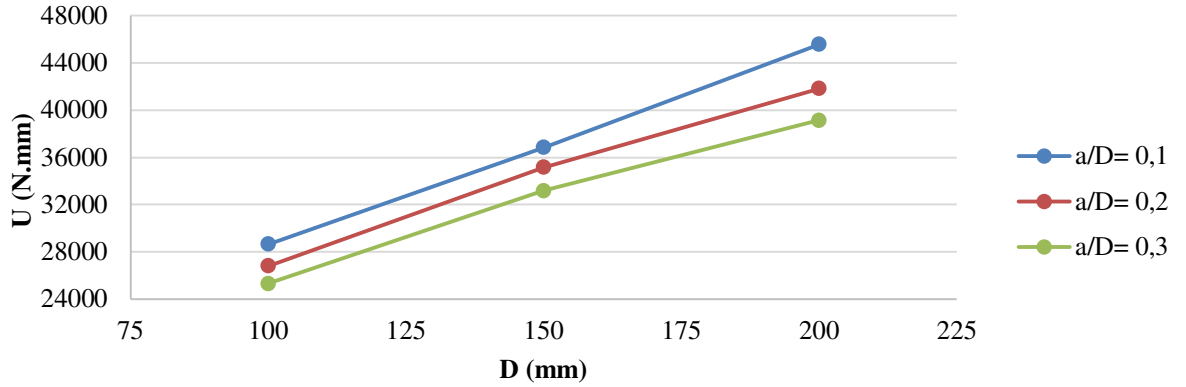
Tablo 6.1. U_{ort} ve $\bar{C}_{ort}$ değerleri

Seri No	Boyutlar (mm)			U_{ort} (N.mm) (J)	$\bar{C}_{ort}$ (N.mm/mm ²) (J/mm ²)
	D	L	a		
Seri I	100	400	10	18087,02	4,02
			20	17232,43	4,31
			30	16221,43	4,63
Seri II	150	600	15	26645,32	3,95
			30	25588,27	4,26
			45	23567,00	4,49
Seri III	200	800	20	32286,63	3,59
			40	30138,26	3,77
			60	27966,54	4,00
Seri IV	100	250	10	28660,58	6,37
			20	26807,79	6,70
			30	25305,77	7,23
Seri V	150	375	15	36837,65	5,46
			30	35152,44	5,86
			45	33169,06	6,32
Seri VI	200	500	20	45557,93	5,06
			40	41822,70	5,23
			60	39145,39	5,59

Kırılma için gerekli olan potansiyel enerjinin (U_{ort}) $L/D=4$ ve $L/D=2,5$ oranları için grafikler Şekil.6.1. ve Şekil.6.2.' te verilmiştir. Şekil 6.3.'te potansiyel enerjinin L/D oranlarına ait bütün değerler bir arada gösterilmiştir.

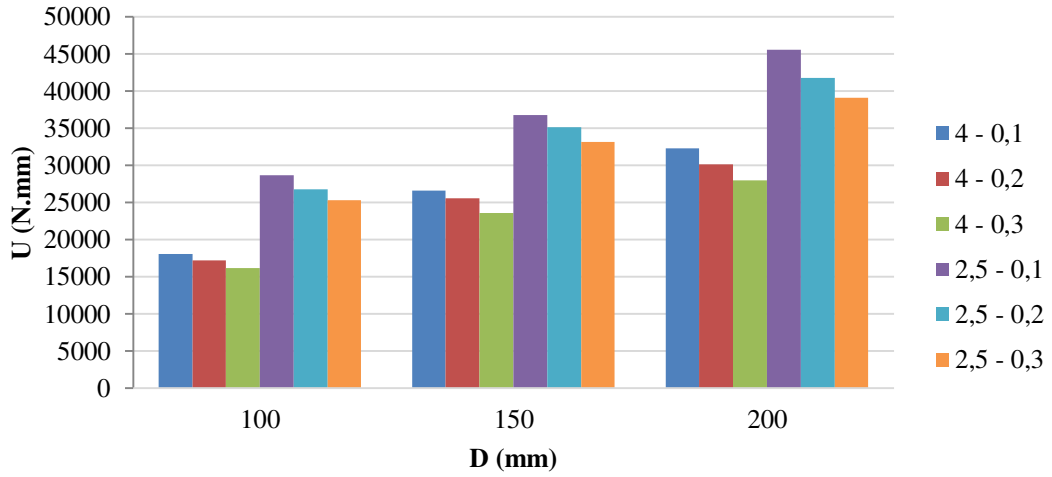


Şekil 6.1. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin $L/D=4$ oranına göre ortalamaları



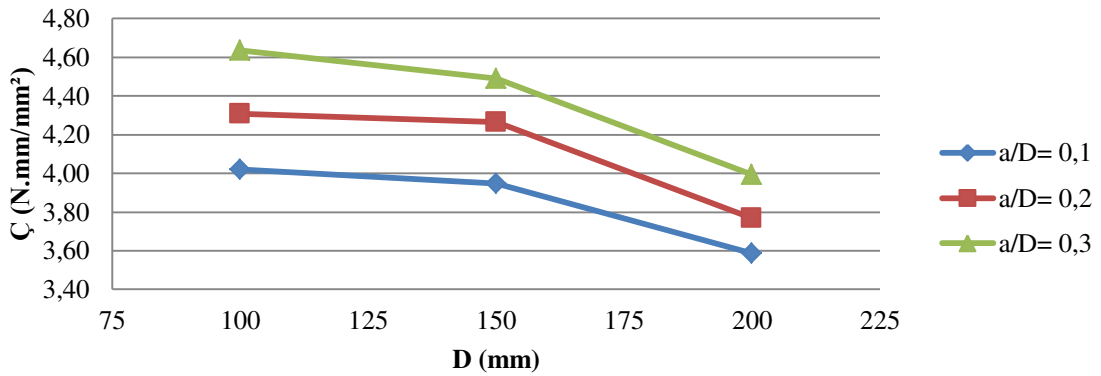
Şekil 6.2. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin $L/D=2,5$ oranına göre ortalamaları

Şekil 6.1. ,6.2. ve 6.3.'de görüldüğü gibi numune enkesit alanı arttıkça kırılma için gerekli enerji miktarı artmaktadır. Bu bütün seriler için geçerlidir.



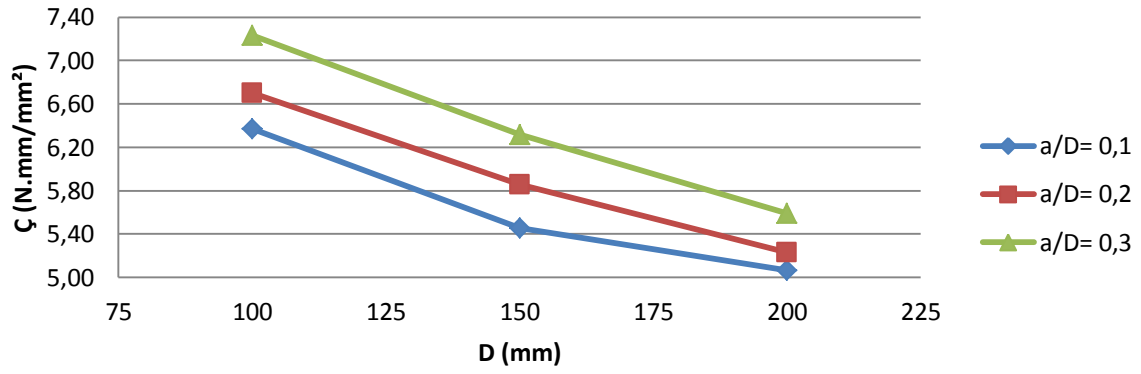
Şekil 6.3. Kırılma için gerekli potansiyel enerjilerin (U_{ort}) ortalamaları

Serilerin hesaplanan çarpma dayanımları ($\bar{C}$) değerleriyle bulunan $\bar{C}_{ort}$ değerlerinin $L/D=4$ ve $L/D=2,5$ oranlarına göre hazırlanmış grafikleri Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'de verilmiştir. Şekil 6.6.'de $\bar{C}_{ort}$ değerlerinin L/D oranlarına ait bütün değerleri gösterilmiştir.

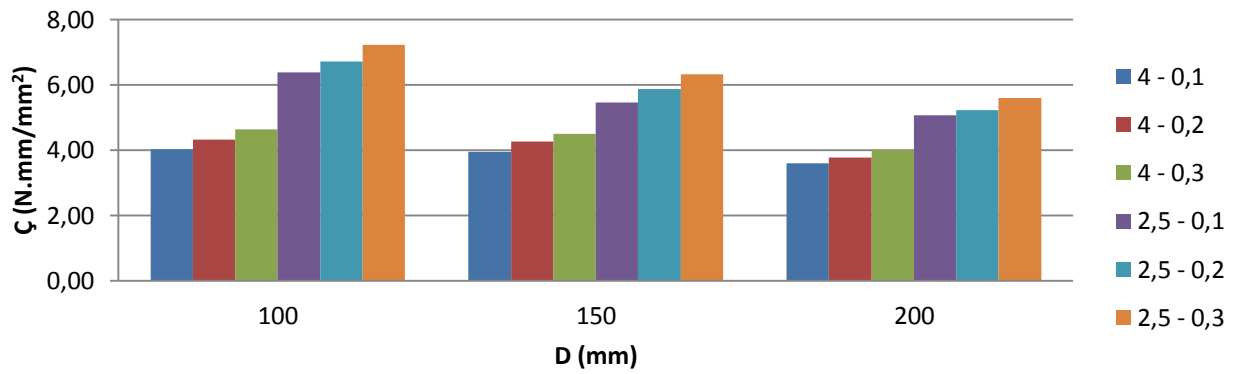


Şekil 6.4. $L/D=4$ oranına göre $\bar{C}_{ort}$ değerleri

Serilerin çarpma dayanımları ($\bar{C}$) tablo 6.1. ve Şekil 6.4.,6.5.,6.6.'dan görüleceği üzere U değerinin tam aksine faydalı enkesit alanı artmasıyla beraber $\bar{C}$ değeri düşmüştür.



Şekil 6.5. L/D=2,5 oranına göre $\bar{C}_{ort}$ değerleri



Şekil 6.6. Çarpma dayanımı ortalamaları ($\bar{C}_{ort}$)

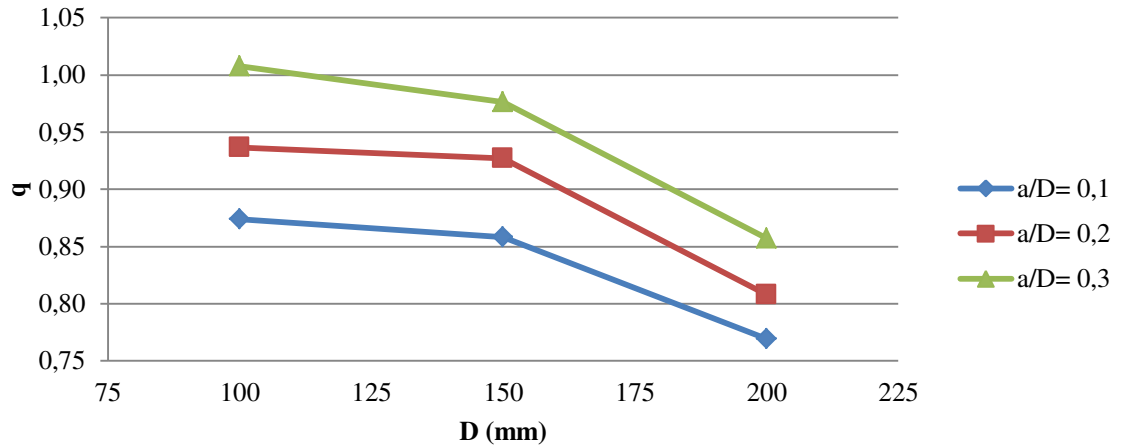
6.2. Basınç Dayanımı

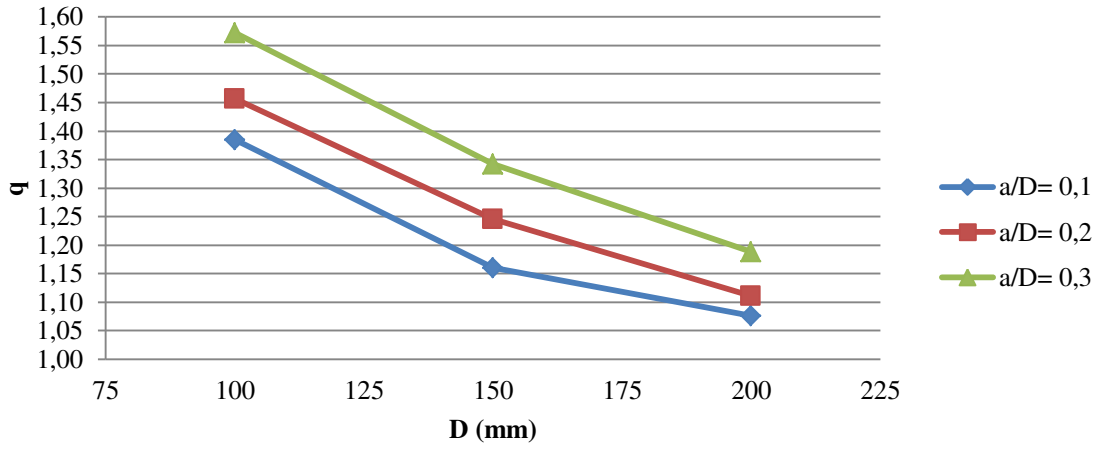
Basınç deneyine tabii tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla kırılma yükleri bulunmuş ve MPa cinsinden basınç dayanımları hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması σ_{ort} alınarak basınç dayanımları bulunmuştur. Basınç dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasındaki ilişkinin (q_B) belirlenmesi amacıyla $q_{ort} = \frac{\bar{C}_{ort}}{\sqrt{\sigma_{ort}}}$ formülünden faydalanılmıştır. Bulunan değerler Tablo 6.2'.te verilmiştir.

Tablo 6.2. Serilerin basınç dayanımları ve q_B değerleri

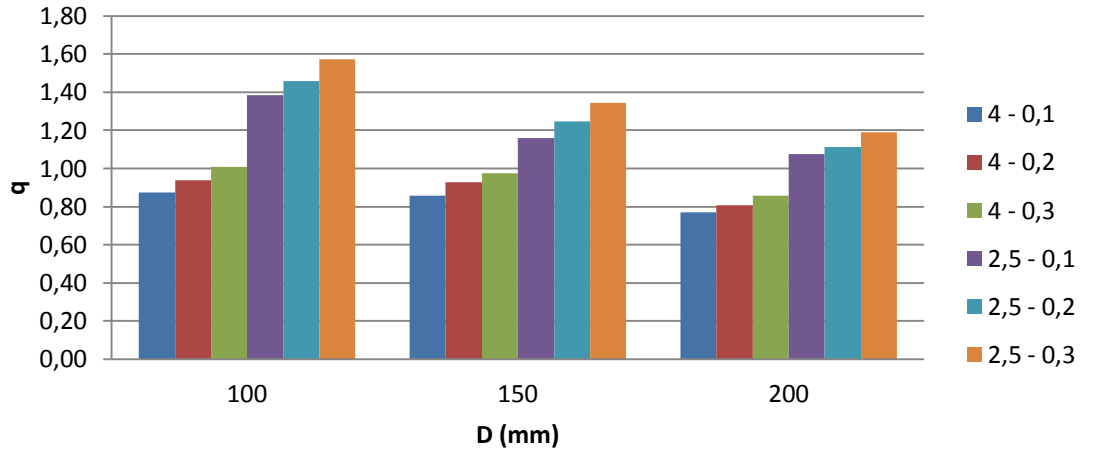
Seri No	Boyutlar (mm)			BASINÇ		
				σ_{ort} (N/mm ²)	σ_{ort} (N.mm/mm ²) (J/mm ²)	q_{ort}
Seri I	100	400	10	21,15	4,02	0,874
			20		4,31	0,937
			30		4,63	1,008
Seri II	150	600	15	21,15	3,95	0,858
			30		4,26	0,927
			45		4,49	0,976
Seri III	200	800	20	21,74	3,59	0,769
			40		3,77	0,808
			60		4,00	0,857
Seri IV	100	250	10	21,15	6,37	1,385
			20		6,70	1,457
			30		7,23	1,572
Seri V	150	375	15	22,14	5,46	1,160
			30		5,86	1,245
			45		6,32	1,343
Seri VI	200	500	20	22,14	5,06	1,076
			40		5,23	1,111
			60		5,59	1,188

Basınç dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında hesaplanan q değerlerinin $L/D=4$ ve $L/D=2,5$ oranlarına ait grafikleri Şekil 6.7. ve 6.8.'te verilmiştir. q_{ort} değerlerinin L/D oranlarına ait bütün değerleri de Şekil 6.9.' te gösterilmiştir.

**Şekil 6.7.** Basınç dayanımında $L/D=4$ oranına göre q_{ort} değerleri



Şekil 6.8. Basınç dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre q_{ort} değerleri



Şekil 6.9. Basınç dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki q_{ort} değerleri

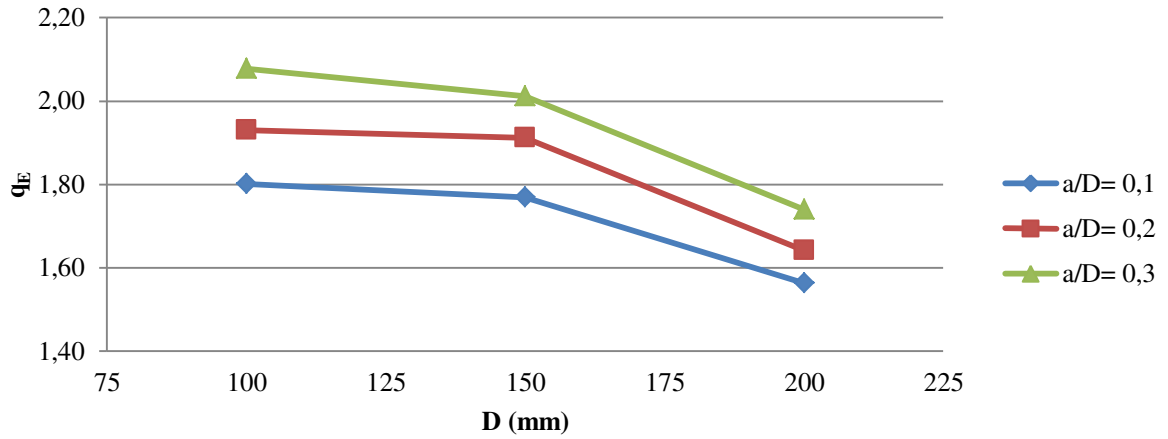
6.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

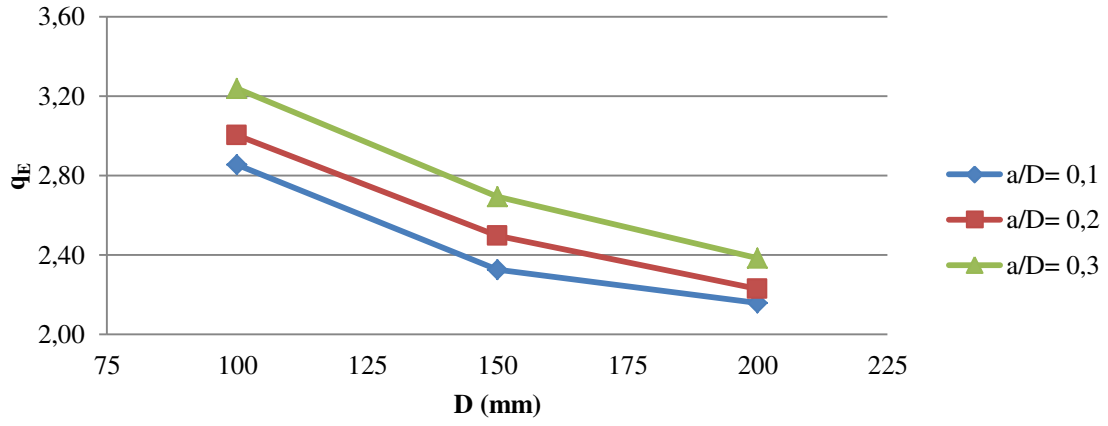
Eğilme çekme deneyine tabii tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla kırılma yükleri bulunmuş ve MPa cinsinden eğilmede çekme dayanımları hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması $f_{ct,ort}$ alınarak eğilmede çekme dayanımları bulunmuştur. Eğilmede çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında q_{ort} değerleri de hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 6.3.'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Eğilmede çekme dayanımı ortalamaları ($f_{ct,ort}$) ve q_{ort} değerleri

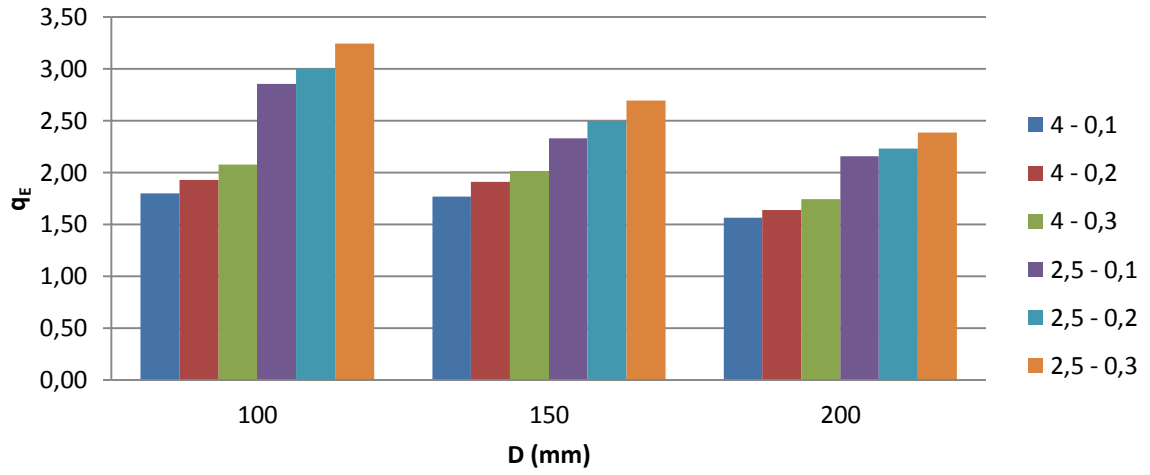
Seri No	Boyutlar (mm)			$F_{ct,ort}$ (N/mm ²)	EĞİLMEDE ÇEKME	
	D	L	a		q_{ort} (N.mm/mm ²) (J/mm ²)	q_{ort}
Seri I	100	400	10	4,98	4,02	1,801
			20		4,31	1,931
			30		4,63	2,077
Seri II	150	600	15	4,98	3,95	1,769
			30		4,26	1,911
			45		4,49	2,012
Seri III	200	800	20	5,27	3,59	1,563
			40		3,77	1,641
			60		4,00	1,740
Seri IV	100	250	10	4,98	6,37	2,855
			20		6,70	3,004
			30		7,23	3,241
Seri V	150	375	15	5,5	5,46	2,327
			30		5,86	2,498
			45		6,32	2,694
Seri VI	200	500	20	5,5	5,06	2,158
			40		5,23	2,229
			60		5,59	2,384

Eğilmede çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında hesaplanan q_{ort} korelasyon değerlerinin $L/D=4$ ve $L/D=2,5$ oranlarına ait grafikleri Şekil 6.10. ve 6.10.'de verilmiştir. q_{ort} değerlerinin L/D oranlarına ait bütün değerleri de Şekil 6.12.'de gösterilmiştir.

**Şekil 6.10.** Eğilmede çekme dayanımında $L/D=4$ oranına göre q_{ort} değerleri



Şekil 6.11. Eğilmede çekme dayanımında L/D=2,5 oranına göre q_{ort} değerleri



Şekil 6.12. Eğilmede çekme dayanımıyla çarpma dayanımı arasındaki q_{ort} değerleri

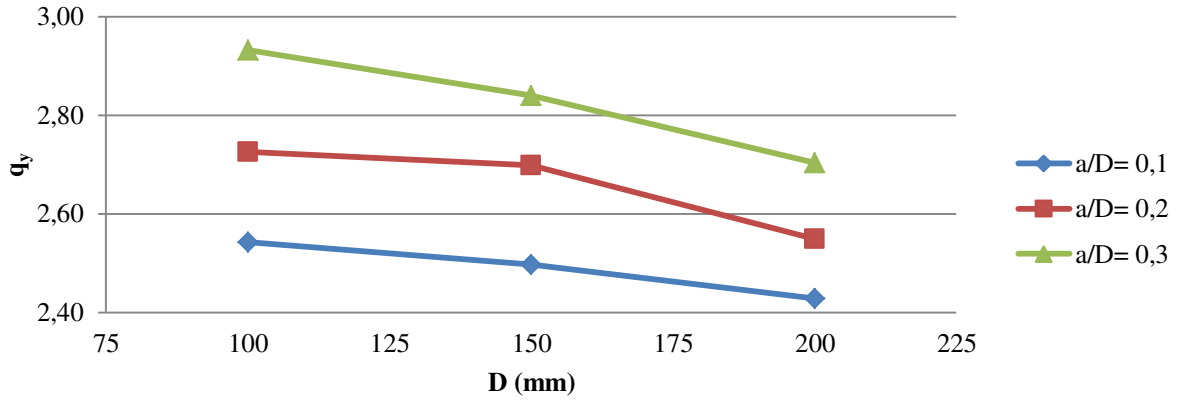
6.4. Yarmada Çekme Dayanımı

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

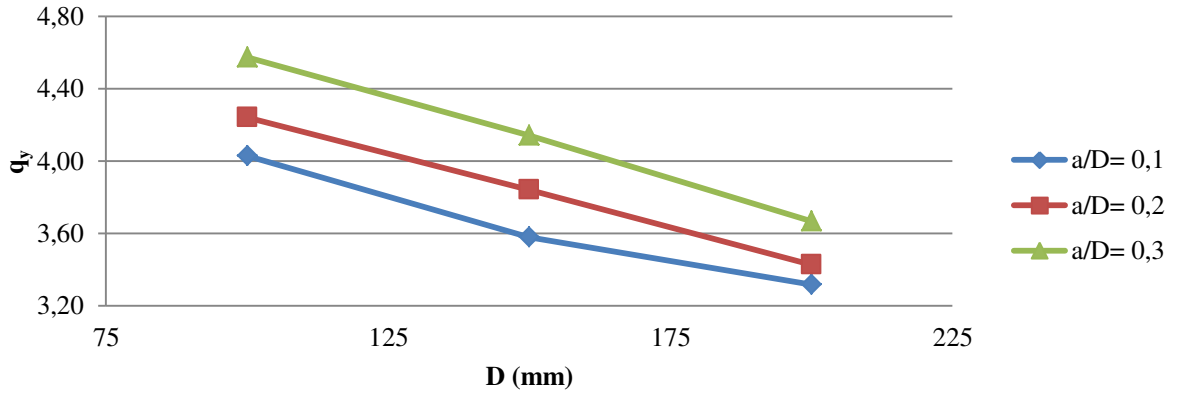
Tablo 6.4. Yarmada çekme dayanımı ortalamaları ($f_{ct,ort}$) ve q_{ort} değerleri

Seri No	Boyutlar (mm)			$f_{ct,ort}$ (N /mm ²)	YARMADA ÇEKME	
	D	L	a		$\bar{C}_{ort}$ (N.mm /mm ²) (J/mm ²)	q_{ort}
Seri I	100	400	10	2,5	4,02	2,543
			20		4,31	2,726
			30		4,63	2,933
Seri II	150	600	15	2,5	3,95	2,498
			30		4,26	2,698
			45		4,49	2,840
Seri III	200	800	20	2,18	3,59	2,428
			40		3,77	2,549
			60		4,00	2,704
Seri IV	100	250	10	2,5	6,37	4,030
			20		6,70	4,241
			30		7,23	4,575
Seri V	150	375	15	2,33	5,46	3,579
			30		5,86	3,842
			45		6,32	4,143
Seri VI	200	500	20	2,33	5,06	3,319
			40		5,23	3,428
			60		5,59	3,667

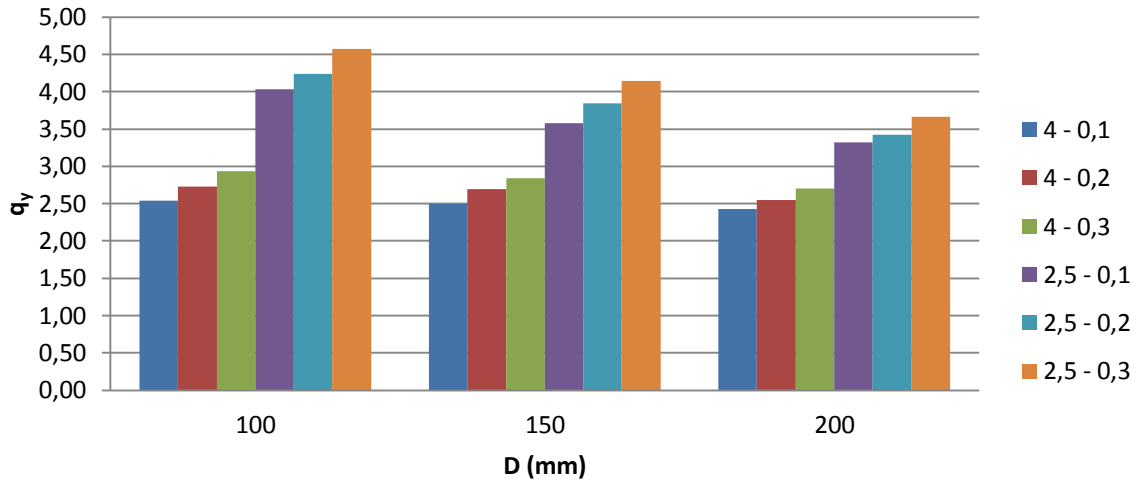
Yarmada çekme dayanımlarıyla çarpma dayanımları arasında hesaplanan q_{ort} korelasyon değerlerinin $L/D=4$ ve $L/D=2,5$ oranlarına ait grafikleri Şekil 6.13 ve 6.14.'da verilmiştir. q_{ort} değerlerinin L/D oranlarına ait bütün değerleri de Şekil 6.15.' de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Yarmada çekme dayanımında $L/D=4$ oranına göre q_{ort} değerleri



Şekil 6.14. Yarmada çekme dayanımında $L/D=2,5$ oranına göre q_{ort} değerleri



Şekil 6.15. 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. Numune genişliği (D) eşit olan numunelerde L mesafesi azaldıkça kırılma için gerekli olan enerji miktarı (U) atmaktadır.
2. D ve L değerleri eşit olan numunelerde çentik (başlangıç çatlak) boyu arttıkça faydalı enkesit azalmaktadır. Bunun sonucunda gerekli enerji miktarı da azalmaktadır.
3. a/D ve L/D oranları aynı olan numunelerde L ve D değerleri arttıkça kırılma için gerekli olan enerji miktarı artmaktadır.
4. Analizler sonucunda faydalı enkesit değeri azaldıkça çarpma dayanımı ($\bar{C}$) değeri artmaktadır.
5. Çarpma ve diğer mekanik özellikler arasındaki ilişkinin hesaplandığı q değerlerinin değişim oranı basınç ve eğilme için yaklaşık 0,40 olurken yarmada çekmede 0,47 olmuştur. Çarpma değişim oranı da 0,47 civarındadır.

Bu sonuçlar neticesinde çarpma dayanımının daha iyi açıklanabilmesi için boyut etkisi dikkate alınarak yapılması, ayrıca çarpma ve yarma dayanımı arasındaki ilişkinin daha net olarak ortaya koyulacağı bir çalışmanın yapılmasının daha uygun olabileceği kanaatindeyim.

KAYNAKLAR

- [1]. **TS EN 206-1 Beton Kullanıcısına Yönelik Kısaca Beton**
- [2]. **Beyazıt, Ö. L.** 1988. Beton ve Deneyleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Yayını, s. 238, Ankara.
- [3]. **Erdoğan, Y.T.**, 2003. Beton, ODTU Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve iletişim A.Ş., ANKARA
- [4]. **Postacıoğlu, B.**, 1987. Bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton, Teknik kitaplar yayınevi. Cilt 2.İSTANBUL.
- [5]. **Essam E.** 2009. Behavior of heavy weight concrete under impact effect 13th İnternation conference on Assat 13 CV-23. EGYPT.
- [6]. **Kantar, E., Arslan, A. and Anıl, Ö.** 2011. Effect of concrete compressive strength variation on impact behaviour, *J.Fac.Eng.Arch.Gazi Univ.*Vol 26 No **1**, 115-123.
- [7]. **Selvi, M.**, 2008. “Beton dayanımındaki değişimin çarpma dayanımına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi ” Yüksek lisans tezi Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü ANKARA.
- [8]. **Koç, V.** 2006. Farklı mesnetlenme şartları altında betonda boyut etkisi ve kırılma parametreleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.Cilt 24*.
- [9]. **Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A. N. ve Yerlikaya, M.** Betonun performansa göre tasarımında yeni gelişmeler
- [10]. **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.
- [11]. **Koç, V.** 2007. Beton boyut etkisi ve kırılma parametrelerinin tespiti, *BAÜ FBE Dergisi* Cilt:9, Sayı:2, 150-166.
- [12]. **Başka M.A.** 2006 “BETONUN BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ” Atatürk Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- [13]. **Taşdemir,C.,**”Agrega Tür ve Boyutunun Beton Performansına Etkisi”, THBB Hazır Beton Mart-Nisan 2001.
- [14]. **Erdoğan, Y.T**1995 “Betonu oluşturan malzemeler – Agregalar” T.H.B.B. Yayınları.
- [15]. **Cilason, N.**, 1992. "Beton" STFA Yayınları No : 21 İSTANBUL.

- [16]. **Hanifi BİNİCİ, İsmail H. ÇAĞATAY, Hasan KAPLAN PAMUKKALE**
ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK F A KÜLTESİ MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ DERGİSİ 2000
- [17]. **Özdemir M. 2006** “KAYAÇ MUKAVEMETİNİN BETON DAYANIMINA
ETKİLERİ” ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ.
- [18]. **TS 706 EN 12620+A1, 2009.** Beton Agregaları, TSE, Ankara.
- [19]. THBB 2000 Her yönüyle hazır beton. Genel teknik bilgiler kılavuzu. THBB
yayınları İSTANBUL
- [20]. **Aruntas, H.Y., Bir** katkı malzemesinin betonun fiziksel özelliklerine etkisi, Yüksek
lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 1988
- [21]. **Siewert, T. A., Manahan, M. P., McCowan, M.P., Holt, J. M., Marsh, F. J., Ruth, E.**
A., “The history and importance of impact testing”, **ASTM**, 1999.
- [22]. **TS EN 12390-6, 2002.** Betonda yarmada çekme dayanımı deneyi tayini, TSE,
Ankara.
- [23]. **ASTM C 496, 1994.** Standart test method for split tensile strength of cylindrical
concrete specimens, Annual Book of ASTM Standards.
- [24]. **TS EN 12390-5, 2002.** Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, TSE,
Ankara.
- [25]. **ASTM C 293, 1994. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete,**
Annual Book of ASTM Standards.
- [26]. **Baradan, B., 1996.** Yapı Malzemesi II, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Yayınları No:207, İzmir
- [27]. **Güner, M.S., Süme, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi,**
Ankara.
- [28]. **Uğurlu, A., 1999,** An overview of the cement–Aggregate Bond 2. Uluslararası
Kırma taş sempozyumu 99, ISBN B.16.0 KGM.0.63.00.03/606.1.
- [29]. **Binici, H., Çağatay, İ.H ., Kaplan , H., 2000.** “ Değişik Faktörlerin beton
mukavemetine etkisinin deneysel olarak incelenmesi ” Journal of engineering
sciences Vol 6 No: 2-3, 203-209.
- [30]. **İstanbul İüoğlu, S. 1988.** Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble
Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, MADENCİLİK, Cilt XXVII, Sayı
No 3

- [31]. Tokyay, M., Taşdemir, M.A., Uyan, Özkul, H., 1999 “Her yönüyle beton” MEB İSTANBUL.
- [32]. Arıcı, E., Dursun, R. ve İnce, R., 2007. Betonun çarpma mukavemetinin tespiti, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı 7 – 9 Kasım 2007.
- [33]. Arıcı, E., 2010. Betonun Çarpma Mukavemeti Üzerine Basınç Dayanımının Etkisi, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi Cilt 9, Sayı 1-2010.
- [34]. Serway, R.A. 1992. Physics For Scientists and Engineers, Florida, 1169p.
- [35]. Bayramov, F., Akkaya, Y., 2003. “Betonun kırılma mekaniği “ Türkiye Mühendislik haberleri Sayı 426–/4.
- [36]. 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.*
- [37]. TS 802, 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Elazığ'da dünyaya gelen Zafer KOCALMIŞ, ilk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Öğretmenliği bölümünü kazanmış ve 2008 yılında mezun olmuştur. 2011 yılında F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.