

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON KÜP NUMUNELERİNİN DİYAGONAL YARMADA - ÇEKME YÜKLEMESİ
ALTINDA BOYUT ETKİSİNİN LİNEER OLMAYAN KIRILMA MEKANİĞİ
PRENSİPLERİYLE İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mesut GÖR

(08115102)

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ragıp İNCE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Aralık 2010

OCAK-2011

**BETON KÜP NUMUNELERİNİN DİYAGONAL YARMADA –
ÇEKME YÜKLEMESİ ALTINDA BOYUT ETKİSİNİN
LİNEER OLMAYAN KIRILMA MEKANİĞİ
PRENSİPLERİYLE İNCELENMESİ**

Müh. Mesut GÖR

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. Ragıp İNCE
OCAK-2011**

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

**BETON KÜP NUMUNELERİNİN DİYAGONAL YARMADA - ÇEKME YÜKLEMESİ
ALTINDA BOYUT ETKİSİNİN LİNEER OLMAYAN KIRILMA MEKANİĞİ
PRENSİPLERİYLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mesut GÖR

(08115102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Aralık 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Aralık 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü)

OCAK – 2011

ÖNSÖZ

Lisans eğitimimden bu yana engin bilgilerinden yararlandığım, ufkumun genişlemesinde birçok yönden örnek aldığım, tüm çalışmam boyunca kıymetli zamanını ve bilgilerini esirgemeyen danışman hocam, **Sayın Doç. Dr. Ragıp İNCE'** ye sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Her konuda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen **Sayın Yrd. Doç. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a** ve deneysel çalışmalarım boyunca deneyimleri ile katkısı azımsanmayacak İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Teknisyeni **Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e** saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Varlıklarını ve arkadaşlıklarını kendime büyük bir lütuf olarak kabul ettiğim, iyi kötü tüm zamanlarımda yanımda olan **Dr. Erkut SAYIN, Arş. Gör. Burak YÖN, Arş. Gör. Onur ONAT, Arş. Gör. Zehra URAL, Arş. Gör. Senem YILMAZ, Arş. Gör. Merve AÇIKGENÇ ve Arş. Gör. Sümeyra CİHANGİROĞLU'** na sevgi, saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca adını saymadığım ve etrafımda varlıkları ile beni onurlandıran herkese teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

“ Hayatının baharında acı bir şekilde aramızdan ayrılan amcam, **Eşref GÖR,** anısına. ”

Mesut GÖR
Elazığ - 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
1.1. SERTLEŞMİŞ BETONUN ÖZELLİKLERİ ve BETONUN ÇEKME MUKAVEMETİ	3
1.1.1. Betonun Dayanımı	3
1.1.1.1. Betonun Basınç Dayanımı	4
1.1.1.2. Betonun Çekme Dayanımı	5
1.1.1.2.1. Direkt Çekme Deneyi	7
1.1.1.2.2. Yarmada Çekme Deneyi	8
1.1.1.2.3. Eğilmede Çekme Deneyi	15
1.1.1.3. Betonun Kayma Dayanımı	20
1.1.2. Farklı Deneyler Sonucunda Bulunan Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması	21
1.1.3. Yükleme Hızının Dayanım Üzerindeki Etkisi	22
1.1.4. Numune Boyutunun Dayanım Üzerindeki Etkisi	24
1.2. KIRILMA MEKANİĞİ VE BOYUT ETKİSİ	28
1.2.1. Lineer Elastik Kırılma Mekanikliği (LEKM)	28
1.2.2. Betonun Lineer Olmayan Kırılma Teorileri	30
1.2.3. Boyut Etkisi	30
1.2.3.1. Boyut Etkisi Kanunu (BEK)	31
1.2.3.2. Değiştirilmiş Boyut Etkisi Kanunu (DBEK)	32
1.2.3.3. Fraktal Boyut Etkisi Kanunu (FBEK)	34
1.2.4. Beton/Betonarme Kırılma Mekanikliğinde Boyut Etkisine Ait Uygulamalar ...	36
1.2.5. Boyut Etkisi ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar	37
1.2.5.1. Hasegawa, Shioya ve Okada - Silindir Yarma Deneyi (Ölçü Aralığı 1:30)	37
1.2.5.2. Bazant, Kazemi, Hasegawa and Mazars - Yarma Deneyi (Ölçü Aralığı 1:27)	38
1.2.5.3. Kim ve Eo - Silindir Yarma Deneyi (Ölçü Aralığı 1:16)	39
1.2.5.4. Marti - Çift Zimba Deneyi (Ölçü Aralığı 1:16) (II seri)	40
2. MATERYAL ve METOT	42
2.1. Deneysel Çalışmalar	42
2.2. Deney İçin Hazırlanan Çelik Başlıklar ve Boyutları	44
2.3. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	45
3. BULGULAR	53
3.1. Deney Sonuçları ve Analizleri	53
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	62
5. KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	69

ÖZET

Betonun çekme dayanımını değerini dolaylı yollardan belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de yarma deneyleridir. Yarma deneylerinde numune boyutları, kullanılan agrega tipine, karışım oranlarına, yükleme şeridinin genişliği, kalınlığı ve yapıldığı malzeme sonuçları büyük oranda etkilemektedir. Literatürde silindirik yarma deneyleri üzerine yapılan birçok çalışma mevcutken küp-yarma deneyleri ile ilgili yeterli çalışma yapılmamış olup küp yarma deneylerinin diğer mukavemet değerleri ile olan ilişkisi pek incelenmemiştir. Sunulan bu çalışmada; ilk önce betonun küp yarmada-çekme dayanımı üzerine (özellikle diyagonal küp-yarma mukavemeti) malzeme ve numune boyutu parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Betonda kırılma mekaniğinde boyut etkisine göre; numune boyutları arttıkça mekanik mukavemette düşüşler meydana gelmektedir. Tüm bu düşünceler ele alınarak yapılan bu tez çalışmasında maksimum agrega çapı 4mm, 8mm, 16mm olan ve uygun beton karışımları ile hazırlanmış 50mm, 100mm, 200mm'lik numuneler üzerinde betonun diyagonal çekme dayanımında boyut etkisi Boyut Etkisi Kanunu (BEK) yaklaşımlarına göre incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda boyut etkisi ile dayanımın değiştiği gözlemlenmiş olup sonuçlar tablo ve grafik olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Küp Yarma Deneyi, Diyagonal Yarma, Boyut Etkisi, Boyut Etkisi Kanunu, Betonun Çekme Dayanımı, Lineer Olmayan Kırılma Mekaniği

SUMMARY

Investigation of Size Effect in Diagonal – Splitting Cube Tests by Nonlinear Fracture Mechanics Theory

One of the methods commonly used in order to indirectly determine the concrete tensile strength value is the splitting tests. In the splitting tests, the specimen size, the type of aggregate and the mix proportions, and the width, thickness and material of the loading line affect the results considerably. Although there are many studies available on the cylinder splitting tests in the literature, there have not been satisfactory studies done on the cube-splitting tests, and the relation between the the cube-splitting tests and other strength values has hardly been analyzed. In this study, the effect of the material and sample size parameters on the concrete tensile strength (especially the diagonal cube-splitting strength) in the cube-splitting has been analyzed in the first place. According to the size effect in concrete fracture mechanics, some decreases occur in the mechanical strength as the size of the sample increases. In this study done by taking all the afore-mentioned ideas into account, the effect of size on the diagonal tensile strength of concrete has been analyzed on the 50mm, 100mm, 200mm samples which have 4mm, 8mm, 16mm maximum aggregate diameters, and which have been prepared with proper concrete mixture according to the Size Effect Law (SEL) approaches. At the end of the analyses, it has been observed that the strength changes with the size effect. The results have been shown with tables and figures.

Key Words: Concrete, Cubic Splitting Test, Diagonal Splitting, Size Effect, Size Effect Law, Tensile Strength of Concrete, Nonlinear Fracture Mechanics

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Beton dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki ilişki	4
Şekil 1.2. Beton numuneye basınç yükü uygulaması	5
Şekil 1.3. Basınç dayanımı altında narinlik (yükseklik/enkesit boyutu) etkisi	6
Şekil 1.4. Basit bir kirişin A elemanının üzerindeki çekme ve eğik çekme kuvvetleri ve basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvvetleri	6
Şekil 1.5. Beton numuneye doğrudan çekme yükü uygulanabilmesine dair bazı örnekler	7
Şekil 1.6. Doğrudan çekme deneyleri için Kassas tarafından kullanılan başlık düzeni	8
Şekil 1.7. Yarma deneyi uygulama düzeneği	9
Şekil 1.8. Yarma deneyi	10
Şekil 1.9. Elastisite teorisine göre yükleme şeritinin rölatif genişliği ile yarma çekme mukavemetinin değişmesi	11
Şekil 1.10. Yarma deneyine tabi tutulan beton silindirlerdeki yanal gerilme dağılımı	12
Şekil 1.11. Küp numuneler için yarmada çekme dayanımı	13
Şekil 1.12. Basınç Dayanımı ve Yarmada Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki	13
Şekil 1.13. Eğilme Dayanımı ve Yarmada Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki	14
Şekil 1.14. Basınç dayanımının değişimi ile silindir numunelerde yarmada çekme dayanımı ...	15
Şekil 1.15. Eğilme Dayanımı, Basınç Dayanımı ve Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki	16
Şekil 1.16. Kirişin orta noktasından (L/2 noktasından) yükleme (üç noktalı eğilme)	16
Şekil 1.17. Kirişin L/3 noktasından yükleme (dört noktalı eğilme)	17
Şekil 1.18. Orta Noktadan ve L/3 noktalarından yüklenen kirişlerdeki moment diyagramları ...	18
Şekil 1.19. Eğilmeye maruz kalan kirişin kesitindeki gerilme dağılımı	19
Şekil 1.20. Kırılma modülü ve derinlik arasındaki ilişki	19
Şekil 1.21. Yükleme hızının kırılma modülüne etkisi	20
Şekil 1.22. Beton için tipik Mohr Diyagramı	21
Şekil 1.23. Beton basınç dayanımına uygulanan yükün hızının etkisi	23
Şekil 1.24. Yükleme hızının betonun kırılma modülü üzerine etkisi	24
Şekil 1.25. Normal dağılım altında boyutu n olan numunelerin dayanım dağılımı.....	25
Şekil 1.26. Farklı boyutlardaki kirişler için kırılma modülünün varyasyon katsayısı	25
Şekil 1.27. Farklı boyutlardaki küplerin basınç dayanımı	26
Şekil 1.28. Farklı boyuttaki silindir numuneler için basınç dayanımı	26
Şekil 1.29. Farklı boyut ve şekillerdeki numunelerde basınç dayanımına yaşın etkisi (hacim cinsinden karışım 1:5)	27
Şekil 1.30. Kırılma modları	29

Şekil 1.31. Değişik malzeme sınıfları için kırılma süreci bölgeleri (L: Lineer, N: Non-Linear ve K: Kırılma)	30
Şekil 1.32. Bazant'ın Boyut Etkisi Teorisi	33
Şekil 1.33. Silindir yarma deneyinin detayları ve temas problemi	34
Şekil 1.34. Betonda kırılmanın çok ölçekli yayılması	35
Şekil 1.35. Carpinteri'nin Boyut Etkisi	35
Şekil 1.36. Ölçü aralığı 1:30 olan silindir yarma deneyi	37
Şekil 1.37. Ölçü aralığı 1:27 olan silindir yarma deneyi	39
Şekil 1.38. Ölçü aralığı 1:16 olan silindir yarma deneyi	40
Şekil 1.39. Ölçü aralığı 1:16 olan silindir çift zımba deneyi	41
Şekil 2.1. Çelik başlık ve küp numune	44
Şekil 2.2. Deneyslerde kullanılan kalıplar ve mikser	46
Şekil 2.3. Deneyslerde kullanılan 2500kN kapasiteli hidrolik pres makinesi	46
Şekil 2.4. Deneyslerde kullanılan 2500kN kapasiteli hidrolik pres makinesi altında numune yerleştirilmesi	47
Şekil 2.5. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları ve değer okunması	47
Şekil 2.6. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	48
Şekil 2.7. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	48
Şekil 2.8. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	49
Şekil 2.9. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	49
Şekil 2.10. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	50
Şekil 2.11. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	50
Şekil 2.12. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	51
Şekil 2.13. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	51
Şekil 2.14. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	52
Şekil 2.15. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları	52
Şekil 3.1. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 4mm$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği	54
Şekil 3.2. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 4mm$ için Bazant'ın BEK	54
Şekil 3.3. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 8mm$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği	56
Şekil 3.4. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 8mm$ için Bazant'ın BEK	56
Şekil 3.5. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 16mm$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği	58
Şekil 3.6. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 16mm$ için Bazant'ın BEK	58
Şekil 3.7. Küp numuneler için kenar ve diyagonal yarma deneyleri sonucunda bulunan σ_N ve β değerleri karşılaştırılması	59
Şekil 3.8. BEK sonuçları	61

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Betonun çekme dayanımında test sonuçlarının değışkenliği	14
Tablo 1.2. Farklı yüklenme hızları için agrega/çimento oranı ile dayanım arasındaki ilişki	23
Tablo 1.3 Farklı boyutlardaki küplerin standart sapması	25
Tablo 2.1. Agrega yoğunlukları	42
Tablo 2.2. Hava Boşluğu oranları	42
Tablo 2.3. $d_{max}=4\text{mm}$ için granülometri	43
Tablo 2.4. 55 dm^3 için karışım hesapları	44
Tablo 2.5. Çelik başlık boyutları	45
Tablo 2.6. Duralit/kontrplak şerit boyutları	45
Tablo 3.1. $d_{max}=4\text{mm}$ için analiz sonuçları	53
Tablo 3.2. $d_{max}=8\text{mm}$ için analiz sonuçları	55
Tablo 3.3. $d_{max}=16\text{mm}$ için analiz sonuçları	57
Tablo 3.4. $d_{max}=4\text{mm}$, 8mm ve 16mm için numunelerin dayanım özellikleri.....	59
Tablo 3.5. Farklı β değerleri için $d_{max}=16\text{mm}$ ve $d=150\text{mm}$ küp numuneler için kenar ve diyagonal yarma deneyleri analiz sonuçları	59
Tablo 3.6. $\beta = 0.1$ ve $d_{max}=4\text{mm}$, $d_{max}=8\text{mm}$, $d_{max}=16\text{mm}$ için toplu analiz sonuçları	60

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Numunenin kesit alanı
A*	: Beton karışımındaki toplam hava miktarı
a	: Küp numune için bir kenar boyutu
b	: Kesit genişliği
c	: Karışıma girecek çimentonun kütlesi
d	: Karakteristik boyut
D	: Kesitin fraktal boyutu
d_{max}	: Maksimum agrega çapı
E	: Elastisite modülü
f(g, p)	: Numunenin yüklemesi (p) ve geometrisine (g) bağlı boyutsuz bir fonksiyon
G_c	: Çatlak yayılma hızı
h	: Numune yüksekliği
I	: Atalet momenti
K₁, K₂	: Ampirik katsayılar
K_I, K_{II}, K_{III}	: Gerilme şiddet çarpanları
L	: Silindir numunenin boyu
M	: Maksimum moment
P	: Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı
R	: Korelasyon katsayısı
s	: Numunenin enine doğru en küçük boyutu
V	: Numunenin hacmi
W	: Karışıma girecek suyun hacmi
w/c	: Su/çimento oranı
A, C	: Sabit
f'_c	: Beton dayanımı
f_c	: Basınç dayanımı
f_{cc}	: Küp numune basınç dayanımı
f_t	: Betonun çekme dayanımı
σ_N	: Nominal gerilme

β	: Yük taşıyan şeritlerin rölatif genişliği
f_{sp}	: Yarma gerilmesi
σ_e	: Eğilme dayanımı
τ	: Kayma gerilmesi
τ_0	: Ortalama kayma gerilmesi
a_0	: Yarı entik uzunluğudur
σ	: Gerilme
B, λ_0, d_0	: Ampirik sabitler
l_{ch}	: Karakteristik uzunluk
P_u	: Kırılma yükü
γ_c	: Çimento yoğunluğu
W_a	: Karışıma girecek agreganın kütlesi
γ_a	: Agregaya yoğunluğu

KISALTMALAR LİSTESİ

LEKM	: Lineer Olmayan Kırılma Mekaniği
BEK	: Boyut Etkisi Kanunu
DBEK	: Değiştirilmiş Boyut Etkisi Kanunu
ASTM	: Amerikan Malzeme Tecrübeleri Kurumu (American Society for Testing Materials)
TS	: Türk Standartları
KİE	: Kırılma İşi Enerjisi
BEM	: Boyut Etkisi Modeli
İPM	: İki Parametrelili Model
EÇM	: Efektif Çatlak Modeli
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute)
FBEK	: Fraktal Boyut Etkisi Kanunu
MFSL	: Çok Fraktallı Boyut Etkisi Kanunu (Multifractal Scaling Law)

1. GİRİŞ

Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerlerine gelen basınç ve/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. Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedirler.

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

Beton/Betonarme yapı elemanları boyutlandırılırken uygulamada, sadece betonun basınç mukavemetine bakılmaz. Bazı yapı hesaplarında, betonun çekme veya eğilme-çekme gibi mukavemet değerleri önemli olabilir. Betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapıyla ilgili analizlerin yapılabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Betonun direkt çekme mukavemetini temsil edecek bir numunenin dizaynı çok zordur. Bu sebeple betonun çekme dayanımı dolaylı yöntemlerle tayin edilme yoluna gidilir. Bunlar, silindir yarma, küp yarma deneyi, üç noktalı eğilme ve dört noktalı eğilme numunelerinden tespit edilebilir.

Silindir-yarma deneyi üzerine, literatürde birçok çalışma yapılmasına karşın, küp-yarma deneyi kısıtlı düzeyde incelenmiş ve diğer mukavemet değerleri ile ilgili korelatif bağıntılar kısır kalmıştır [2]. Diğer taraftan, küp numunenin diyagonal düzlemi üzerinde yapılan yükleme tipine ait hemen hemen hiç çalışma yapılmamıştır.

Betonun mekanik mukavemet değerlerinin tayini üzerine yapılan çalışmalar, betonun mekanik mukavemet değerleri agreganın tipine (nehir/kırma taş), maksimum agrega çapına (d_{max}) ve su/çimento oranı gibi malzeme parametrelerine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır [3-5]. Bununla beraber günümüz dizayn çalışmalarında sadece basınç dayanımı hedef alınmamakta, aynı zamanda özel yapı tiplerinde betonun çekme

dayanımına da ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan çok iyi bilinmektedir ki beton numunenin boyutu arttıkça mekanik mukavemet değerlerinde düşüşler gözlenmektedir. Buna beton/betonarmenin kırılma mekaniğinde boyut etkisi adı verilmektedir.

Bazant [6], maksimum yükte çatlağın ilerlemesi sonucu serbest kalan şekil değiştirme enerjisi ile çatlamış beton yüzey tarafından absorbe edilen enerji arasındaki basit denge bağıntısını boyut analizi yardımı ile kurarak kendi adı ile anılan, Boyut Etkisi Kanununu (BEK) geliştirmiştir. Lineer olmayan kırılma mekaniğinin (LEKM) temeli olarak kabul edilen kanun, son yıllarda yapılan araştırmalar ve özellikle de silindir yarma deneyine ait sonuçlar, teorinin limit durumdaki davranışlarındaki eksiklikleri ortaya koymuştur [7]. Daha sonraları Kim ve Eo [8], Bazant'ın teorisine bazı adaptasyonlar uygulayarak Değiştirilmiş Boyut Etkisi Kanununu (DBEK) geliştirmişlerdir.

Çentikli ve çentiksiz silindir ve küp numunelerin kırılma mekaniği prensiplerine göre incelenmesi Tang [9] ve Rocco v.d. [10] tarafından yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda boyut etkisi dikkate alınmamıştır. Diğer taraftan, betonun yarmada-çekme dayanımında, silindir numuneler üzerinde boyut etkisi Bazant v.d. [6] tarafından yapılmıştır. Ancak küp numunelerde boyut etkisi ile ilgili çok az çalışma yapılmıştır. Diğer taraftan, diyagonal küp numune tipleri, uygulamada kullanılmakla birlikte literatürde elle tutulur bir bilgiye rastlanmamıştır [11]. Dolayısıyla bu tip numunelerin, özellikle kırılma mekaniği prensipleriyle incelenmesi beton teknolojisinde önemli bir yer tutacağı açıktır.

Sunulan bu çalışmada; beton küp numunelerinin diyagonal yarmada-çekme yüklemesi altında boyut etkisinin lineer olmayan kırılma mekaniği prensipleriyle incelenmesi ele alınmıştır. Böylece literatürde yetersiz düzeyde olan çalışmalara katkıda bulunulması hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, belirlenen ve uygun olan karışım oranları CEM I 42.5N tipi çimento kullanılarak ve maksimum agregası 4mm, 8mm, 16mm olan beton karışımlarla 50mm, 100mm, 150mm, 200mm'lik küp numuneler üzerinde uygun kür şartlarında 28 günlük mukavemet neticesinde betonun diyagonal küp yarmada-çekme dayanımı, Boyut Etkisi Kanunu (BEK) yaklaşımlarına göre incelenmiştir.

1.1. SERTLEŞMİŞ BETONUN ÖZELLİKLERİ ve BETONUN ÇEKME MUKAVEMETİ

1.1.1. Betonun Dayanımı

Beton dayanımı; “üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun göstereceği maksimum direnme” olarak tanımlanabilir [12].

İnşaat mühendisliği uygulamalarında birçok malzeme kullanılmakta olup bunların en önemlisi betondur. Kompozit bir malzeme olan beton çoğu yapı türünde kullanılmakta ve üzerine değişik yönlerden statik ve dinamik yükler etki edebilmektedir. Beton tüm bu yüklere karşı direnç göstermektedir. Betonun gösterdiği bu direnç aşılsa, betonda şekil değiştirmeler başlar ve neticede betonda kırılmalar meydana gelir.

Betonun taşıdığı yükler betonda, basınç, çekme, eğilme ve kesme etkisi oluşturmaktadır. Betonun bu etkiler altındaki direnme kabiliyeti, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Betonun kullanılacağı yapılarda bu dayanımlar hesaplarda çok önemlidir.

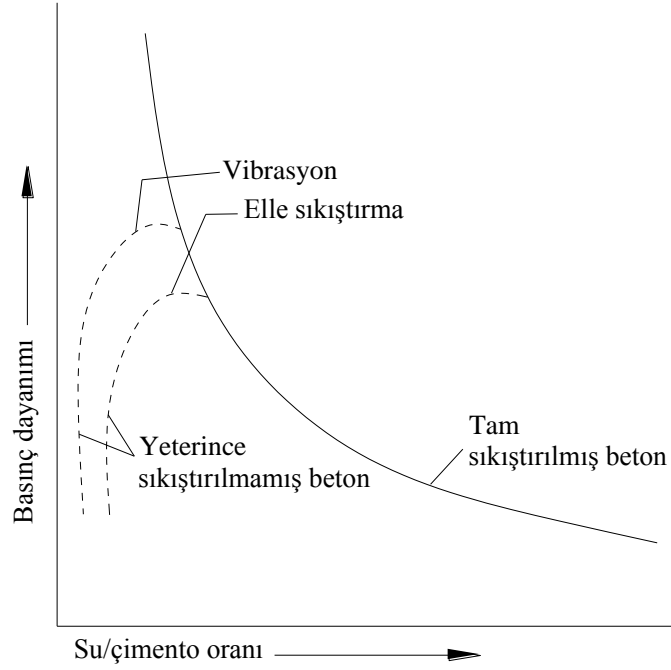
Betonun dayanımının yeterli olması için kullanılan çimento hamurunun dayanımının yüksek olması, kullanılan agregaların sert, dayanıklı, kimyasal özellikleri uygun ve temiz olması, agrega ile çimento hamuru arasında iyi bir aderansın olması gerekmektedir. Ayrıca karma suyunun iyi kalitede olması, vibrasyonun yeterince yapılması, uygun kür şartlarının sağlanması ve su/çimento oranı betonun dayanımında çok önemli unsurlardır. Abrams’ın su/çimento kanunu bu bağlamda çok iyi bilinmektedir. Bu kanuna göre [13];

$$f'_c = K_1/K_2^{w/c} \quad (1.1)$$

Bu formüldeki; f'_c Beton dayanımı, w/c , su/çimento oranı ve K_1 ve K_2 = Ampirik katsayılarıdır.

Su/çimento arasındaki ilişki Şekil 1.1’de gösterilmektedir [13]. $f'_c = K_1/K_2^{w/c}$ formülünden de anlaşılacağı gibi oranı azaldıkça betonun dayanımının sürekli artış göstermesi gerekmektedir. Ancak belli bir w/c değerinin altına inildiğinde beton sıkıştırılamamaktadır. Böylece betondaki boşluklar tam olarak ortadan kalkmadığı için

belirli bir seviyenin altındaki w/c oranında beton dayanımında Şekil 1.1’ deki kesikli çizgilerle gösterildiği gibi düşüşler meydana gelmektedir.



Şekil 1.1. Beton dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki ilişki

1.1.1.1. Betonun Basınç Dayanımı

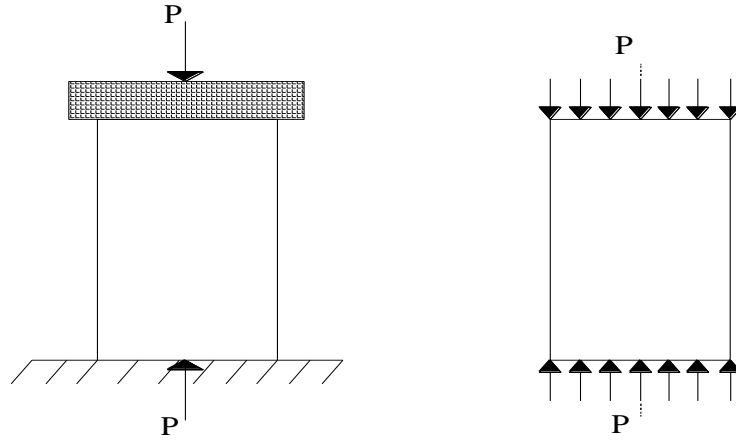
Betonun basınç dayanımı; “eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme)” olarak tanımlanmaktadır [1].

Betonun kullanıldığı mühendislik uygulamalarında en çok “betonun basınç dayanımı” ele alınmaktadır. Bunun sebebi basınç dayanımının diğer tür dayanımlardan daha basit yöntemlerle bulunması, birçok yapıda basınç dayanımının esas alınması, basınç dayanımı bilindiğinde belli bağıntılar sayesinde diğer dayanımların bulunabilmesi ve betonun basınç dayanımı bilindiğinde betonun diğer özellikleri ile ilgili bilgi vermesi. Örneğin; yüksek basınç dayanımı, su geçirgenliğinin az olduğunu ve dayanımın yüksek olduğunu göstermektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı betonun basınç dayanımı hesaplarda en çok tercih edilen dayanım türüdür.

Basınç dayanımının bulunması için genellikle silindir, prizma ve küp numuneler kullanılmaktadır. Türkiye’de genellikle silindir ve küp numuneler üzerinde basınç deneyi yapılmaktadır. Silindirlerde yükseklik 300mm ve çap 150mm, küplerde ise boyutlar

150x150x150mm³ tür. Basınç dayanımının elde edilebilmesi için uygulanan standart deney yöntemleri ile ilgili Türk ve ASTM (American Society for Testing Materials) standartları şunlardır; TS 3068, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39'dir [14, 15, 16, 17].

Basınç deneylerinde, standartlarda belirlenen boyutlarda silindir ve küp numuneler kullanılmaktadır. Uygun şekilde kalıplara dökülen beton, duruma göre bir gün sonra kalıplardan çıkartılıp genellikle 28 gün uygun kür şartlarında bekletildikten sonra Şekil 1.2'de belirtildiği gibi basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.



Şekil 1.2. Beton numuneye basınç yükü uygulaması

$$f_c = P/A \quad (1.2)$$

Burada;

f_c = Basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi)

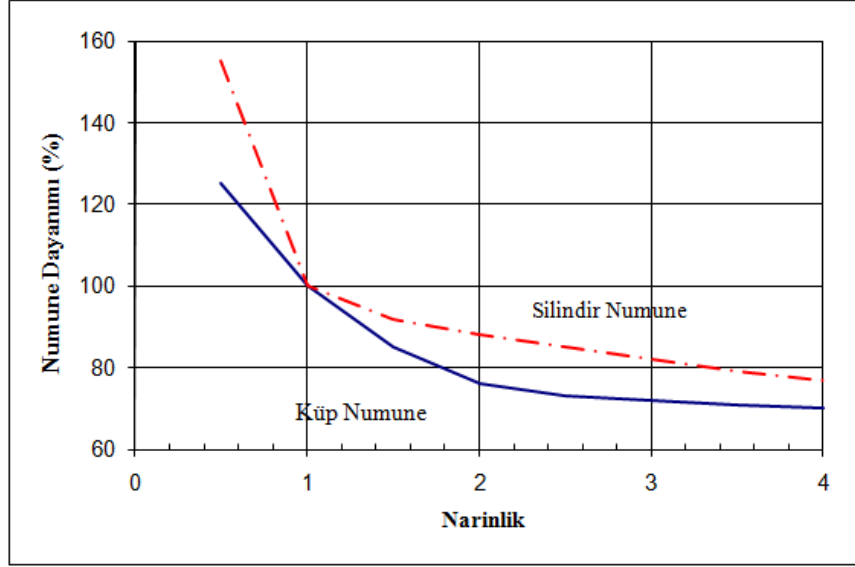
P= Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı

A= Numunenin kesit alanı'dır.

Beton numunelerde narinlik (yükseklik/enkesit oranı) arttıkça basınç mukavemeti düşmektedir (Şekil 1.3).

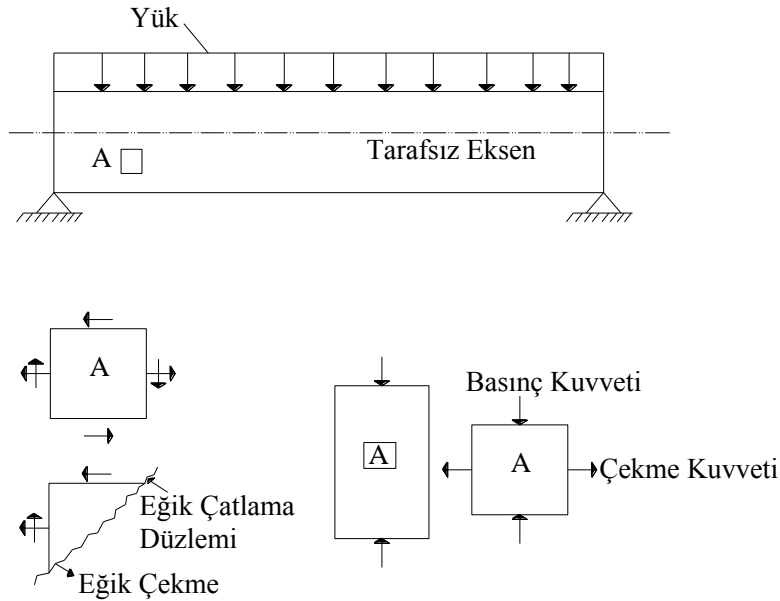
1.1.1.2. Betonun Çekme Dayanımı

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



Şekil 1.3. Basınç dayanımı altında narinlik (yükseklik/enkesit boyutu) etkisi

Mühendislik yapılarında beton elemanlara çoğu zaman çekme kuvveti direkt olarak uygulanmaz. Ancak beton elemanlar üzerine gelen basınç ve eğilme gibi tesirlerden dolayı olarak betonda çekme kuvveti oluşturur (Şekil 1.4). Bu söylemden de anlaşılacağı üzere, betondaki basınç kuvveti çekme kuvveti ile çok yakında ilgilidir. Betonda genel olarak; çekme kuvveti basınç kuvvetinin %9-10'u kadardır. Bu oran betonun kalitesi, yaşı vb. özelliklere bağlı olarak %7-17 arasında değişebilmektedir.



Şekil 1.4. Basit bir kirişin A elemanının üzerindeki çekme, eğik çekme kuvvetleri ve basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvvetleri

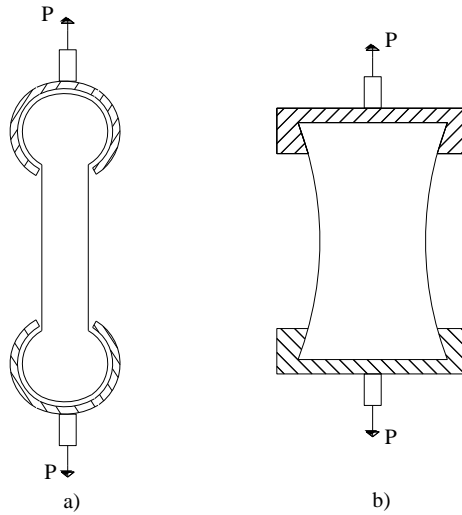
Yapıların tasarım hesaplarında genellikle basınç dayanımı kullanılmaktadır. Ancak gevrek bir malzeme olan betonda çekme kuvvetlerine karşı dayanım az olduğundan çatlaklar daha hızlı ilerlemektedir. Oluşan bu çatlaklar betonda kırılmaya sebebiyet vermektedir. Buda çekme dayanımının betondaki önemini göstermektedir.

Çekme dayanımı, üç değişik deney yöntemi ile bulunabilmektedir;

- 1) Direkt çekme deneyi
- 2) Yarmada çekme deneyi
- 3) Eğilmede çekme deneyi

1.1.1.2.1. Direkt Çekme Deneyi

Betonun doğrudan çekme yükleri altındaki dayanımını bulabilmek için standart bir deney düzeneği ve belirli boyutlar yoktur. Şekil 1.5'te görülen boyutlardaki ve şekillerdeki gibi numuneler hazırlanır. Bu numuneler için özel metal başlıklar hazırlanır ve ortasında 90° lik açıyla yerleştirilen çubukların bulunduğu bu metal başlıklar numuneye yapıştırılır. Bu çubuklar deney makinesi tarafından kavranıp çekilerek numuneye direkt olarak çekme kuvveti verilir. Bu çekme kuvveti numunede kırılma meydana gelinceye kadar uygulanır.



Şekil 1.5. Beton numuneye doğrudan çekme yükü uygulanabilmesine dair bazı örnekler

Bunun sonucunda, betonun çekme dayanımı (1.3) formülüne göre hesaplanır.

$$f_t = P/A \quad (1.3)$$

Burada;

f_t = Betonun çekme dayanımı

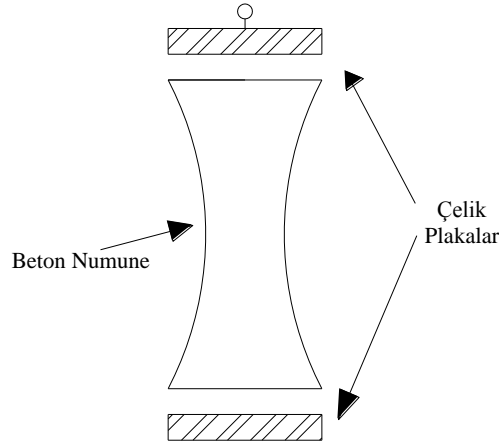
P = Kırılma yaratacak yük

A = Numune boyunun ortasındaki kesit alanı

Sonuçlar MPa veya kgf/cm^2 birimleriyle ifade edilir.

Betonda doğrudan çekme yükü verilerek dayanımın bulunması üzerine birçok araştırmacı farklı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda değişik şekil ve boyutlarda numuneler kullanılmıştır [18, 19]. Bu araştırmacılardan birisi olan Rusch [18], Şekil 1.5a'daki gibi yapılan deney düzeneğinin başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Kassas ve Erdoğan [19] tarafında Şekil 1.6'daki görülen deney düzeneği sistemi ile yaptıkları bir çalışmada uniform dağılımlı çekme yükü uygulanabileceğini göstermişlerdir.



Şekil 1.6. Doğrudan çekme deneyleri için Kassas tarafından kullanılan başlık düzeni

1.1.1.2.2. Yarmada Çekme Deneyi

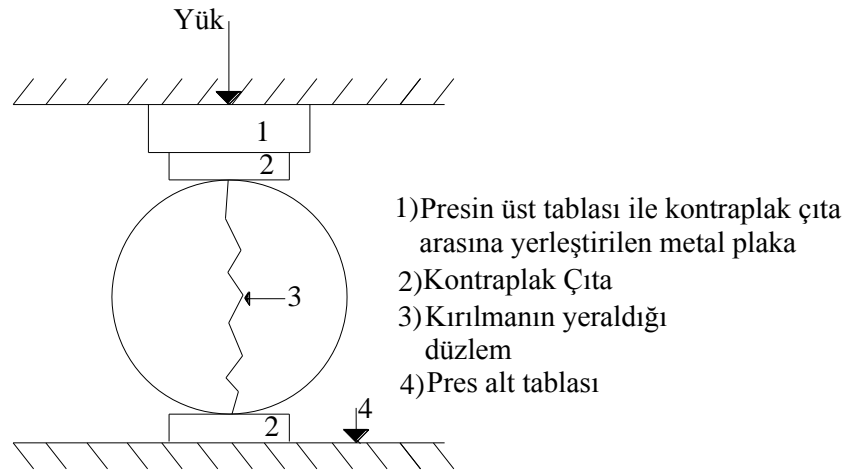
Burada dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için, bu yöntem, genellikle "yarma deneyi yöntemi" olarak anılmaktadır.

Betonda çekme dayanımını bulmak için dolaylı yollardan biri olan "yarma deneyi" ilk defa 1953'te Brezilya Standardizasyon Konferansında Carniero ve Barcellas tarafından önerilmiştir [20].

Yarma da çekme dayanımı deneyleri, çekme dayanımını dolaylı olarak bulmak için kullanılan deneylerdir. Bu deneyler ile ilgili Türk ve ASTM standartları şunlardır; TS 3129, ASTM C 496'dır [21, 22].

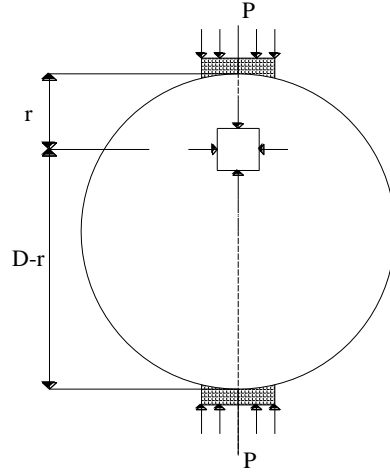
Bu deneylerde genellikle silindir numuneler kullanılmaktadır. Ancak küp numunelerinin kullanılması da mümkündür.

Yarma deneyi Şekil 1.7'de görüldüğü gibi kurulan bir düzenek ile yapılır. Bu düzenekte numune eksenini pres tablasına paralel olacak şekilde yerleştirilir. Numunenin alt ve üst kısımlarına 25mm vb. uzunlukta en ve 3mm kalınlığa sahip kontrplak şeritler yerleştirilir. Pres makinesi vasıtası ile uygulanan basınç numune kırılıncaya kadar devam ettirilir. Kırılmanın olduğu andaki kırılma yükü (P) ölçülür. Bu yük ile hesaplamalar sonucunda çekme gerilmesi bulunur. Kırılma sonucunda numune ortadan ikiye bölünmektedir.



Şekil 1.7. Yarma deneyi uygulama düzeneği

Numuneye uygulanan basınç yükü neticesinde numune, yükün uygulandığı eksen doğrultusunda kısılırken yatay ekseninde uzamalar meydana gelir. Numune üzerinde sonlu küçük bir eleman Şekil 1.8' deki gibi alınıp incelendiğinde meydana gelen basınç ve çekme gerilmeleri aşağıda belirtilen değerlere eşit olduğu görülür.



Şekil 1.8. Yarma deneyi

$$\text{Basınç Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \left[\frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right] \quad (1.4)$$

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1.5)$$

Yukarıdaki formüllerde;

P= Kırılmaya neden olan basınç yükü

L= Silindir numunenin boyu

D= Silindir numunenin çapı

R ve (D-r) = Şekil 1.8' de gösterilen uzaklıklardır.

Betonda çekme dayanımı basınç dayanımından daha küçüktür. Numunenin D/2 noktasında (D=çap) çekme gerilmesi basınç gerilmesinin 1/3'ü kadardır. Betonda meydana gelen kırılma çekme yüklerinin neticesinde meydana gelmektedir.

Yarma deneylerinde silindir ve küp numunelerde kullanılan ve yüklemenin yapıldığı şeritlerin genişlikleri göz önüne alınarak oluşan maksimum gerilme değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır [23]:

$$\text{Silindir numuneleri için; } \sigma_N = \frac{2P}{\pi LD} (1 - \beta^2)^{3/2} \quad (1.6)$$

$$\text{Küp numuneler için; } \sigma_N = \frac{2P}{\pi LD} [(1 - \beta^2)^{5/3} - 0.0115] \quad (1.7)$$

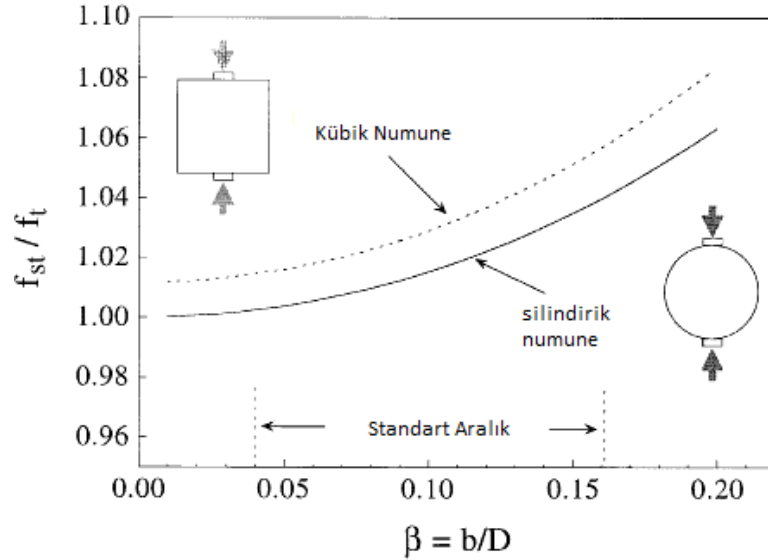
Formülde; L ve D numune boyutlarıdır. P yükleme miktarıdır. İki formülde de $\beta \leq 0.20$ olup $\beta = b/D$ ise yük taşıyan şeritlerin rölative genişliğidir.

Uygulamada ise bu formüller deney süresince kaydedilen maksimum yük esas alınarak hesaplanır. Yani gerçek gerilme mukavemeti ile hesaplanır.

$$\text{Silindir numuneleri için; } f_t = \frac{2Pu}{\pi LD} (1 - \beta^2)^{3/2} \quad (1.8)$$

$$\text{Küp numuneler için; } f_t = \frac{2Pu}{\pi LD} [(1 - \beta^2)^{5/3} - 0.0115] \quad (1.9)$$

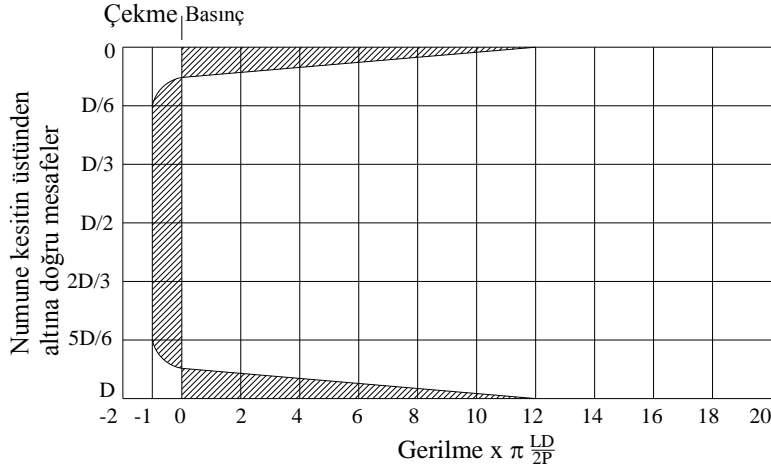
P_u , deney boyunca kaydedilen maksimum yüküdür.



Şekil 1.9. Elastisite teorisine göre yükleme şeritinin rölative genişliği ile yarma çekme mukavemetinin değişmesi [23].

Şekil 1.9'da yükleme şeritinin, β 'nın rölative genişliğinin bir fonksiyonu olarak çekme mukavemeti f_t açısından yarma çekme mukavemetini göstermektedir. Teorik olarak yarma çekme mukavemeti, yükleme şeriti genişliği ile doğru orantılı olarak artar [24].

Yan tarafı üzerine yatırılarak yarma deneyine tabi tutulan bir silindir numunede Şekil 1.10'daki gibi yan gerilme dağılımları meydana gelir [25]. Şekilden de görüleceği üzere orta noktalarda oldukça uniform çekme gerilmeleri oluşurken alt ve üst noktalarda büyük yan gerilme mukavemeti meydana gelmektedir.



Şekil 1.10. Yarma deneyine tabi tutulan beton silindirlerdeki yanıl gerilme dağılımı

Silindir numunelerde çekme dayanımı;

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1.10)$$

Küp numunelerde çekme dayanımı;

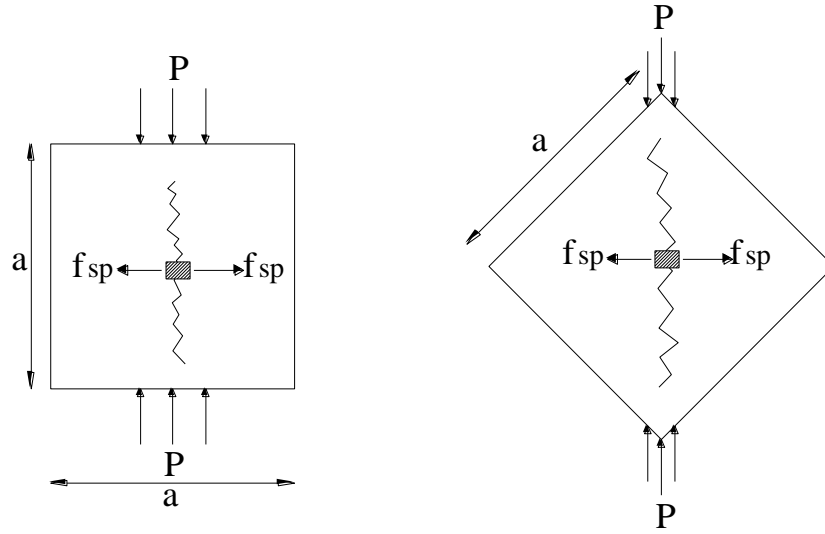
$$f_t = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (1.11)$$

şeklinde ifade edilir. Bu formüllerde;

f_t ; çekme dayanımı, P; kırılmaya neden olan basınç yükü, L ve D; silindir numune boyutları, a; küp numune boyutudur.

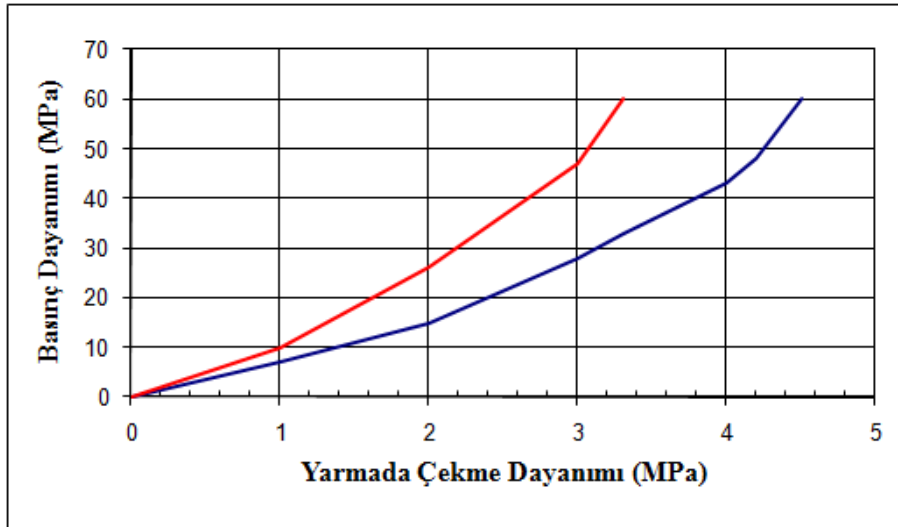
İri agregaların yüzey noktalarında toplanmasından dolayı hafif agregalı betonlarda yarma deneyi sonuçları daha düşük değerler verebilmektedir [26].

Küp numuneler için yarma deneyleri Şekil 1.11'deki gibi [27] yapılır ve sonuçlar $f_t = 2P/\pi a^2$ formülüne göre analiz edilir. Kırılma için yük düzgün kenarlardan verilebileceği gibi diyagonal olarak da verilebilmektedir.

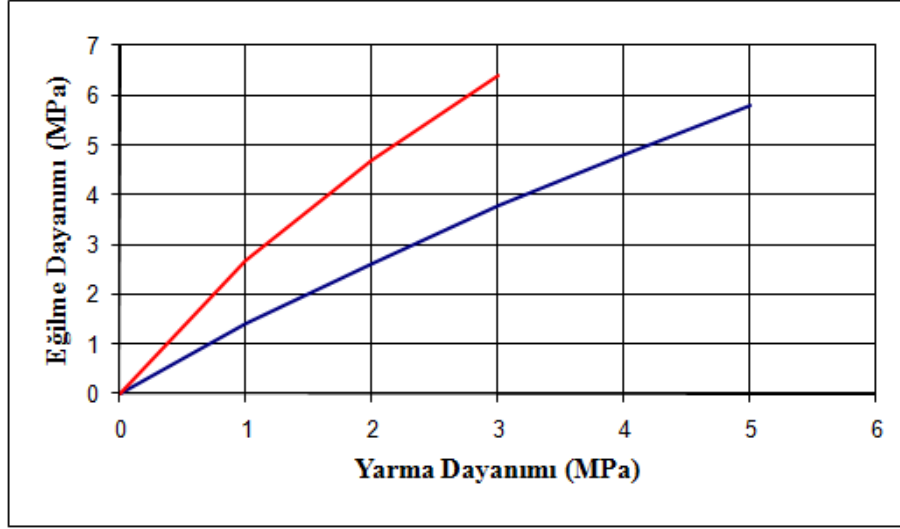


Şekil 1.11. Küp numuneler için yarmada çekme dayanımı

Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'te basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki verilmiştir [27].



Şekil 1.12. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 1.13. Eğilme - çekme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki

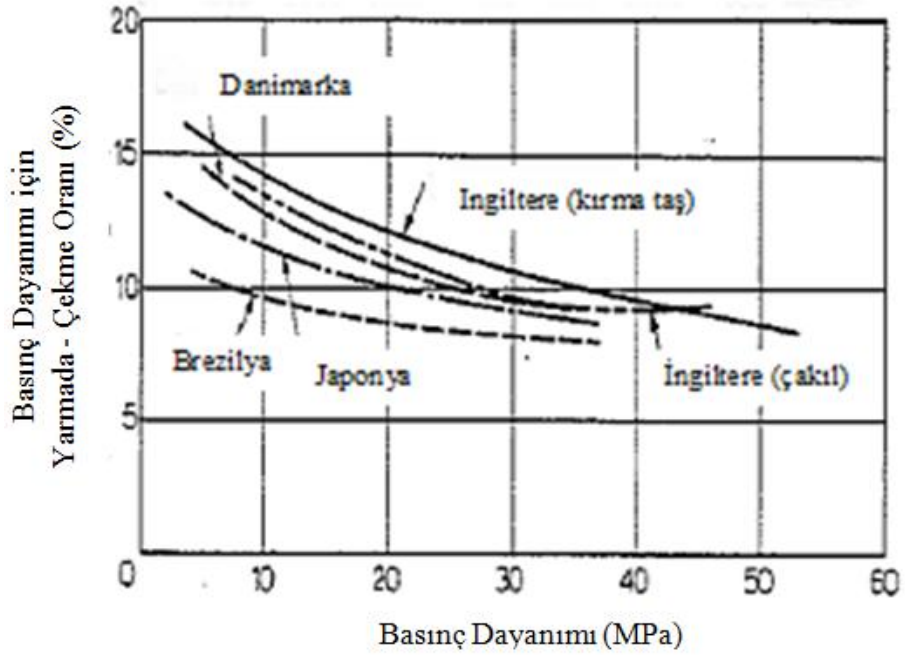
Çekme dayanımını belirleme de yarma deneyinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [11]:

- 1) Yarma deneylerini uygulamak diğer testleri uygulamaktan daha kolay olup daha güvenilir sonuçlar vermektedir (Tablo 1.1) [28].
- 2) Belirlenen dayanım, betonun direkt çekme dayanımına en yakın değerleri verir. Yani kırılma modülü değerlerinden daha yakın sonuç verir.
- 3) Aynı numune hem basınç hem de çekme deneyi için kullanılabilir.

Tablo 1.1 Betonun çekme dayanımında test sonuçlarının değişkenliği [11].

Deney Türü	Ortalama dayanım (MPa)	Parti içinde standart sapma (MPa)	Varyasyon katsayısı (%)
Yarma Deneyi	2.79	0.14	5
Direkt Çekme Deneyi	1.90	0.13	7
Kırılma Modülü	4.17	0.25	6
Küp Basınç Deneyi	41.23	1.43	207

Değişik beton türleri üzerinde yapılan yarma deneyleri için sonuçlar Şekil 1.14'te gösterilmektedir [11].



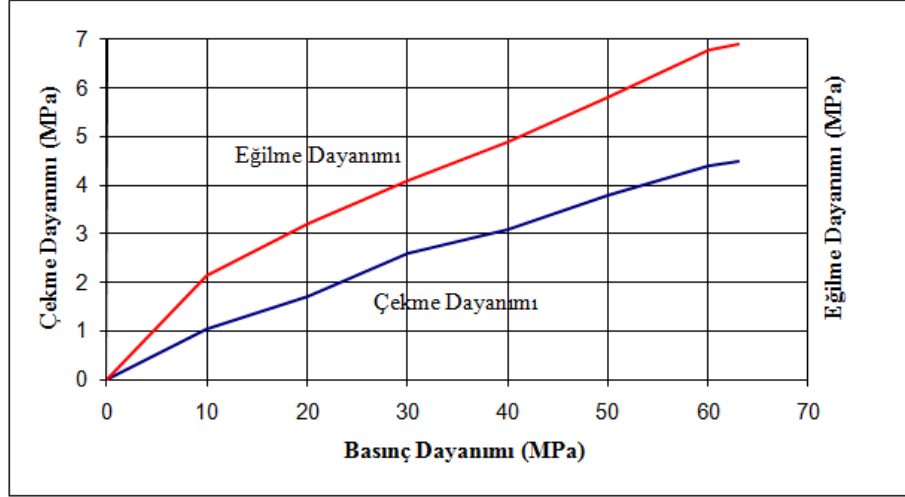
Şekil 1.14. Basınç dayanımının değışimi ile silindir numunelerde yarmada çekme dayanımı

1.1.1.2.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Betonun çekme dayanımını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri de eğilme deneyleridir. Çekme dayanımını direkt elde etmek oldukça zor olduğu için eğilme deneyleri neticesinde çekme dayanımını bulma yoluna gidilmiştir ve bu yöntem daha kolaydır. Eğilme dayanımı; havaalanı, kaldırım vb. gibi yapıların tasarımında oldukça önemlidir. Çünkü bu yapılarda eğilme çekme gerilmeleri meydana gelmektedir ve kritik değerler taşımaktadır.

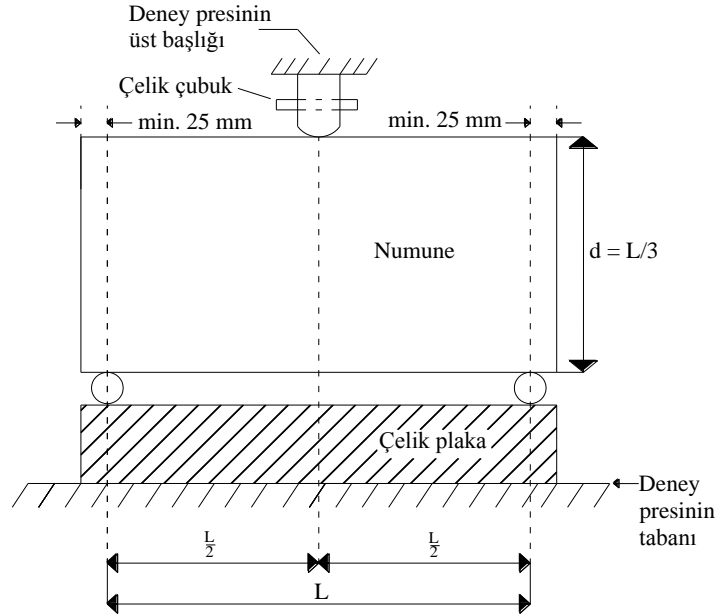
Eğilme dayanımının, basınç ve çekme dayanımı ile olan ilişkisi Şekil 1.15'te verilmiştir [27].

Betonun eğilme dayanımı ile ilgili Türk ve ASTM standartları şunlardır; TS 3284, TS 3285, ASTM C 293 ve ASTM C 78 [29-32].

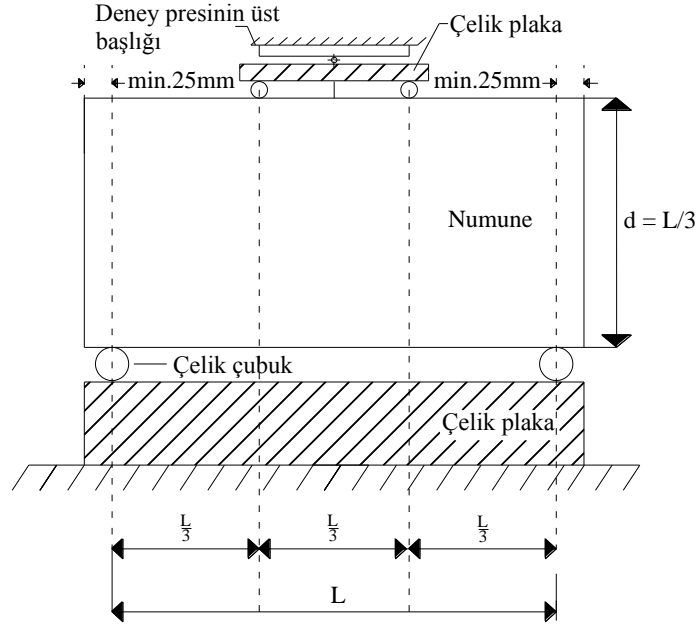


Şekil 1.15. Eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve çekme dayanımı arasındaki ilişki

Bu standartlara göre numuneler hazırlanmakta ve Şekil 1.16 ve Şekil 1.17'deki düzenleme ile numuneler eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır [1].



Şekil 1.16. Kirişin orta noktasından ($L/2$ noktasından) yükleme (üç noktalı eğilme)



Şekil 1.17. Kirişin L/3 noktasından yükleme (dört noktalı eğilme)

Kiriş kesiti 150*150mm'dir. Kırılma meydana geldiğinde, deney presinin göstergesinden okunan değer ile (1.12) formülü kullanılarak eğilme dayanımı bulunmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \quad (1.12)$$

Burada;

σ_e = Eğilme dayanımı

M= Maksimum moment

d= Kiriş kesitinin yüksekliği

c= d/2

b= Kiriş kesitinin eni

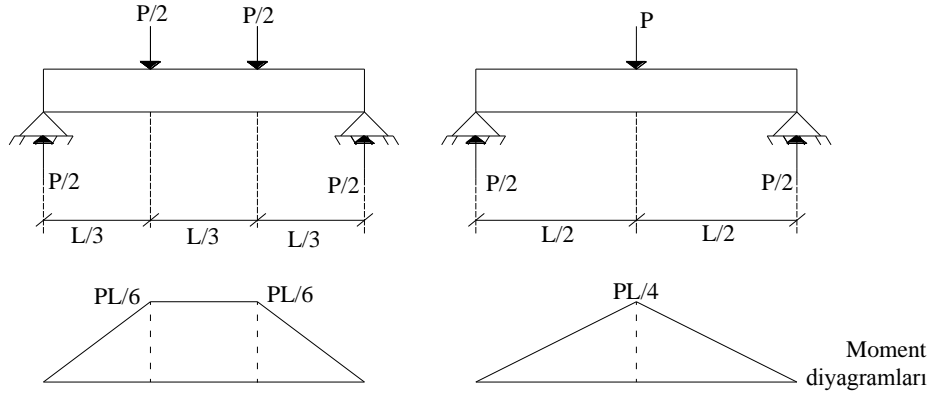
I= Atalet momenti (dikdörtgen kesitler için $I=bd^3/12$; kare kesitler için $I=d^4/12$)

Şekil 1.16 ve 1.17'den de görüleceği gibi yüklemeler L/2 ve L/3 noktalarından uygulandığında farklı moment değerleri ortaya çıkmaktadır. Bunlar Şekil 1.18'de gösterildiği gibi olup;

$$\text{Orta noktadan (L/2) yükleme için ; } \sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1.13)$$

$$\text{L/3 noktasından yükleme için ; } \sigma_e = \frac{PL}{bd^2} \quad (1.14)$$

şeklinde ifade edilir.

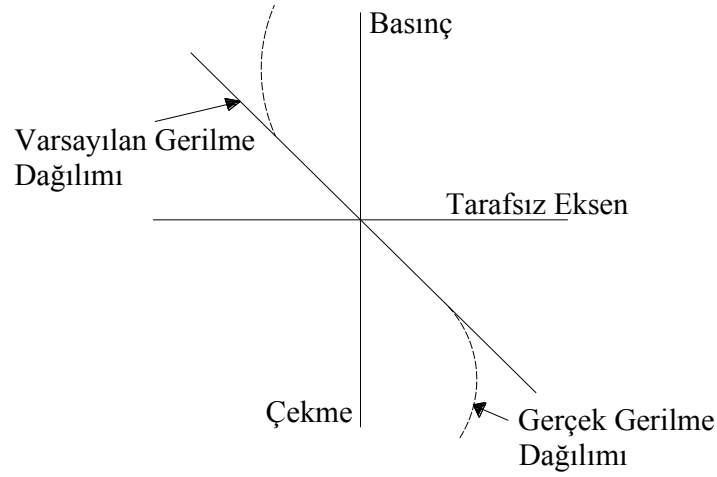


Şekil 1.18. Orta noktadan ve L/3 noktalarından yüklenen kirişlerdeki moment diyagramları

Uygulanan eğilme yükü altındaki kirişlerde basınç ve çekme gerilmeleri Şekil 1.19'daki düz çizgi ile gösterildiği gibidir. Şekilden de anlaşılacağı gibi tarafsız eksenden uzaklaştıkça gerilmeler büyümekte ve en büyük çekme gerilmesi kiriş kesitinin alt kısmında meydana gelmektedir. Kesikli çizgilerle gösterilen dağılım beton kirişlerdeki gerçek dağılımdır.

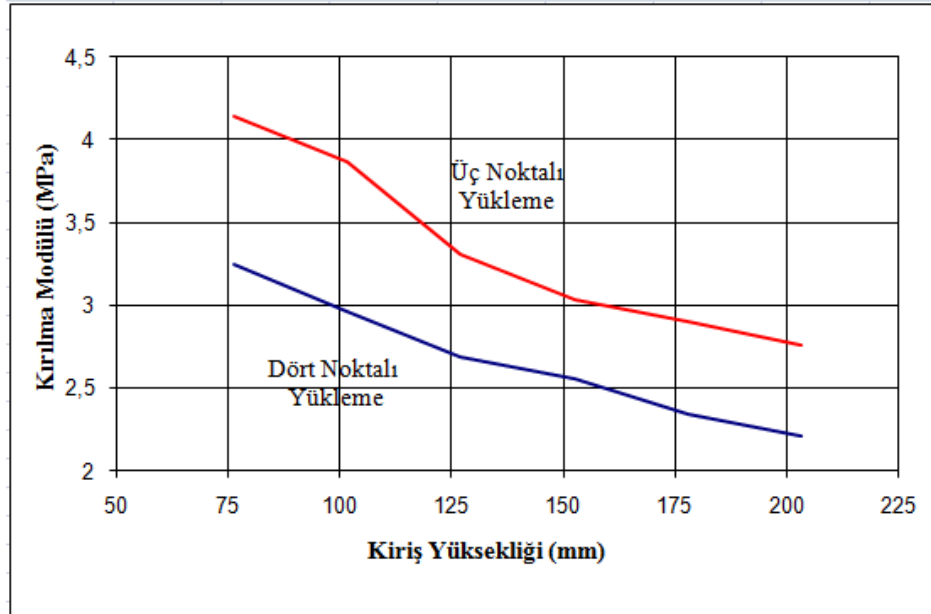
Beton kirişlerde hesaplanan eğilme dayanımı değerleri aslında, betonun çekme dayanımına işaret etmekte olup tarafsız eksenden uzaklaştıkça artan bu çekme gerilmeleri betondaki kırılmaların asıl sebebidir.

Eğilme dayanımı için genellikle L/3 noktalarından yüklemenin yapıldığı deneylerin sonuçları kullanılmaktadır. Bunun nedeni de Şekil 1.18'de de görüleceği gibi maksimum momentin kirişin büyük bir bölümünde uniform olarak etki etmesi ve bu bölgenin kesme kuvvetlerinden yoksun olmasıdır. L/2 noktasından yapılan uygulamada ise maksimum moment sadece kirişin orta noktasında etkilidir. L/3 noktalarından yapılan yüklemeler sonucu oluşan maksimum momentin bulunduğu bölgede betonda yapısal zayıflıklar daha fazla bulunmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında L/3 noktalarına yük uygulayarak deneyler yapmanın daha mantıklı olduğu görülmektedir.

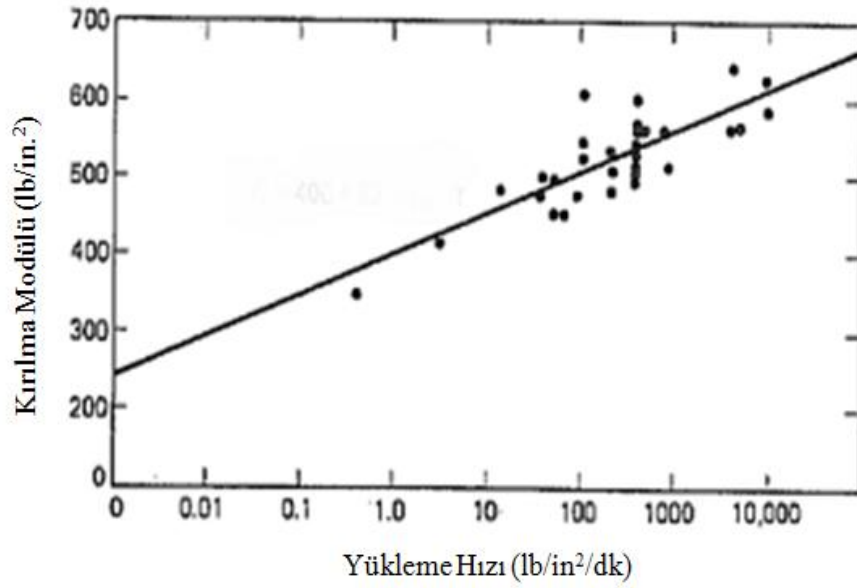


Şekil 1.19. Eğilmeye maruz kalan kirişin kesitindeki gerilme dağılımı

Basınç deneylerindeki gibi eğilme deneylerinde de deney parametreleri gerilme sonuçlarını oldukça etkiler. Burada özellikle boyut etkisi çok önem taşımaktadır. En zayıf nokta (halka) teorisine göre betonda kırılma zayıf bir elemanın olduğu yerden oluşabilmektedir. Şekil 1.20’de görüldüğü gibi numune boyutu arttıkça değişim katsayıları azalmaktadır. Ayrıca Şekil 1.21’de gösteriyor ki; basınç deneylerinde olduğu gibi yüklemeye arttıkça eğilme dayanıma da artmaktadır.



Şekil 1.20. Kırılma modülü ve derinlik arasındaki ilişki [33].

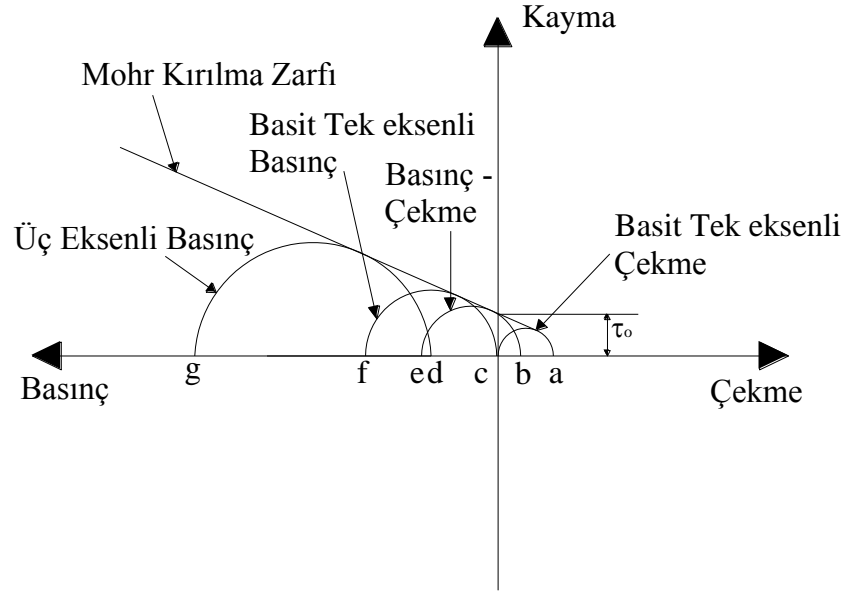


Şekil 1.21. Yükleme hızının kırılma modülüne etkisi [33].

1.1.1.3. Betonun Kayma Dayanımı

Salt kesme gerilmeleri beton yapılarda çoğunlukla görülememesine rağmen betonun kırılması genel olarak kayma ve normal gerilme kombinasyonu sonucu meydana gelmektedir. Bu sebeple kayma gerilmesi (τ) betonda büyük bir öneme sahiptir. Betonun dayanımını doğrudan salt kayma ile belirlemek pek mümkün değildir. Normal salt kayma deneyleri, kayma gerilmesine eşit asal çekme gerilmeleri üretir. Bu sonuç ancak kayma gerilmesine 45^0 olacak şekilde uygulanarak meydana gelir. Beton çekme gerilmelerine karşı kaymadan daha zayıf olduğu için bu yoldan kayma gerilmesini bulmak pek mümkün değildir.

Doğrudan kesme mukavemetini belirlemek için deneyler, çok kısa açıklıklı, birbirine çok yakın destekli ve yük uygulanmış kirişler üzerinde yapılmaktadır. Bazı deneylerde (τ)'nun çekme dayanımından biraz daha büyük olduğu görülmektedir. Diğerlerinde (τ)'nun, basınç dayanımının %50'si ile %90'ı arasında olduğu saptanmıştır. Bu tutarsızlığın, deneylerde ya çekme ya da basınç gerilmelerinden kaynaklandığı söylenebilir [33].



Şekil 1.22. Beton için tipik Mohr diyagramı

Kayma dayanımı güvenilir sonuçlar veren kombine gerilme deneylerinden elde edilebilir. Bunun içinde güvenilir yöntemlerden biri olarak Mohr Diyagramı (Şekil 1.22) gösterilebilir [33]. Salt kaymada beton dayanımı dikey eksenin, (τ_0), göçme zarfları ile kesiştiği nokta ile belirlenir. Buradan hareketle, betonda kayma dayanımının basınç dayanımının %20'sine eşit olduğu söylenebilir. Eğer normal gerilmeler varsa kayma dayanımı tek eksenli basınç dayanımını aşmak için yapılabilir.

1.1.2. Farklı Deneyler Sonucunda Bulunan Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması

Belirli standart ve kalitede üretilmiş ve de aynı özelliklere sahip numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda eğilmede çekme dayanımının yarmada - çekme dayanımından büyük olduğu ve bununda doğrudan çekme dayanımından daha büyük değerler gösterdiği görülmüştür [1]. Bunun nedenleri;

- 1) Şekil 1.19'daki gibi düz çizgilerle gösterilen çekme dayanımının gerçek çekme dayanımı değerleri olmadığı ve gerçek çekme dayanımı değerlerinin kesikli çizgilerle gösterildiği gibi daha küçük değerler olmasıdır. Böylece $\sigma = Mc/I$ formülünde gerçeğinden daha büyük değerler ortaya çıkmaktadır.

- 2) Eğilme deneyinde, çatlaklar kesitin en alt kısmından başlayıp ilerlemektedir. Gerilmeler azaldıkça çatlakların ilerlemesi ve yeni çatlak oluşumu için daha az enerji gerekmektedir.
- 3) Doğrudan çekme deneylerindeki çekme gerilmesi bütün kesit alanına uygulanmaktadır. Böylece kırılma ancak en zayıf noktadan başlar. Tüm kesit içerisinde en zayıf noktanın bulunma olasılığı elbette daha fazladır. Eğilme deneyinde ise çekme gerilmeleri kesitin en alt kısmında oluşmakta ve en büyük çekme gerilmeleri de burada meydana gelmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında doğrudan çekme yükleri altında meydana gelecek çekme gerilmelerinin eğilme yükleri altında meydana gelen çekme yüklerinden küçük olduğu görülmektedir.

Yarma deneyleri sonucunda ise Şekil 1.10'dan da görüleceği gibi kırılma $2D/3$ bölgesinde oluşur. Doğrudan çekme de ise tüm kesitte gerilmeler olduğu için yarma deneyleri sonucu oluşan çekme dayanımı doğrudan çekme deneyleri sonucu meydana gelen çekme dayanımından daha büyüktür.

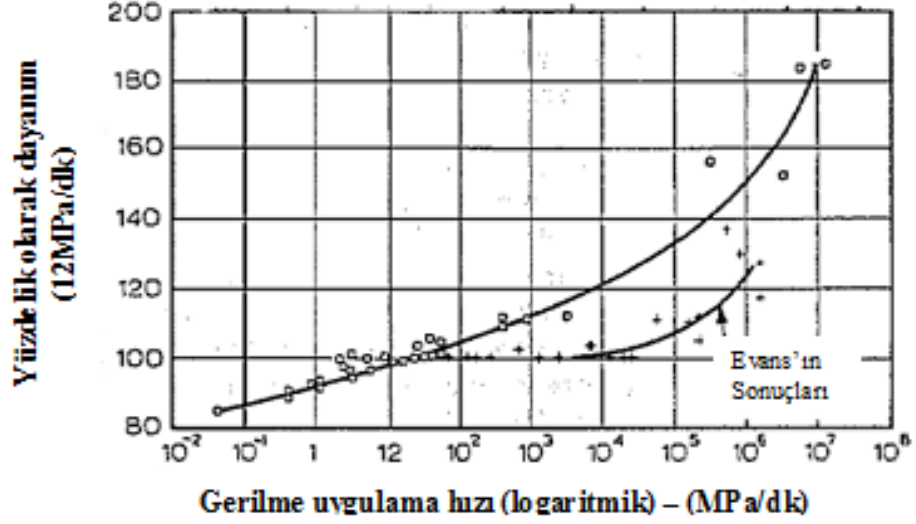
Kassas ve Erdoğan'ın [19] yaptığı çalışmalar neticesinde yarma deneyleri sonucu oluşan çekme dayanımı, doğrudan çekme dayanımından % 23-29 daha fazla ve iki noktalı eğilme deneyi sonucu elde edilen dayanım değerlerinin doğrudan çekme deneyleri sonuçlarına göre % 45-97 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

1.1.3. Yükleme Hızının Dayanım Üzerindeki Etkisi

Yükleme hızı betonun dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Düşük yükleme hızlarında o kadar düşük değerlerde dayanım değeri elde edilir. Bu muhtemelen betondaki sünmenden kaynaklanmaktadır. Sınırlı birim şekil değiştirmeye ulaşıldığında, çatlak bağımsız olarak ortaya çıkmaktadır. 30 ile 240 dakika periyodunda basınçtaki yükün %80 ve %88 arasında iken bir çatlağa sebep olduğu görülmüş olup buda yükün yaklaşık olarak 12MPa/dk [34] oranında uygulandığında elde edilen en yüksek değer olduğu saptanmıştır. Beton, yükleme 12 MPa/dk olduğunda ancak gerilmelerin %70'ine dayanmaktadır [35].

Şekil 1.23'te birçok araştırmacı tarafından elde edilen test sonuçları verilmiştir. Basınç yükü uygulanma oranı 0.4 MPa/dk'dan $4 \cdot 10^6$ MPa/dk'ya çıkartıldığında betonun dayanımının iki kat arttığı görülmektedir. Bu kuram yük oranının, eğer oranlar

$4 \cdot 10^3$ MPa/dk değerinin altında ise bir etkisinin olmadığını bulan Evans [36] tarafından doğrulanmaktadır. Evans'ın verileri Şekil 1.23'te verilmiştir.



Şekil 1.23. Beton basınç dayanımına uygulanan yükün hızının etkisi

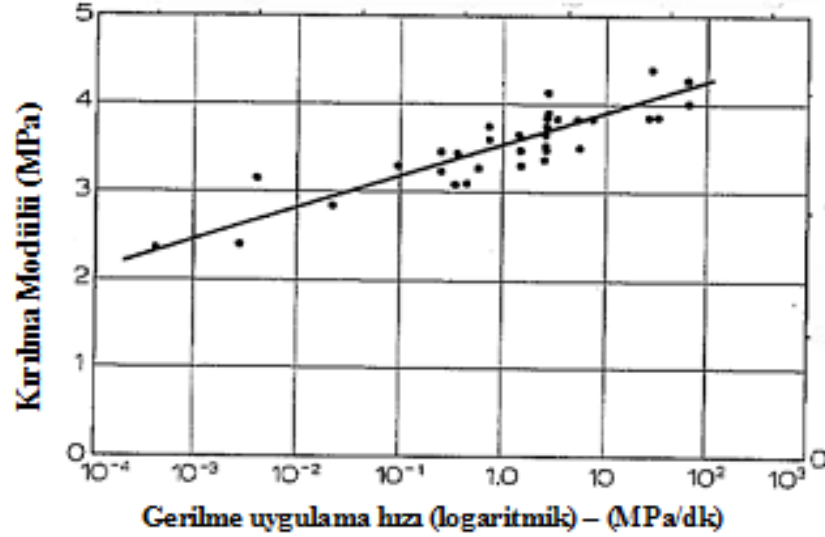
Beton dayanımının hızlı yükleme ile artması agrega/çimento oranının büyümesi ile ilgilidir. Evans tarafından bulunan, yükün uygulanma zamanının 0.1 den 0.002 saniyeye azaltıldığında ortaya çıkan değerler Tablo 1.2'de verilmiştir [36].

Tablo 1.2. Farklı yükleme hızları için agrega/çimento oranı ile dayanım arasındaki ilişki

Agrega/çimento oranı	Dayanım artışı (%)
3	17
10	28
14	31
18	35

Eğilme deney sonuçları da basınç deneylerine benzer şekilde yükün hızından etkilenmektedir. Wright'ın [37] testleri gerilmeye oranının artması, karakterin 0.15MPa/dk'dan 7.8MPa/dk'ya arttığını ve kırılma modülünün de yaklaşık %15 arttığını göstermektedir. Şekil 1.24'te kırılma modülü ile uygulanan gerilme oranının logaritması arasında açık bir ilişki olduğunu gösterilmektedir. Bu yine Şekil 1.23'te gösterilen basınç gerilmesi altındaki harekete benzemektedir. Recent [38] deneylerinde Wright'ın

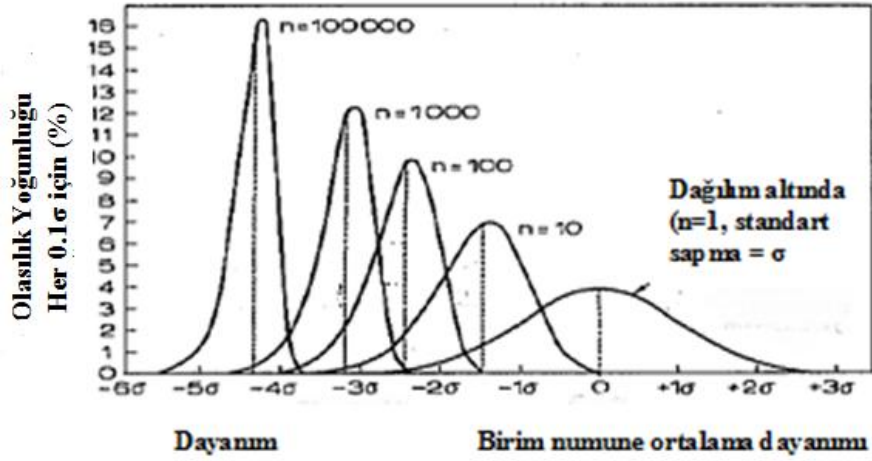
sonuçlarını doğrulamıştır. Fakat eğilme deneylerinde çekme gerilmesinin çok yüksek oranda uygulanması halinde gerçek değerlerden uzaklaşılacağı ve dayanımda artış oranının daha da büyüyeceği görülmektedir.



Şekil 1.24. Yükleme hızının betonun kırılma modülü üzerine etkisi [11].

1.1.4. Numune Boyutunun Dayanım Üzerindeki Etkisi

Beton, dayanımları farklı olan agrega ve çimento hamuru gibi elemanlardan oluştuğundan betonun hacmi büyüdükçe homojen olmayan gerilmelere maruz kalmasından dolayı dayanımı daha düşük olacaktır. Sonuç olarak, mukavemeti ölçülen bir numunenin boyutu büyüdükçe dayanımı da düşecektir. Numunenin boyutunun dayanım üzerindeki etkisi dayanımın standart sapmasına bağlı olduğundan (Şekil 1.25) betonun homojenliği iyi oldukça boyutun etkisi azalmaktadır. Bu yüzden boyutun etkisinin hafif betonda daha az olması gerekir. Fakat bunu destekleyen bazı veriler olmasına rağmen bu doğrulanamamıştır [39]. Şekil 1.25'te boyutun etkisinin belli bir numunenin belli bir boyutu üstünde niçin tamamen kaybolduğunu açıklamaktadır. Çünkü numunenin boyutundaki her on katı artışta numune sürekli bir şekilde daha az miktarda dayanım kaybetmektedir. Şekil 1.25'te $n=10$, 10^2 , 10^3 , ve 10^5 gibi değerlerde iken numunedeki dayanım dağılımı gösterilmektedir.

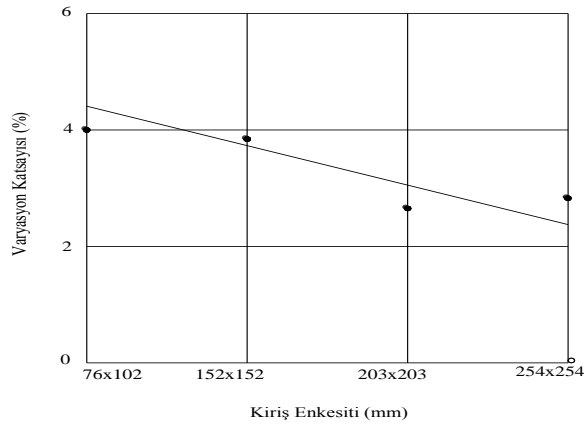


Şekil 1.25. Normal dağılım altında boyutu n olan numunelerin dayanım dağılımı [11].

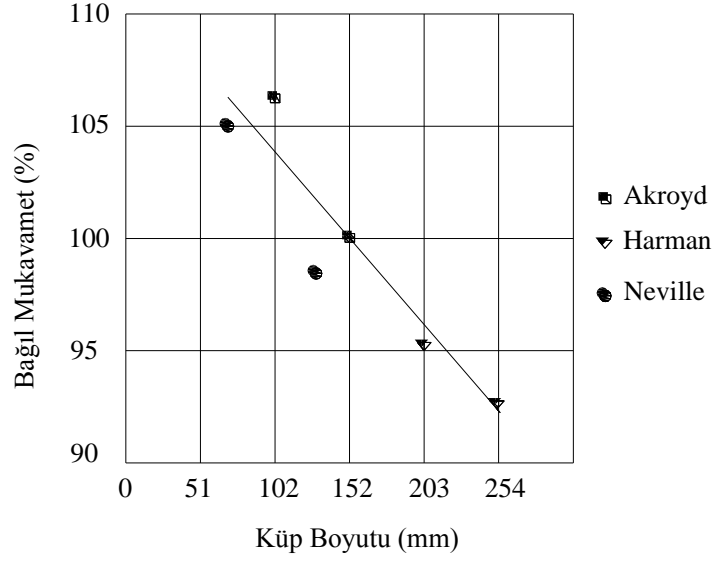
Şekil 1.25'te numunenin boyutundaki bir artışla hem ortalama dayanımın hem de dağılımın azaldığı gösterilmektedir. Şekil 1.26'da ise boyutun sonuçlar üzerindeki etkisi verilmiştir [40]. Aynı zamanda pür çekmede [41] ve indirekt çekmede [11] test edilmiş numunelerde de aynı durumlar gözlemlenmiştir. Şekil 1.27'de küp için ortalama dayanım ile numune boyutu arasındaki ilişkiyi göstermekte olup Tablo 1.3'te ise standart sapma için değerler verilmektedir.

Tablo 1.3 Farklı boyutlardaki küplerin standart sapması

Grup	70.6mm (MPa)	127mm (MPa)	152mm (MPa)
A	2.75	2.09	1.39
B	1.50	1.12	0.97
C	1.45	1.03	0.97
D	1.74	1.36	1.05

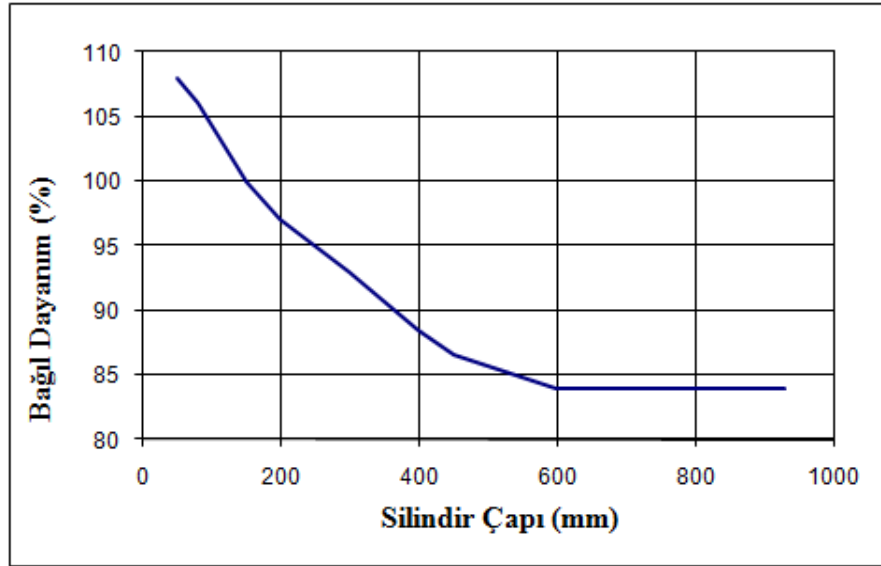


Şekil 1.26. Farklı boyutlardaki kirişler için kırılma modülünün varyasyon katsayısı [40].



Şekil 1.27. Farklı boyutlardaki küplerin basınç dayanımı [11].

Şekil 1.28’de gösterildiği gibi boyutun etkisi, prizmatik ve silindir numunelerde de benzer davranışlar göstermektedir [42, 43].



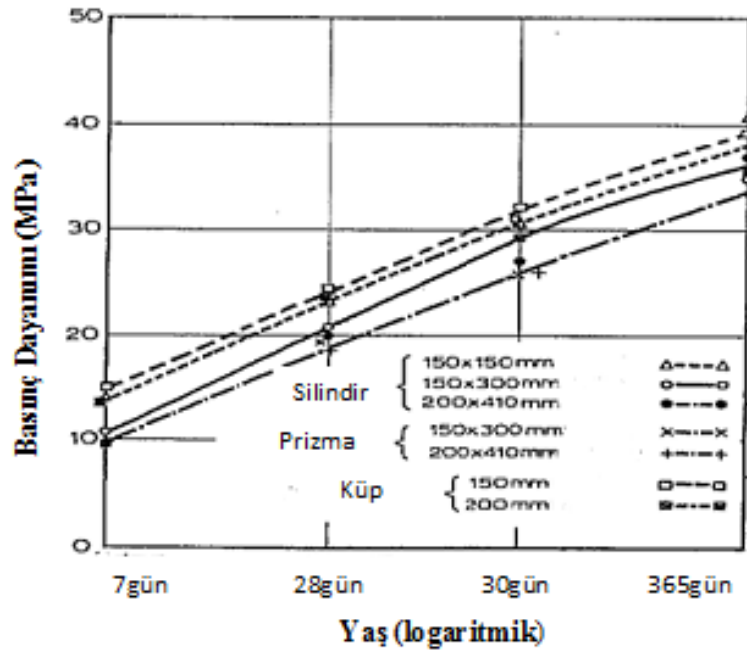
Şekil 1.28. Farklı boyuttaki silindir numuneler için basınç dayanımı

Boyutun etkisinin belli boyutlara ulaşıldığında kaybolduğunu ve böylece numunelerin boyutunda daha yüksek bir artışın dayanımı azaltmadığını görülmektedir. Bureau’nun [44] araştırmalarına göre dayanım eğrisi, yatay eksene paralel olarak gider ve bu çap 457mm, örneğin; silindirde 457mm, 610mm ve 914mm, çapta gerçekleşir. Tüm

çaplar aynı dayanıma sahiptir. Aynı araştırma numunenin boyutunun büyümesi sonucu ortaya çıkan dayanım azalmasının düşük mukavemetli betonda daha az, yüksek mukavemetli betonda ise daha fazla olduğunu göstermiştir. Örneğin; 457mm ve 610mm olan silindirlerin dayanımları 152mm'deki silindir dayanımı yüksek mukavemet yönünden %85, fakat düşük mukavemette ise %93 gibi bir değere denk gelmektedir (düşük mukavemet - 167kg/m^3).

Boyutun etkisi büyük boyutlu yapılar için düşünüldüğünde tehlikeli bir dayanım düşüşü beklenebilir. Fakat gerçekte bu böyle değildir. İşte bu yüzden yukarıda bahsedilen deneysel veriler bu tür çalışmalar için büyük avantaj sağlamaktadır.

Boyutun etkisi üzerinde yapılan değişik çalışmalar birçok fayda sağlamaktadır. Çünkü geçmişte boyutun etkileri değişik nedenlerle yorumlanmaktaydı. Bunlar; numunenin boyutunun maksimum agrega boyutuna (d_{max}) oranı; numunenin içi ve yüzeyi arasındaki sıcaklık ve nem farkından dolayı ortaya çıkan iç gerilmeler; deney makinesinin tablası ve numune arasındaki tabakanın bükülmesi ve sürtünmesine bağlı olarak ortaya çıkan teğetsel gerilmeler ayrıca kürün numune hacmindeki farklılıkları vb. olarak gösterilebilir. En son durum Gonnerman'ın [45] Şekil 1.29'daki sonuçları tarafından çürütülmüştür. Goverman'ın sonuçlarına göre farklı boyut ve biçimlerdeki numuneler aynı zamanda dayanım kazanır.



Şekil 1.29. Farklı boyut ve şekillerdeki numunelerde basınç dayanımına yaşın etkisi (hacim cinsinden karışım 1:5) [45].

Normalde numune boyutunun kullanıldığı alanlarda boyutun dayanım üzerindeki etkisi çok fazla değildir ancak hassas çalışmalar ve araştırmalarda bu etki kesinlikle göz ardı edilmemelidir. Birçok deney verilerinde; $V/hs + h/s$ (V numune hacmi; h yüksekliği ve s; numunenin en kesitinin en küçük boyutu) ifadesinde betonun basınç kuvveti ile biçimi ve boyutu arasında genel bir bağlantının olduğunu göstermektedir [46].

Torrent [47], yüksek gerilme seviyesinin miktarının betonun dayanımını direkt olarak etkilediğini değişik çekme deneyleri ile saptamıştır. Bu saptama beton gerilmesinin %95 olduğunu göstermektedir ki bu maksimum gerilmeye yakın bir değerdir.

1.2. KIRILMA MEKANİĞİ VE BOYUT ETKİSİ

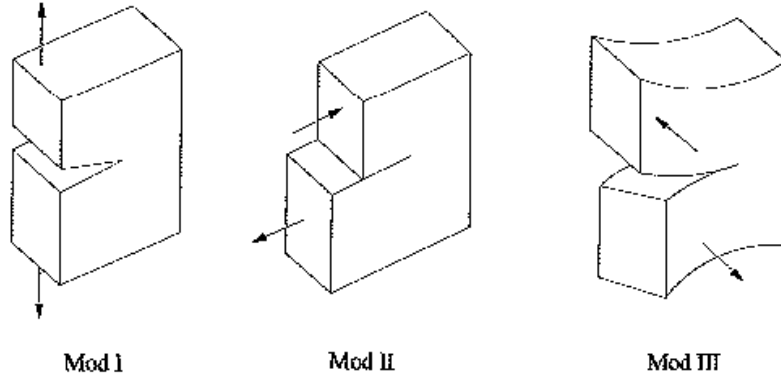
1.2.1. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği (LEKM)

Lineer kırılma mekaniği (LEKM) 1921’de Griffith’in [48] bir makalesinde ilk olarak incelenmiştir. Griffith cam lifler üzerinde gerçekleştirdiği deneylerle teorik mukavemetin, elastisite modülünün %10’u ($E/10$) olduğunu tespit etmiş ve bunun malzeme kusurlarından kaynaklandığını öne sürmüştür. Irwin [49], seramik lifler üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda bu oranın $E/10$ olmadığını görmüş ve teoriyi içerisine metal malzemeleri de alacak şekilde genişletmiştir. Daha sonra sonsuz büyüklükteki bir numune için sırasıyla açılma, kayma ve burulma durumlarına karşılık gelen mod I, mod II, mod III (Şekil 1.30) genel kırılma modlarını ve bunların bir araya gelmelerinden meydana gelen karışık modun kanunlarını ve “K” gerilme şiddet çarpanını bulmuştur.

$$\begin{Bmatrix} K_I \\ K_{II} \\ K_{III} \end{Bmatrix} = \sqrt{\pi a_0} \begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \\ \tau \end{Bmatrix} \quad (1.15)$$

Burada σ ve τ , sırasıyla numuneye uygulanan çekme ve kayma gerilmesi olup a_0 , yarı çentik uzunluğudur.

K, bir malzeme sabiti olmayıp her malzeme ve aynı geometri ve de yükleme durumunda sabit olarak alınan bir değerdir. Belirli bir kritik değerde yani “ K_c ” değerine ulaştığında her malzeme için farklı bir değer alır ve kırılma tokluğu diye ifade edilir.



Şekil 1.30. Kırılma modları

Mod I durumu için b numune genişliği, d numune karakteristik boyutu ve P_u kırılma yüküdür. Bu durumda; nominal dayanım $\sigma_N = P_u/(bd)$ olmak üzere kritik eğrilme şiddet çarpanı şu şekilde ifade edilir.

$$K_{Ic} = \sigma_N \sqrt{\pi a_0} f(g, p) \quad (1.16)$$

Şeklinde dir. Burada $f(g, p)$ yapının veya numunenin geometrisine (g) ve yükleme (p) durumuna bağlı boyutsuz bir fonksiyondur. $f(g, p)$, elastik sonlu eleman analizinden veya tipik numune geometrileri için el kitaplarından elde edilebilir, İfade (1.16)'daki $f(g, p)$ fonksiyonu benzer geometri ve yüklemeye maruz yapılarda bir sabit olur ve sadece $f(\alpha + a/d)$ oranına bağlı kalır.

Ancak, çatlak başlangıcı ve yayılma hızı mühendislik açısından çok daha önemli olduğundan, Irwin, G_c çatlak yayılma hızı kavramını ortaya atmış ve K_c ile arasındaki bağıntıyı şu şekilde vermiştir:

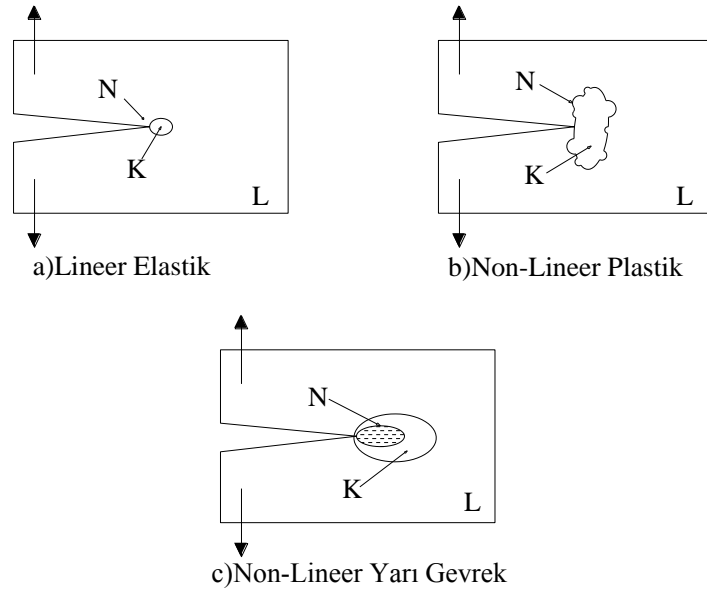
$$G_c = \frac{K_c^2}{E} \quad (1.17)$$

LEKM kanunları betona ilk olarak Kaplan [50] ve Glucklich [51] tarafından betona uygulanmış, ancak betonda çatlak yayılmacı bir tarzda gelişmesi, boyuta ve zamana bağlı olarak mukavemetin değişmesi gibi sebeplerle LEKM prensiplerinin betonu tam olarak tasvir edemeyeceğini ortaya koymuştur [52]. Bu amaçla birçok araştırmacı tarafından teknolojik ve nümerik alanlardaki gelişmelere paralel olarak, lineer olmayan kırılma mekaniği yaklaşımları geliştirilmiştir.

1.2.2. Betonun Lineer Olmayan Kırılma Teorileri

Bu teoriler, çatlama bir beton kesitte gerilme transferine yol açan, kırılma süreci bölgesini incelemektedirler. Yapı şartnameleri ve LEKM tarafından ihmal edilen Şekil 1.31’ de görüldüğü gibi bu bölge, metallerde plastik zonun yanında çok küçük olmasına karşın (örneği cam gibi gevrek malzemelerde 10mm) betonda 100mm’nin üzerinde değerler alarak büyük yer işgal ederler [2].

Genelde, lineer olmayan kırılma mekaniği teorileri, Kohezif Çatlak Modelleri ve Efektif Çatlak Modelleri olarak iki kategoride ele alınmaktadır. Kohezif çatlak modelleri içerisinde Hillerborg [2], tarafından önerilen kırılma-işi-enerjisi (KİE) yaklaşımı ve Bazant ve Pfeiffer [53] Boyut etkisi Modeli (BEM) yer almaktadır. Efektif Çatlak Modelleri sınıfında ise Jenq ve Shah [54] tarafından önerilen İki Parametrel Model (İPM) ve Efektif Çatlak Modeli (EÇM) [55] gibi iki model çoğunlukla kullanılmaktadır.



Şekil 1.31. Değişik malzeme sınıfları için kırılma süreci bölgeleri

(L: Lineer, N: Non-Lineer ve K: Kırılma)

1.2.3. Boyut Etkisi

Griffith [48], mikron mertebesindeki cam lifler üzerine yapmış olduğu deneylerde, cam liflerin dayanımının elemanter düzeydeki dayanımdan çok daha büyük olduğunu tespit etmiştir. Griffith aradaki bu farkın cam numune yüzeyindeki kusurlardan kaynaklandığını

deneylerinde gözlemlemiştir. Daha sonra Weibull [56] “her malzemede kusur vardır” görüşünden hareketle, istatistiksel tabanlı ilk boyut etkisi teorisini geliştirmiştir. Bu teori uzun süre malzemelerin emniyet faktörlerini tayin etmek için kullanılmıştır. Ancak, Bazant [6], beton gibi heterojen malzemelere uygulanmasında yetersiz kaldığını gözlemlemiştir. Zamanla başka araştırmacılar tarafından heterojen malzemelere uygulanabilen deterministik (mekanik) yaklaşımlar önerilmiştir.

Boyut etkisinin formülasyonu deterministik yaklaşımlarla elde etmek için iki yöntem kullanılmaktadır;

- 1) Bir teoriye bağlı olmaksızın deneylerle elde edilmiş istatistiksel eğriler.
- 2) Boyut etkisi kanunlarıdır.

İlk yöntem belirli problem türü için sadece sınırlı değişim aralığı vermektedir. Uygulamada kesinliği olan bir yöntemdir. İkinci yöntem ise teorik olup laboratuarda geçerliliği ispatlanmış veriler üzerine kurulmuştur [57].

1.2.3.1. Boyut Etkisi Kanunu (BEK)

Bazant [6], en büyük yükte çatlakın ilerlemesi sonucu serbest kalan enerji ile beton tarafından absorbe edilen enerji arasındaki basit dengeyi boyut analizi (Buckingham Pi Teoremi) yardımıyla kurarak boyut etkisi teorisini geliştirmiştir. Doğrusal olmayan kırılma mekaniğinin temelini oluşturan bu teori, malzemenin kırılma özelliklerini belirleyen, çatlak boyu ve çatlak alanı gibi iki parametreye bağlıdır. Bazant, nominal dayanım σ_N ile numune boyutu “d” arasındaki ilişkiyi;

$$\sigma_N = (C + dA)^{-1/2} \quad (1.18)$$

Şeklinde tanımlamıştır. Burada A ve C deney verilerinin $Y = (1/\sigma_N^2)$ ve $X = (d)$ olmak üzere, lineer regresyon sonucu elde edilen $Y = AX + C$ doğrusunun sabitleridir. Ancak uygulamada genel bir formülasyon elde etmek için (1.18) ifadesi yerine aşağıdaki şekilde verilen, boyutsuz formun kullanılması daha uygun olmaktadır.

$$\sigma_N = Bf_t(1 + \beta)^{-1/2} \quad , \quad \beta = d/d_0 \quad (1.19)$$

Burada f_t , betonun çekme dayanımıdır. B ve d_0 ise $Y = (ft/\sigma_N^2)$ ve $X = (d)$ olmak üzere $Y = AX + C$ doğrusundan, $B = (1/C)^{1/2}$ ve $d_0 = (C/A)$ şeklinde elde edilen ampirik sabitlerdir. Burada Y boyutsuz ve X uzunluk boyutunda olduğundan, d_0 uzunluk boyutunda elde edilmektedir. Yapılan araştırmadır d_0 ampirik sabitinin malzemenin maksimum agrega çapı (d_{max}) ile orantılı olduğunu ortaya koymaktadır.

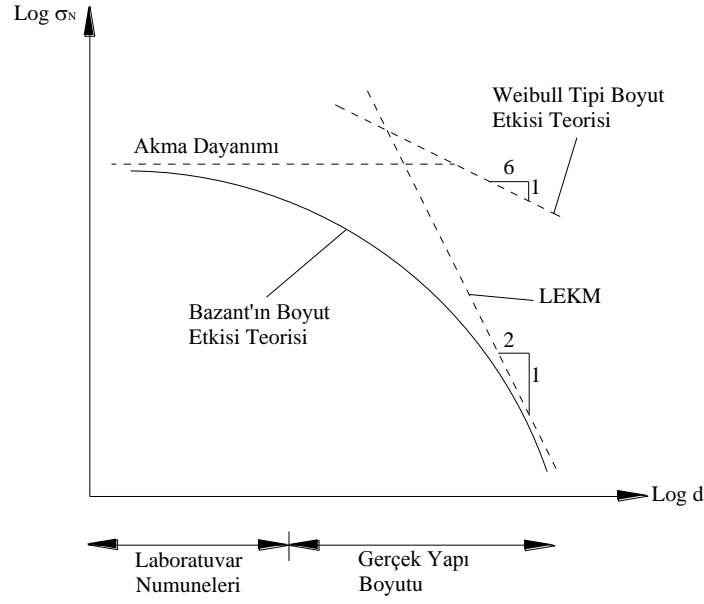
$$d_0 = \lambda_0 d_{max} \quad (1.20)$$

Burada d_0 , ampirik sabit ve d_{max} , maksimum agrega çapıdır. İfade (1.19)'da d numune boyutu çok küçük olduğu zaman ikinci taraf yaklaşık 1 olmakla ve malzemede dayanım kriteri veya akma kriteri geçerli olmaktadır. Bu durumda $Log\sigma_N - Logd$ arasındaki ilişki yatay bir doğru şeklindedir. Diğer taraftan numune boyutu d' nin çok büyük olduğu durumlarda $Log\sigma_N - Logd^{-1/2}$ şeklinde bir ilişkiden bahsedilebilir (Weibull teorisinde bu ilişki $Log\sigma_N - Logd^{-1/6}$ şeklindedir). Bu durumda LEKM kriteri geçerli olmaktadır. Oysa gerçekte mühendislik yapıları bu iki limit durum arasında kalmaktadır. Bazant'ın boyut etkisi teorisi (ifade (1.19)) ise, Şekil 1.32'de görüldüğü gibi LEKM ile dayanım kriteri arasında bir geçiş eğrisini temsil etmektedir. Ancak son yıllarda Bazant vd., [58] tarafından yapılan araştırmalar ve özellikle de silindir yarma deneyi, teoride bazı eksiklerin olduğunu ortaya koymuştur.

1.2.3.2. Değiştirilmiş Boyut Etkisi Kanunu (DBEK)

Hasegawa vd., [59] silindir numuneler üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda, numune boyutunun artması ile nominal dayanımın azaldığını tespit etmişlerdir. Ancak belirli bir boyutta bu değişimin durduğunu ve yatay bir seyre geçildiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan bu çalışmalardan yola çıkarak Bazant ve Kazemi bu durumun göçme anındaki mekanizmaya bağlı olduğunu bulmuşlardır [58, 60].

Yarma deneyinin iki cismin temas probleminde benzerliği Şekil 1.33'te görülmektedir. Burada alt bölgelerde basınç gerilmeleri ve orta kısımlarda çekme gerilmeleri oluşmaktadır (Şekil 1.33a). Bu gerilmeler sonucunda alt kısımlarda kama şeklinde çatlaklar ve eksenel yönde yarıma çatlaklarının meydana geldiği görülmektedir (Şekil 1.33 b,c).



Şekil 1.32. Bazant'ın Boyut Etkisi Teorisi

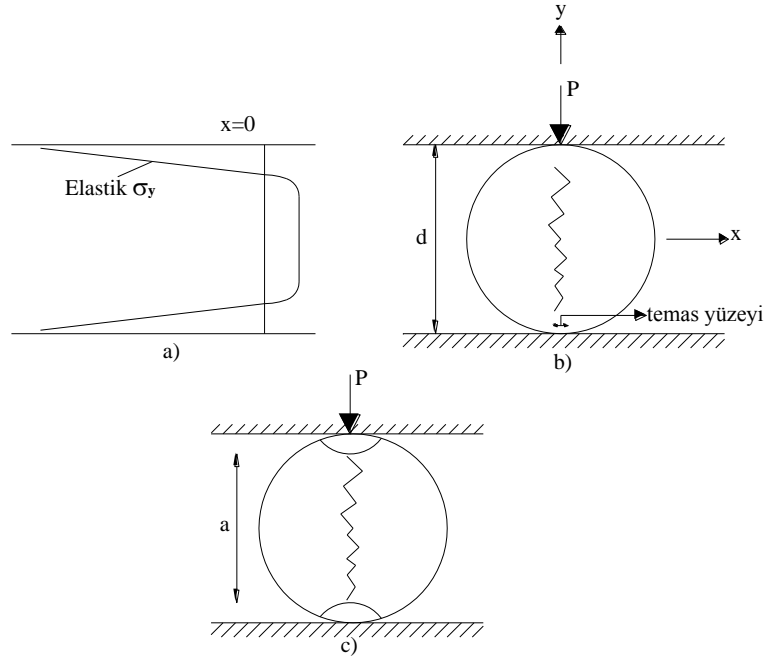
Şekillerde görülen basınç ve çekme gerilmelerinin dağılımı numunenin çapı ile orantılı olarak değişmektedir. Şekil 1.33.c' de a/d oranı numune boyutu ile doğru orantılı olarak değişir. Küçük boyutlu numunelerde kama şeklindeki bölgede sürtünme sıyrılmasına sebep olan yük, yarıma çatlağına sebep olan yükten daha küçüktür. Büyük boyutlu numunelerde ise kama yüzeyinde oluşan içsel sürtünme yarıma göçmesine sebep olan nominal dayanımdan çok daha küçüktür. Buda belirli bir boyuttan sonra sünek davranışa tekrar geçildiğini göstermektedir. Bu durumda, bir üst limitin yanında (Şekil 1.32) boyut etkisi kanununa bir alt limitin eklenmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım aynı zamanda, özellikle de bu tür çatlakların gözlemlendiği basınç etkisine maruz sistemlerde de geçerlidir.

Bu düşünceden hareketle Kim ve Eo [61], (1.21) ifadesini ortaya koymuşlardır;

$$\sigma_N = B f_t' (1 + \beta)^{-1/2} + a f_t' \quad (1.21)$$

Burada B ve a ampirik sabitlerdir. Bu yaklaşım, Değiştirilmiş Boyut Etkisi Kanunu (DBEK) olarak adlandırılmaktadır.

İnce [62], Arslan ve İnce [63], yapay sinir ağları ile yaptıkları çalışmalardan elde ettikleri deneysel verilerin sonucunda boyut etkisi eğrilerinin DBEK'a uygunluğunu doğrulamışlardır.



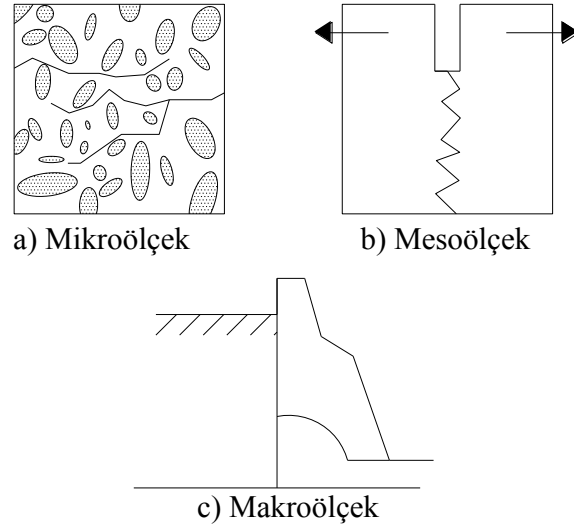
Şekil 1.33. Silindir yarma deneyinin detayları ve temas problemi [58].

1.2.3.3. Fraktal Boyut Etkisi Kanunu (FBEK)

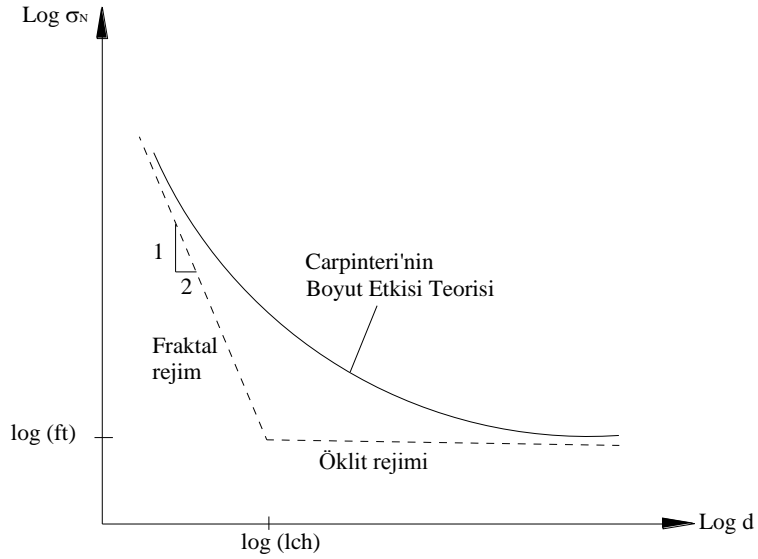
Carpinteri [64], en büyük yükte çatlak yüzeyinde meydana gelen hasarı, fraktal geometri ile modelleyerek, boyut etkisi kavramına geometrik olarak yaklaşmıştır. Teori temelde numunenin homojenlik derecesini esas almaktadır. Şekil 1.34'te görüldüğü gibi küçük beton yapılarda, agrega boyutu yapı boyutunun yanında ihmal edilemeyecek mertebede olduğundan, homojenlik minimum seviyededir. Aksi durumda büyük beton yapılarda agrega boyutu, yapı boyutuna göre küçüktür ve malzeme mükemmel homojen davranış sergiler. Bu açıdan bu ölçekte boyut etkisi görülmez. Fraktal hasar kavramına göre boyut etkisi;

$$\sigma_N = \left(C + \frac{A}{d} \right)^{1/2} \quad (1.22)$$

Şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 1.35). Burada A ve C deney verilerinin $Y = (\sigma_N^2)$ ve $X = (1/d)$ olmak üzere, lineer regresyon sonucu elde edilen $Y = AX + C$ doğrusunun sabitleridir. Ancak uygulamada genel bir formülasyon elde etmek için, Bazant'ın boyut etkisi teorisinde olduğu gibi (1.22) ifadesi yerine aşağıdaki şekilde verilen, boyutsuz formun kullanılması daha uygun olmaktadır.



Şekil 1.34. Betonda kırılmanın çok ölçekli yayılması



Şekil 1.35. Carpinteri'nin Boyut Etkisi

$$\sigma_N = f_t \left(1 + \frac{l_{ch}}{d}\right)^{1/2} \quad (1.23)$$

Burada f_t , sonsuz boyuttaki bir numune için asimtotik çekme dayanımıdır. l_{ch} ise karakteristik uzunluk adı verilen ampirik bir sabittir. Burada ampirik sabitler (1.22) ifadesindeki lineer-regresyon analizinden $f_t = \sqrt{C}$ ve $l_{ch} = A/C$ 'den bulunabilir.

İfade (1.23)' te görüldüğü gibi $d \rightarrow \infty$ olduğunda boyut etkisi eğrisi sıfırdan farklı bir sabite, homojen davranış sınırına (öklit rejimi) asimtot olur. $d \rightarrow 0$ için $\sigma_N \rightarrow \infty$ olmakta ve küçük boyutlarda $\sigma_N - d$ bağıntısı logaritmik ölçekle eğik bir asimtota sahip olmaktadır (fraktal rejim). Şekil 1.32 ve Şekil 1.35 karşılaştırıldığında Bazant'ın boyut etkisi teorisi sınırlı bir boyut aralığında geçerli olmasına karşın, Carpinteri'nin boyut etkisi teorisi diğerinin aksine sınırsız bir boyut aralığında kullanılmaktadır.

1.2.4. Beton/Betonarme Kırılma Mekanizmasında Boyut Etkisine Ait Uygulamalar

Bu uygulamalar iki kategoride incelenebilir. Birincisi BEK ve DBEK yaklaşımlarının ikincisi FBK yaklaşımının kullanıldığı çalışmalardır.

Birinci grup yaklaşımlar içerisinde beton için, temel kırılma modları Bazant ve Pfeiffer [52] (Mod I ve Mod II) ve Bazant ve Prat [65] (Mode III) ve Tokatly ve Barr vd. [66] (Mode III) tarafından incelenmiştir. Bunun yanında Brezilya silindir yarma deneyinde boyut etkisi Bazant vd. [58], beton silindir numunelerde çift zımbalama deneyinde boyut etkisi Marti [67], donatısız beton borularda boyut etkisi Bazant ve Cao [68], betonun basınç-eğilme mukavemetinde boyut etkisi Kim vd. [69], betonun yatak mukavemetinde boyut etkisi, İnce ve Arıcı [70] çalışmaları ayrıca verilebilir. Betonarme için, öngerilmeli beton kirişlerde boyut etkisi Bazant ve Cao [67], diyagonal kesme göçmesinde agreganın ve etriyenin boyut etkisi Bazant ve Sun [71], döşemelerin zımbalama göçmesinde boyut etkisi Bazant ve Cao [72], Çekip-çıkarma (Pull-out) deneyinde boyut etkisi Bazant ve Şener [73], Etriyesiz betonarme kirişlerde boyut etkisi Bazant ve Kazemi [74], Kim vd. [75], İnce [76], İnce ve Arslan [77] ve İnce ve Arslan [78], Eksenel yüklü kolonlarda boyut etkisi Şener vd. [79], Eksenel yüklü fretli kolonda boyut etkisi Kim vd [80], kare prizmatik betonarme kirişlerde burulma mukavemetinde boyut etkisi Bazant ve Şener [81].

İkinci grup çalışmalarda ise araştırmalar sınırlı olmakla beraber, betonda mode I durumunun incelendiği Carpinteri vd. [82] kayma donatısı betonarme kirişlerde boyut etkisi İnce [76] ve İnce [83] gibi araştırmalar verilebilir. Bununla beraber birçok araştırmacı tarafından yapılan deneysel çalışmaların toplandığı bir raporda FBK yaklaşımı uygulanmış ve müspet sonuçlar elde edilmiştir [84].

1.2.5. Boyut Etkisi ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

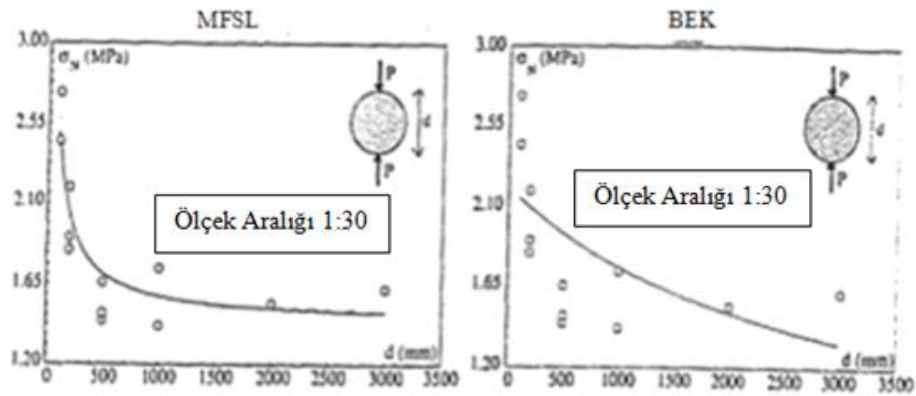
1.2.5.1. Hasegawa, Shioya ve Okada - Silindir Yarma Deneyi (Ölçek Aralığı 1:30) [59]

Hasegawa, Shioya ve Okada tarafından yapılan bu çalışmada silindir numuneler kullanılmıştır. Boyut değişim aralığı 1:30, numune kalınlığı 500mm, maksimum agrega çapı, $d_{max}=25mm$ olarak alınmıştır. 100mm çapında 200mm yüksekliğinde tüm numuneler için ortalama basınç dayanımı 23.4MPa'dır. Burada; itibari çekme dayanımı, elastisite teorisinde en büyük temel gerilme esasına göre tanımlanmıştır.

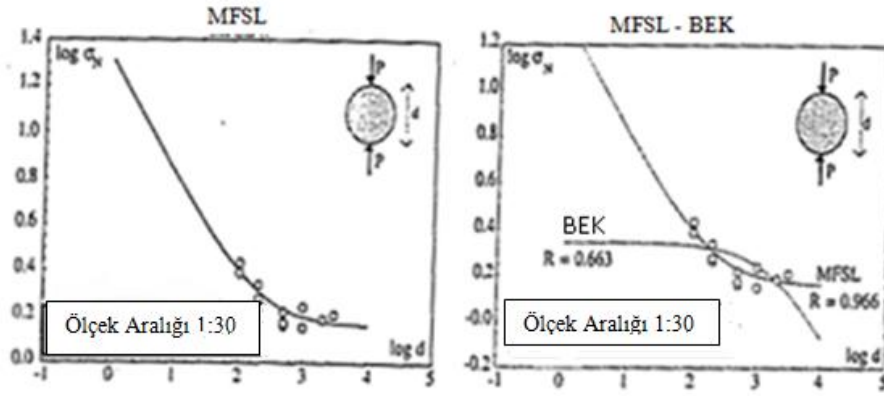
$$\sigma_N = \frac{2P_u}{\pi L d} \quad (1.24)$$

Burada;

P_u , kırılma yüküdür. L ve d ise sırasıyla numune boyu ve çapıdır. Çok Fraktallı Boyut Etkisi Kanunu (MFSL). Sabitlerinin değerleri $f_t = 1.45 MPa$ ve $l_{ch} = 199.2mm$ 'dir. MFSL ile ayarlanmış test detaylarının verdiği korelasyon katsayısı $R = 0.996$ iken BEK'dan elde edilen değer $R = 0.663$ 'tür. Sonuçta; l_{ch}/d_{max} boyutsuz oranı 7.96 bulunmuştur.



Şekil 1.36. Ölçek aralığı 1:30 olan silindir yarma deneyi [59].



“Şekil 1.36. 'nin devamı" Ölçek aralığı 1:30 olan silindir yarma deneyi [59].

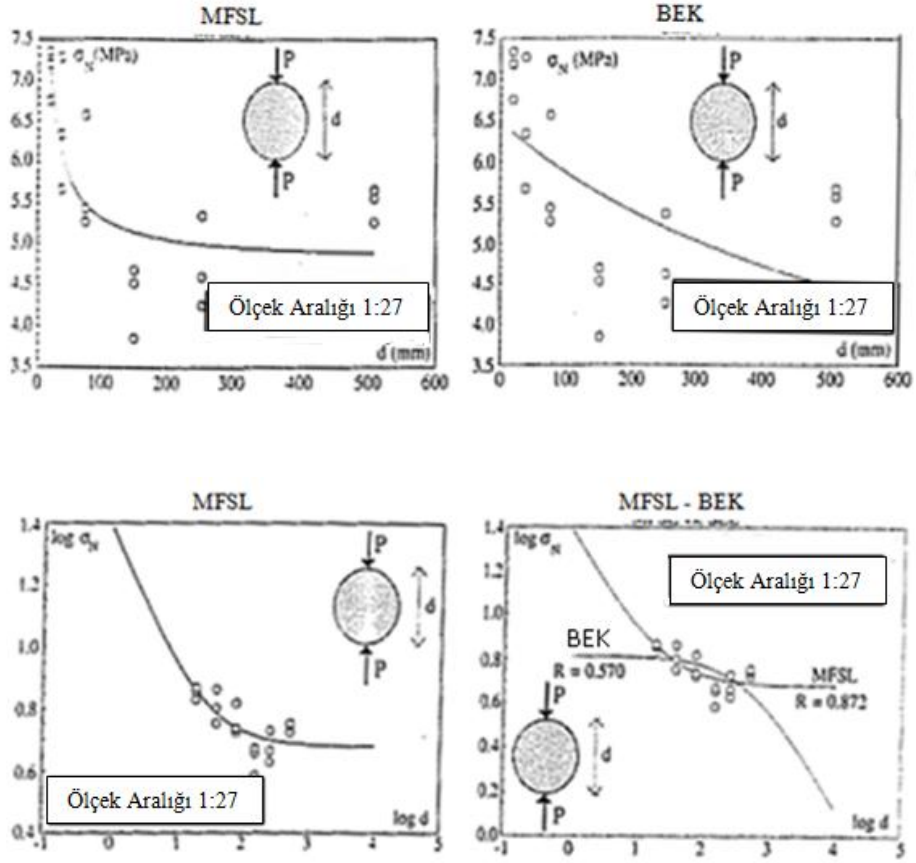
1.2.5.2. Bazant, Kazemi, Hasegawa and Mazars - Yarma Deneyi (Ölçek Aralığı 1:27) [58]

Nortwestern Üniversitesinde yapılan bu silindir yarma deneylerinde boyut değişim aralığı 1:27 olarak alınmıştır. Çapları sırasıyla 19mm, 38mm, 76mm, 152mm, 254mm ve 508mm olan silindir numuneler üzerinde uygulanmıştır. Bütün numunelerin boyu 51mm olup aynı karışım esas alınmıştır. Maksimum agrega çapı $d_{max}=5mm$ alınmıştır. Beton karışımında su-çimento-agrega oranı ağırlıkça 1:2:4 alınmıştır. Numuneler silindir eksenini dik duracak şekilde dökülmüştür. 76mm çapında ve 152mm boyunda aynı betonla dökülmüş eş silindir numuneleri üzerinde basınç dayanımı ölçülerek, 51.4MPa'ya eşit olduğu kanıtlanmıştır. Belirtilmelidir ki; itibari çekme dayanımı, elastisite teorisinde en büyük temel gerilme esasına göre tanımlanmıştır.

$$\sigma_N = \frac{2Pu}{\pi Ld} \quad (1.25)$$

P_u ; kırılma yüküdür. L ve d ise sırasıyla numune kalınlığı ve çapıdır.

Maksimum yükten elde edilen itibari gerilme değerleri, $\text{Log} \sigma_N$ 'e karşı $\text{Log} d$ diyagramında çizilmiştir. MSFL (uygunluğu) $f_t = 4.8MPa$ ki bu neredeyse basınç dayanımının $f'_c = 1/10$ 'udur ve $l_{ch} = 24.5mm$ 'dir. Korelasyon katsayısı MSFL için $R = 0.872$ ve BEK için $R = 0.570$ 'e eşittir. l_{ch}/d_{max} boyutsuz oranı 4.9'a eşittir.



Şekil 1.37. Ölçek aralığı 1:27 olan silindir yarma deneyi [58].

1.2.5.3. Kim ve Eo - Silindir Yarma Deneyi (Ölçek Aralığı 1:16) [61]

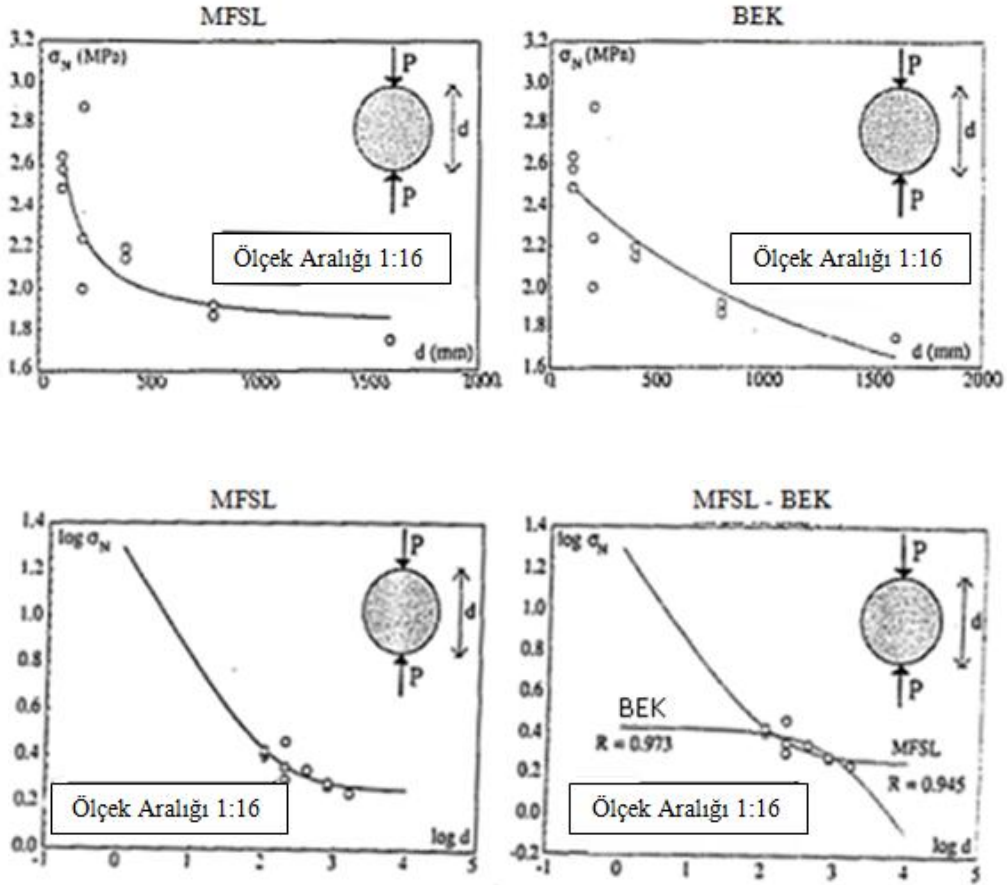
Deneylerde kullanılan numuneler silindir şeklinde olup boyut değişim aralığı 1:16'dır. Bütün numuneler 200mm boyunda ve $d_{max}=25mm$ 'dir. Ortalama basınç dayanımı, 100mm çapında ve 200mm yüksekliğindeki silindir numune için 24.7MPa'dır. Burada; itibari çekme dayanımı, elastisite teorisinde en büyük temel gerilme esasına göre tanımlanmıştır.

$$\sigma_N = \frac{2Pu}{\pi Ld} \quad (1.26)$$

Burada;

P_u ; kırılma yüküdür. L ve d ise sırasıyla numune kalınlığı ve çapıdır. MFSL sabitlerinin değeri $f_t = 1.79MPa$ ve $l_{ch} = 120.1mm$, MFSL ile ayarlanan deney verileri

korelasyon katsayısını $R = 0.945$ olarak verirken, BEK ile elde ettiğimiz değer $R = 0.973$ 'tür. l_{ch}/d_{max} oranı 4.8'e eşittir.



Şekil 1.38. Ölçek aralığı 1:16 olan silindir yarma deneyi [61].

1.2.5.4. Marti - Çift Zimba Deneyi (Ölçek Aralığı 1:16) (II seri) [67]

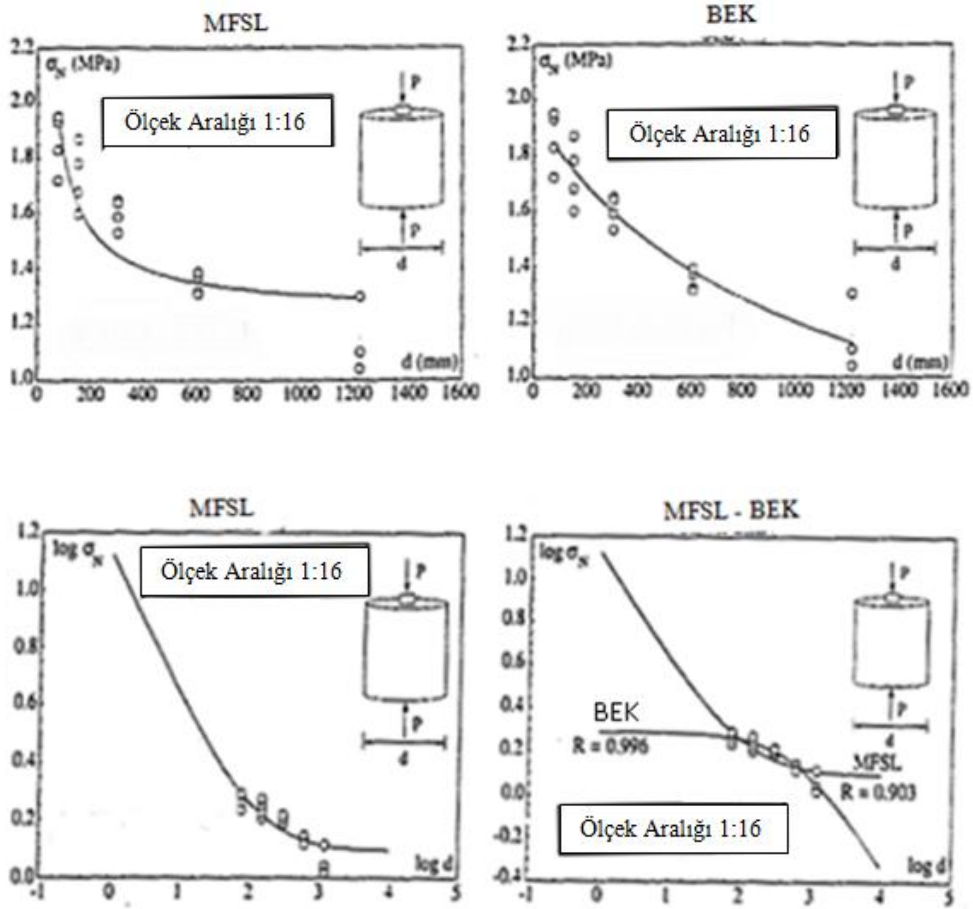
Araştırılan çift zimba deneyleri sırasıyla 23 adet ve 19 adet numuneli iki farklı seri üstünde uygulanmıştır. Bütün numuneler aynı tip betondan dökülmüştür. Örnek numune çapları 1. Seri için 76-610mm (aralık-range 1:8) ve 2. Seri için ise 76-1219mm arasında değişir (değişim aralığı 1:16). Maksimum agrega çapı, $d_{max}=100$ mm alınmıştır. Silindir deneyleriyle elde edilen ortalama basınç dayanımları, 1. Seri ve 2. Seri için sırasıyla 33.3MPa ve 23.6MPa bulunmuştur. İtibari gerilme (dayanım) aşağıdaki formül kullanılarak bulunmuştur.

$$\sigma_N = 0.4 \frac{Pu}{d^2} \quad (1.27)$$

Burada;

P_u ; kırılma yükü, d ise numune çapıdır. Maksimum yük ölçümünden alınan itibari gerilme değerleri $\log \sigma_N - \log d$ diyagramında gösterilmiştir. 2. Seri için MFSL (uygunluğu) şu değerleri sağlar:

$f_t = 1.24 \text{MPa}$ ve $l_{ch} = 112.7 \text{mm}$ korelasyon katsayısı MFSL için $R = 0.903$ iken BEK için $R = 0.996$ 'dır. l_{ch}/d_{max} oranı 11.27'ye eşittir.



Şekil 1.39. Ölçek aralığı 1:16 olan silindir çift zımba deneyi [67].

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Deneysel Çalışmalar

Yapılan çalışmada, betonun diyagonal küp yarmada-çekme dayanımı üzerine (özellikle diyagonal küp-yarma mukavemeti) malzeme ve numune boyutu parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Ardından betonun basınç mukavemeti ile küp yarmada-çekme mukavemeti arasında istatistiksel tabanlı ilişkileri bulunmuştur.

Deneysel çalışmalarda, maksimum agrega çapı 4mm, 8mm ve 16mm olan beton karışımlarla 50, 100, 150 ve 200mm'lik küp numuneler üzerinde uygun kür şartlarında 28 günlük mukavemet neticesinde betonun diyagonal küp-yarmada çekme dayanımında boyut etkisi BEK yaklaşımına göre incelenmiştir.

Beton karışımlar için kullanılacak çimento CEMI-42.5N tipi olup yoğunluğu, $\gamma_c = 3.05 \text{ kg/dm}^3$ 'tür. Hava boşluğu ve deneylerde kullanılan agregalar için özellikler Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Agrega yoğunlukları

Agrega yoğunluğu (kg/dm^3)	
İri Agrega (4mm ve üstü için)	2.66
İnce Agrega (4mm altı için)	2.62

Tablo 2.2. Hava boşluğu oranları

Hava Boşluğu (%)	
$d_{\max} = 4\text{mm}$	40
$d_{\max} = 8\text{mm}$	35
$d_{\max} = 16\text{mm}$	20
$d_{\max} = 31.5\text{mm}$	10

Deneyleerde kullanılan $d_{\max}=4\text{mm}$ ve altındaki agregalar için Tablo 2.3'te verilen granülometrideki malzeme kullanılmış olup diğer maksimum dane çaplı karışımlar için istenen miktarlar ayrı ayrı eleme yapılarak kullanılmıştır.

Tablo 2.3. $d_{\max}=4\text{mm}$ için granülometri

$d_{\max}=4\text{mm}$	Kümülatif (gr)	Kalan(%)	A	B	Geçen(%)	Uygunluk kontrolü
4	0	0	100	100	100	√
2	603.6	25	80	50	75	√
10	1060.4	44	60	35	56	√
0.5	1740.2	72	40	20	28	√
0.25	2130.5	88	15	10	12	√
Kap	2415.7	100	0	0	0	√

TS802'de verilen “ $1000 = \frac{c}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A^*$ ” formülüne ve verilen uygun granülometrilere göre yapılan işlemler neticesinde aşağıdaki karışım oranları hesaplanmıştır. Karışım oranları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Burada;

c = Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)

γ_c = Çimentonun yoğunluğu (kg/dm^3)

W = Karışıma girecek suyun hacmi (dm^3)

W_a =Karışıma girecek agreganın kütlesi (kg)

γ_a = Agreganın yoğunluğu (kg/dm^3)

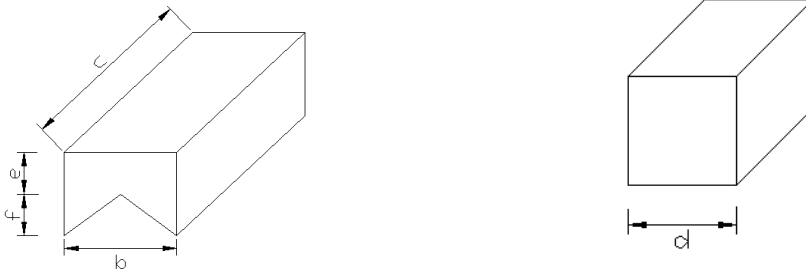
A^* = Betondaki toplam hava miktarı (dm^3) ‘dır.

Tablo 2.4. 55 dm³ için karışım hesapları

Karışım Tipi	Su (kg)	Çimento (c) (kg)	(w/c)	Dozaj (kg/m ³)	Agrega cinsi (d _{max}) (kg)		
					4mm altı	8mm	16mm
I. Seri (d _{max} =4mm)	14.85	24.75	0.60	450	78.2		
II. Seri (d _{max} =8mm)	13.20	12.00	0.60	400	64.30	22.60	
III. Seri (d _{max} =16mm)	16.50	10.60	0.55	350	45.30	21.60	31.50
IV. Seri (d _{max} =16mm) (15 adet standart küp için)	16.50	10.60	0.55	350	45.30	21.60	31.50

2.2. Deney İçin Hazırlanan Çelik Başlıklar ve Boyutları

Numunelere uygulanacak olan diyagonal yarma deneyleri için numune ile pres makinasının tablası arasına konulmak üzere Şekil 2.1’de gösterilen çelik başlıklar hazırlanmıştır.



Şekil 2.1. Çelik başlık ve küp numune

$b = d * 0.30$ ve $c = d + 20mm$ formüllerinden çelik başlıklar Tablo 2.5’te verilen ölçülerde hazırlanmıştır.

Tablo 2.5. Çelik başlık boyutları

	50 mm küp için	100 mm küp için	150 mm küp için	200 mm küp için
e (mm)	10	10	20	20
f (mm)	7.5	15	22.5	30
b (mm)	15	30	45	60
c (mm)	70	120	170	220

Ayrıca deneylerde beton numuneler ve çelik başlıklar arasına konulmak üzere Tablo 2.6’da boyutları verilen duralit malzemedен yapılmış şeritler kullanılmıştır.

Tablo 2.6. Duralit/kontrplak şerit boyutları

	1.Tip	2.Tip	3.Tip	4.Tip	5.Tip	6.Tip	7.Tip	8.Tip
Kalınlık (mm)	3	3	3	3	3	3	3	3
Genişlik (mm)	4	7	7.5	10	15	15	22.5	30
Uzunluk (mm)	70	120	170	170	170	220	170	170

2.3. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

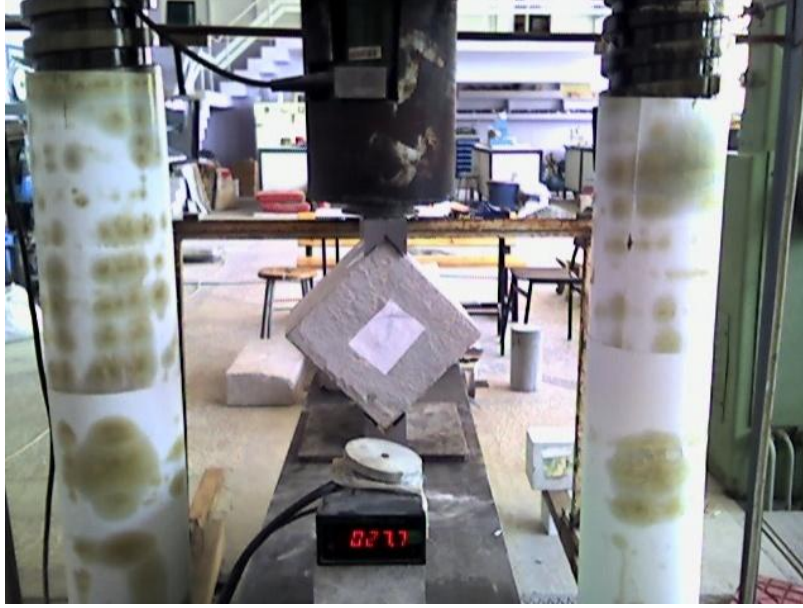
Numuneler Şekil 2.2’de gösterilen mikser de uygun karışımda hazırlanmış olup 50, 100, 150, 200mm’lik kalıplara dökülmüştür. (Plastik ve metal kalıplar Şekil 2.2’de görülmektedir). Uygun kür şartlarında 28 gün bekletildikten sonra numuneler üzerindeki düz ve diyagonal yarma deneyleri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’te görüldüğü gibi 2500 kN kapasiteli hidrolik pres altında yapılmıştır. Numuneler uygun şekilde hazırlanan çelik başlıklar (numune boyutlarına göre ebatları değişmektedir) ve numune ile çelik başlıklar arasına konulan duralit şeritler (deneylere göre boyutları değişmektedir) kullanılarak pres tablasına yerleştirmiştir. Numunelerde göçme meydana gelinceye kadar belirlenen hızda yükleme yapılmış olup kırılmanın meydana geldiği yük 0.1kN hassasiyet ile ölçüm cihazından okunmuştur. Deneylerde kullanılan kalıplar ve mikser Şekil 2.3’te, deneylerde kullanılan 2500kN kapasiteli hidrolik pres makinesi Şekil 2.4’te, numune yerleştirilmesi Şekil 2.5’te, kırılma şekilleri ve detayları Şekil 2.6-2.15’te verilmiştir.



Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan kalıplar ve mikser



Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan 2500kN kapasiteli hidrolik pres makinesi



Şekil 2.4. Deneylerde kullanılan 2500kN kapasiteli hidrolik pres makinesi altında numune yerleştirilmesi



Şekil 2.5. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları ve değer okunması



Şekil 2.6. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



Şekil 2.7. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



Şekil 2.8. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



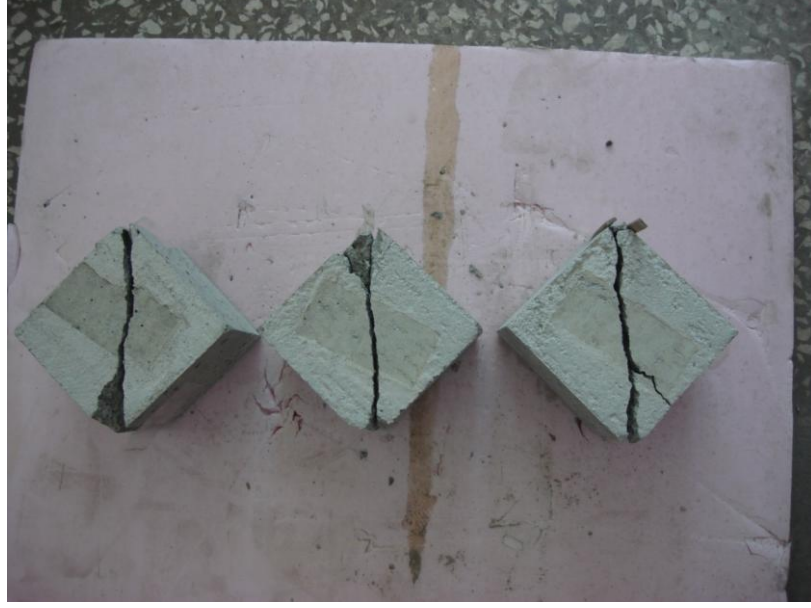
Şekil 2.9. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



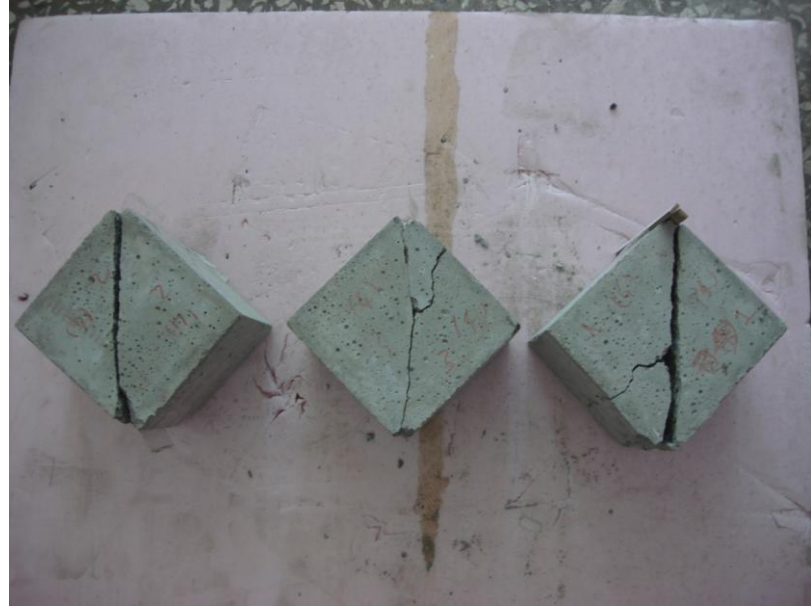
Şekil 2.10. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



Şekil 2.11. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



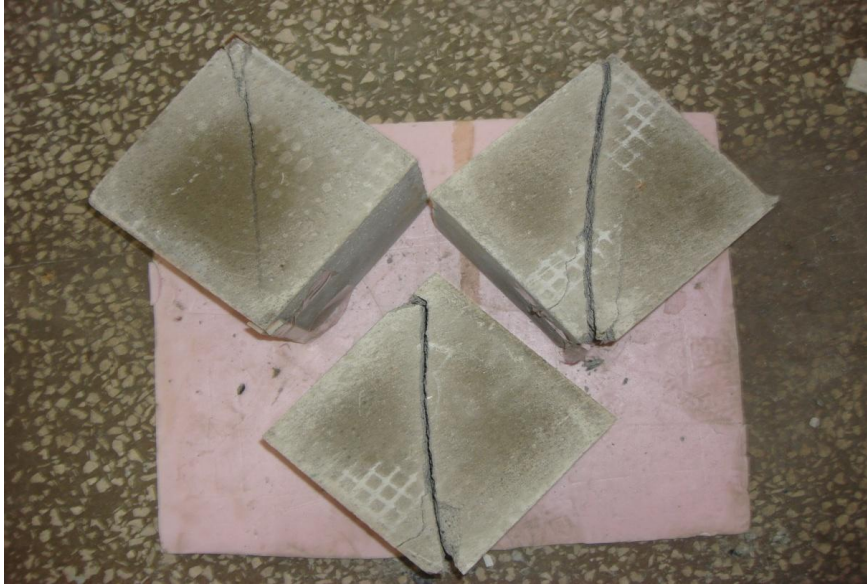
Şekil 2.12. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



Şekil 2.13. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



Şekil 2.14. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları



Şekil 2.15. Numunelerin kırılma şekilleri ve detayları

3. BULGULAR

3.1. Deney Sonuçları ve Analizleri

Deneysel çalışmalarda, maksimum agrega çapı 4mm, 8mm ve 16 mm olan beton karışımlarla 50mm, 100mm, 150mm ve 200mm'lik küp numuneler üzerinde uygun kür şartlarında 28 günlük mukavemeti neticesinde betonun diyagonal küp-yarmada çekme dayanımında boyut etkisi, BEK yaklaşımlarına göre incelenmiş olup aşağıdaki analiz sonuçları elde edilmiştir.

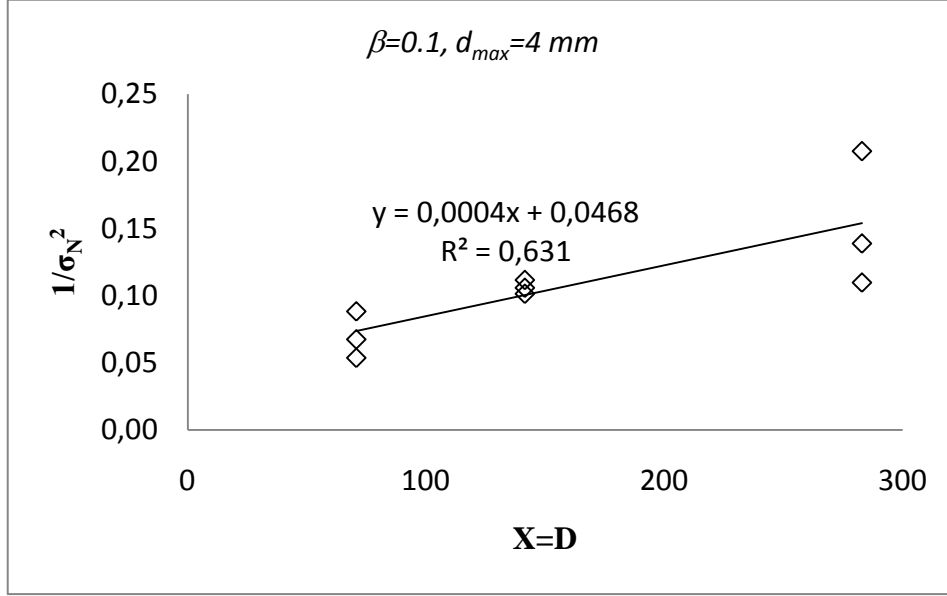
Tablo 3.1'de; $d_{max}=4mm$ olan 50mm, 100mm ve 200mm'lik numuneler için analizler sonucu bulunan dayanım değerleri verilmiş olup sonuçlar tablo halinde gösterilmiştir. Burada; dayanım değerleri (yarmada-çekme mukavemeti) ifade (1.5)'e göre hesaplanmıştır.

Şekil 3.1'de; $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 4mm$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği verilmiştir.

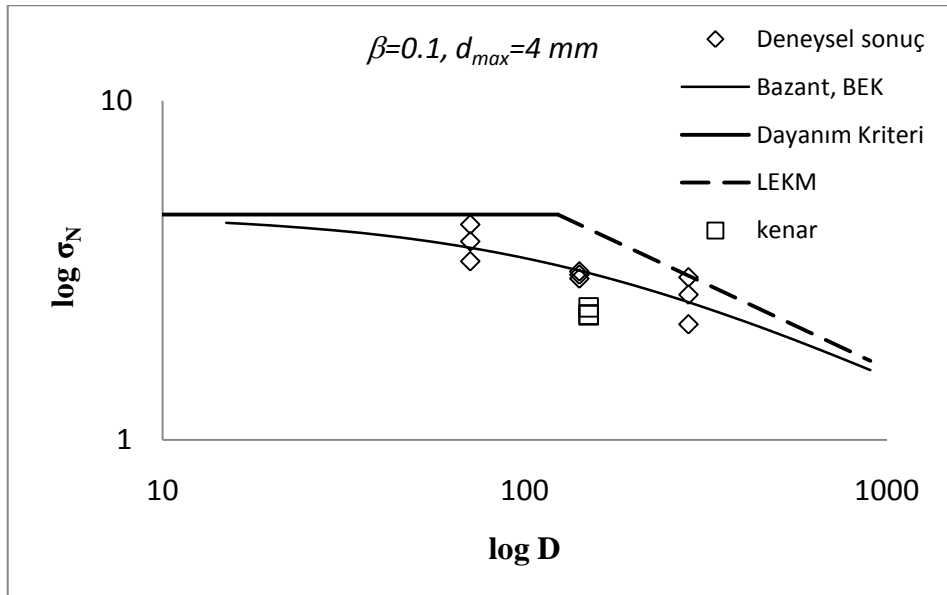
Şekil 3.2'de; $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 4mm$ için Bazant'ın BEK'sına göre formülasyonu ve grafiği sunulmuştur.

Tablo 3.1. $d_{max}=4mm$ için analiz sonuçları

d (mm)	d_{max}(mm)	Pk (kN)	D (mm)	σ_N (MPa)
50	4	21.4	70.7	3.853
50	4	24.0	70.7	4.322
50	4	18.7	70.7	3.367
100	4	68.3	141.4	3.075
100	4	66.5	141.4	2.994
100	4	69.8	141.4	3.142
200	4	195.0	282.8	2.195
200	4	238.5	282.8	2.684
200	4	268.3	282.8	3.019



Şekil 3.1. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 4\text{ mm}$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği



Şekil 3.2. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 4\text{ mm}$ için Bazant'ın BEK

Tablo 3.2’de; $d_{max}=8mm$ olan 50mm, 100mm ve 200mm’lik numuneler için analizler sonucu bulunan dayanım değerleri verilmiş olup sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

Şekil 3.3’te; $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 8mm$ için numunelerin BEK’ya göre formülasyonu ve grafiği gösterilmiştir.

Şekil 3.4’te; $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 8mm$ için Bazant’ın BEK’sına göre formülasyonu ve grafiği sunulmuştur.

Tablo 3.2. $d_{max}=8mm$ için analiz sonuçları

d (mm)	$d_{max}(mm)$	Pk (kN)	D (mm)	$\sigma_N(MPa)$
50	8	22.3	70.7	4.015
50	8	25.1	70.7	4.520
50	8	26.5	70.7	4.772
100	8	75.3	141.4	3.390
100	8	70.7	141.4	3.183
100	8	82.8	141.4	3.727
200	8	220.5	282.8	2.481
200	8	260.0	282.8	2.926
200	8	201.8	282.8	2.271

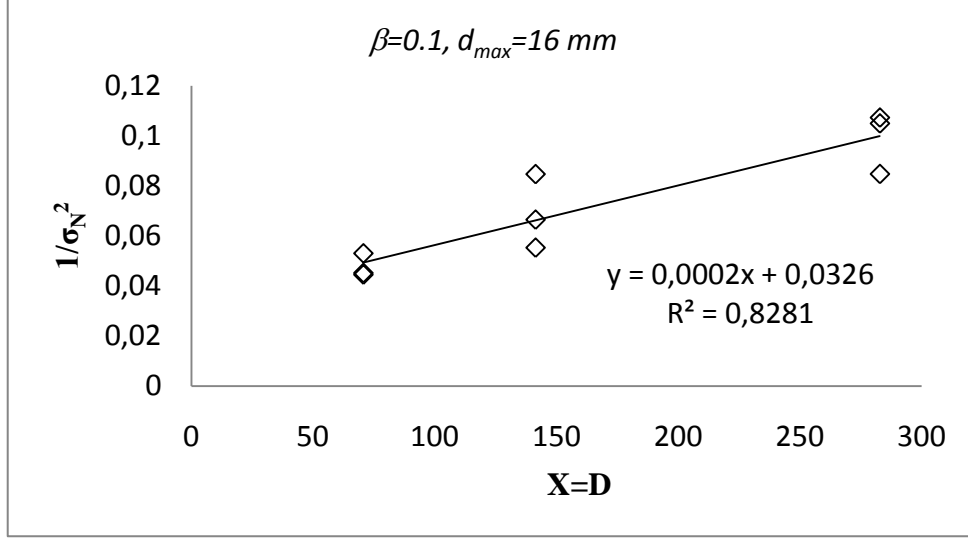
Tablo 3.3'te; $d_{max}=16mm$ olan 50mm, 100mm ve 200mm'lik numuneler için analizler sonucu bulunan dayanım değerleri verilmiş olup sonuçlar tablo halinde sunulmuştur.

Şekil 3.5'te; $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 16mm$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği gösterilmiştir.

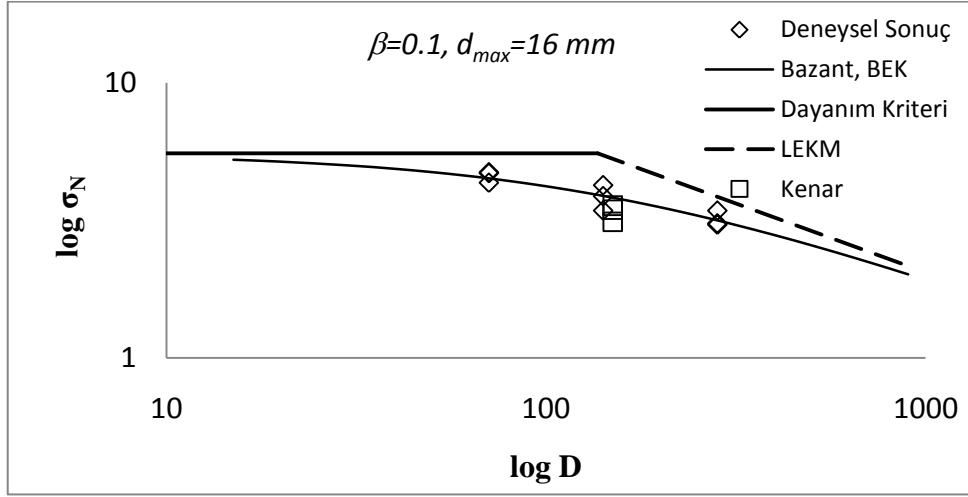
Şekil 3.6'da; $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 16mm$ için Bazant'ın BEK'sına göre formülasyonu ve grafiği verilmiştir.

Tablo 3.3. $d_{max}=16mm$ için analiz sonuçları

d (mm)	$d_{max}(mm)$	Pk(kN)	D (mm)	$\sigma_N(MPa)$
50	16	26.1	70.7	4.700
50	16	26.3	70.7	4.736
50	16	24.1	70.7	4.340
100	16	86.1	141.4	3.876
100	16	94.4	141.4	4.249
100	16	76.3	141.4	3.435
200	16	305.1	282.8	3.434
200	16	274.2	282.8	3.086
200	16	271.2	282.8	3.052



Şekil 3.5. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 16 \text{ mm}$ için numunelerin BEK'ya göre formülasyonu ve grafiği



Şekil 3.6. $\beta = 0.1$ ve $d_{max} = 16 \text{ mm}$ için Bazant'ın BEK

Tablo 3.4'te; $d_{max}=4\text{mm}$, 8mm ve 16mm için numunelerin dayanım özellikleri bulunmuş olup sonuçlar tablo haline getirilmiştir. f_{cc} : Küp, f_c : Silindir dayanımıdır.

Tablo 3.5'te; Farklı β değerleri için $d_{max}=16\text{mm}$ ve $d=150\text{mm}$ küp numuneler için kenar ve diyagonal yarma deneyleri analiz sonuçları bulunmuş olup sonuçlar tablo halinde ifade edilmiştir.

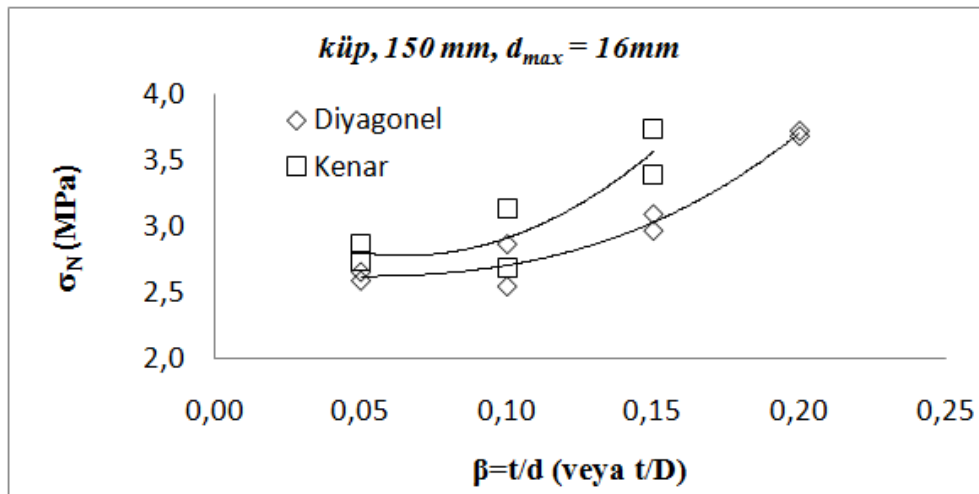
Şekil 3.7'de; Küp numuneler için kenar ve diyagonal yarma deneyleri sonucunda σ_N ve β bulunmuş olup bu değerler karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.4. $d_{max}=4\text{mm}$, 8mm ve 16mm için numunelerin dayanım özellikleri

d_{max} (mm)	f_{cc} (MPa)	f_c (MPa)	B (MPa)	d_0 (mm)
4	39.70	32.61	4.623	123.44
8	43.41	35.72	7.790	31.42
16	54.96	46.70	5.540	136.77

Tablo 3.5. Farklı β değerleri için $d_{max}=16\text{mm}$ ve $d=150\text{mm}$ küp numuneler için kenar ve diyagonal yarma deneyleri analiz sonuçları ($f_{cc} = 44.44\text{MPa}$, $f_c = 36.94\text{MPa}$)

$\beta=t/d$	d_{max} (mm)	d (mm)	D (mm)	Pk (kN)	Diyagonal	Pk (kN)	Kenar
					σ_N (MPa)		σ_N (MPa)
0.05	16	150	212.132	129.6	2.593	101.5	2.872
0.05	16	150	212.132	132.9	2.659	96.9	2.742
0.10	16	150	212.132	127.4	2.549	111.1	3.143
0.10	16	150	212.132	143.5	2.871	95.1	2.691
0.15	16	150	212.132	154.9	3.099	132.2	3.740
0.15	16	150	212.132	148.6	2.973	120.1	3.398
0.20	16	150	212.132	184.6	3.693		
0.20	16	150	212.132	186.6	3.733		



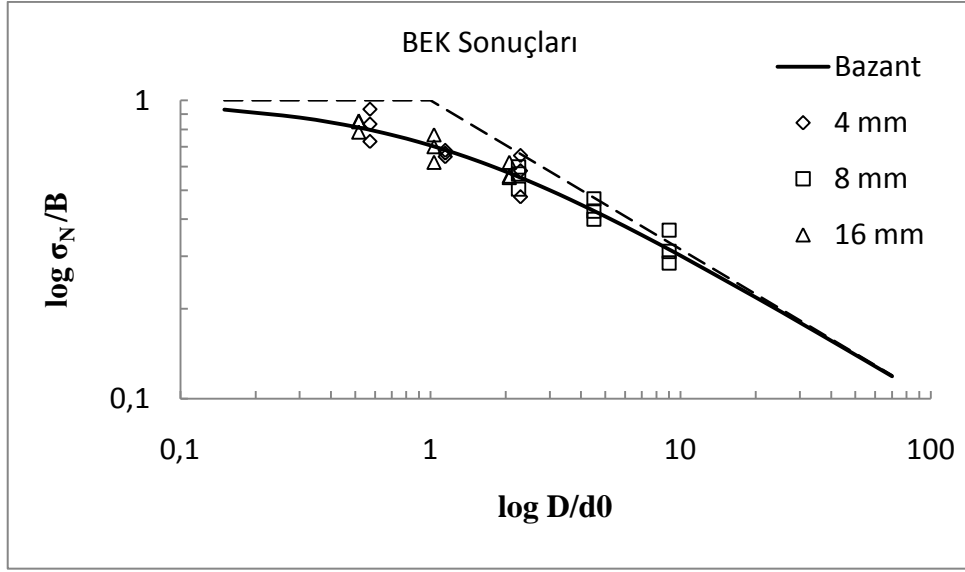
Şekil 3.7. Küp numuneler için kenar ve diyagonal yarma deneyleri sonucunda bulunan σ_N ve β değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 3.6’da; Bütün numunelerde, $\beta = 0.1$ ve $d_{\max}=4\text{mm}$, $d_{\max}=8\text{mm}$, $d_{\max}=16\text{mm}$ için toplu analizler yapılmış olup sonuçlar tablo halinde sunulmuştur.

Şekil 3.8’de; Tüm numuneler için yapılan toplu analizler sonucunda bulunan değerler BEK’ya göre analiz edilmiştir ve sonuçlar grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 3.6. $\beta = 0.1$ ve $d_{\max}=4\text{mm}$, $d_{\max}=8\text{mm}$, $d_{\max}=16\text{mm}$ için toplu analiz sonuçları

$\beta =t/d$	$d_{\max}(\text{mm})$	Pk (kN)	D (mm)	σ_N (MPa)	σ_N/Bft	D/d₀
0.1	4	21.4	70.71068	3.853	0.833	0.573
0.1	4	24.0	70.71068	4.322	0.935	0.573
0.1	4	18.7	70.71068	3.367	0.728	0.573
0.1	4	68.3	141.4214	3.075	0.665	1.146
0.1	4	66.5	141.4214	2.994	0.648	1.146
0.1	4	69.8	141.4214	3.142	0.680	1.146
0.1	4	195.0	282.8427	2.195	0.475	2.291
0.1	4	238.5	282.8427	2.684	0.581	2.291
0.1	4	268.3	282.8427	3.019	0.653	2.291
0.1	8	22.3	70.71068	4.015	0.504	2.251
0.1	8	25.1	70.71068	4.520	0.567	2.251
0.1	8	26.5	70.71068	4.772	0.599	2.251
0.1	8	75.3	141.4214	3.390	0.425	4.502
0.1	8	70.7	141.4214	3.183	0.399	4.502
0.1	8	82.8	141.4214	3.727	0.468	4.502
0.1	8	220.5	282.8427	2.481	0.311	9.003
0.1	8	260.0	282.8427	2.926	0.367	9.003
0.1	8	201.8	282.8427	2.271	0.285	9.003
0.1	16	26.1	70.71068	4.700	0.848	0.517
0.1	16	26.3	70.71068	4.736	0.855	0.517
0.1	16	24.1	70.71068	4.340	0.783	0.517
0.1	16	86.1	141.4214	3.876	0.700	1.034
0.1	16	94.4	141.4214	4.249	0.767	1.034
0.1	16	76.3	141.4214	3.435	0.620	1.034
0.1	16	305.1	282.8427	3.434	0.620	2.068
0.1	16	274.2	282.8427	3.086	0.557	2.068
0.1	16	271.2	282.8427	3.052	0.551	2.068



Şekil 3.8. BEK sonuçları

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan nümerik ve deneysel çalışmalarda “beton küp numunelerinin diyagonal yarmada – çekme yüklemesi altında boyut etkisinin lineer olmayan kırılma mekaniği prensipleriyle incelenmesi” hususu araştırılmıştır. Bunun sonuçlar BEK yaklaşımlarına göre analiz edilmiş olup aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- 1) Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde beton küp numunelerinin yarmada – çekme mukavemetinde boyut etkisindeki değişimlerin Bazant’ın BEK’ sına göre uygun olduğu tespit edilmiştir. Korelasyon katsayısının, $r = 0.883$ çıkması bunun doğruluk payını göstermektedir.
- 2) Silindir numuneler için yarmada – çekme mukavemeti üzerine literatürde birçok çalışma yapılmasına rağmen küp numuneler üzerinde hemen hemen hiç çalışma yapılmamıştır. Bu sebeple bu çalışma literatürdeki eksik kalmış bazı kısımları doldurmuş olup, uygunluğu yapılan deneysel ve teorik analizler sonucunda ispatlanmıştır.
- 3) Diyagonal yarmada - çekme yüklemesine dair yok denecek kadar az çalışma yapılmış olup bu çalışma neticesinde bu husus ele alınmıştır.
- 4) Beton numunelerde boyut arttıkça mukavemette düşüşlerin olduğu, maksimum agrega çapının ise büyüdükçe malzemede sünek davranışın arttığı gözlemlenmiş olup bu uygunluğun BEK davranışları ile örtüştüğü görülmektedir.
- 5) Silindir numuneler deney tablasında tam karşılıklı yüklemeye zorluklar çıkarabilir. Kenar yüklemeli küp numunelerde ise bu durumda çok daha stabil deneyler yapmak mümkün olmaktadır. Diğer taraftan üç noktalı ve dört noktalı eğilme çekme yüklemesindeki duruma benzer olarak aynı boyuttaki kenar ve diyagonal numunede diyagonal numunenin yarıma boyutu daha büyük olacağından boyut etkisi açısından daha güvenilir sonuçlar alınabilir.
- 6) Tüm bu hususlar göz önüne alındığında, betonda endirekt çekme mukavemetinin tayini ve boyut etkisinin uygunluğu/incelenmesi için “diyagonal yarmada – çekme” deneylerinin uygunluğu sonucuna varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. **Erdoğan Y.Turhan**, 2003. “*Beton*”, Metu Press Publishing Company, Ankara.
2. **Hillerborg, A., Modeer, M. and Petersson, P.E.**, 1976. Analysis of crack formation and growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements, *Cement & Concrete Research*, **6**, 773-782.
3. **Bazant, Z.P. and Becq-Giraudon, E.**, 2002. Statistical prediction of fracture parameters of concrete and implications for choice of testing standard, *Cement & Concrete Research*, **32**, 529-556.
4. **İnce, R.**, 2004. Prediction of fracture parameters of concrete by artificial neural networks. *Engineering Fracture Mechanics*, **71**, 2143-2159.
5. **İnce, R. and Alyamac, K.E.**, 2008. Determination of fracture parameters of concrete based on water-cement ratio. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, **15**, 14-22.
6. **Bazant, Z.P.**, 1984. Size effect in blunt fracture: concrete, rock and metal. *ASCE Journal Engineering Mechanics*, **110**, 518-535.
7. **Bazant, Z. P., Kazemi, M. T., Hasegawa, T. and J. Mazars**, 2000. "Size effect in Brazilian split-cylinder tests: measurement and fracture analysis" *Int. Journal of Solids and Structures*, **37**, 69-80.
8. **Kim, J. K., and S. H. Eo**, 1990. "Size effect in concrete specimens with dissimilar initial cracks." *Magazine of Concrete Research*, **42**, 233-238.
9. **Tang, T.**, 1994. Effects of load-distributed width on split-tension of unnotched and notched cylindrical specimens, *Journal of Testing and Evaluation*, **22**, 401-409.
10. **Rocco, C, Guinea, G.V., Planas, J. and Elices, M.**, 2001. Review of the splitting-test standards from a fracture mechanics point of view, *Cement & Concrete Research*, **31**, 73-82.
11. **Neville, A.M.**, 1995. *Properties of concrete*. Fourth Edition, Longman, London.
12. **ACI Committee 116, (116R-90)**, 1994. “Cement and Concrete Terminology,” *ACI Manual of Concrete Practice*, Part I.
13. **Neville, A.M.**, 1981. *Properties of Concrete*, Longman Scientific & Technical, England.

14. **TS 3068**, 1978. Laboratuvarıda Beton Deneş Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
15. **TS 3114**, 1990. Beton Basınç Mukavemet Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
16. **ASTM C 31**, 1994. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, *Annual Book of ASTM Standards*.
17. **ASTM C 39**, 1994. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, *Annual Book of ASTM Standards*.
18. **Rusch, H. and Hilsdorf H.**, 1963. *Deformation Characteristics of Concrete Under Concentric Tensile Stress*, **Report No. 44**, Munich Technical University.
19. **Kassas, A.A.**, 1976. *Studies on the Tensile Strength of Concrete*, M.S. Thesis (supervised by T.Y. Erdoğan), Middle East Technical University, Ankara.
20. **Carneiro, F.L.L.B. and Barcelles, A.**, March 1953. "Concrete Tensile Strength," *RILEM Bulletin (Paris)*, **No.13**, pp.97-123.
21. **TS 3129**, 1978. Betonda Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Silindir Yarma Metodu), *Türk Standartları Enstitüsü*.
22. **ASTM C 496**, 1994. Standard Test Method for Split Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, *Annual Book of ASTM Standards*.
23. **Rocco, C., Guineab, G. V., Planasb J. and Elices M.**, 1995. The effect of the boundary conditions on the cylinder splitting strength, in *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, Proceedings FRAMCOS-2, pp. 75-84, Ed. F.H.Wittmann, Aedificatio Publishers, Freiburg
24. **Rocco, C., Guineab, G. V., Planasb J. and Elices M.**, 2001. Review of the splitting-test standards from a fracture mechanics point of view. *Cement and Concrete Research.*, **31**, 73-82.
25. **Wright, P.J.F.**, July 1955. "Comments on an Indirect Tensile Test on Concrete Cylinder," *Magazine of Concrete Research*, **7**, **No.20**, pp.87-96.
26. **P. J. F. WRIGHT**, Nov. 1958. *Variations in the strength of Portland cement*, *Mag. Concr. Res.*, **10**, No. 30, pp. 123-32.
27. **Gambhir, M.L.**, 1986. "Concrete Technology", Tata Mcgraw Hill.
28. **P. J. F. WRIGHT**, 1995. Comments on an indirect tensile test on concrete cylinders, *Mag. Concr. Res.*, **7**, **No. 20**, pp. 87-96.

29. **TS 3284**, 1979. Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Üçte bir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
30. **TS 3285**, 1979. Betonun Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
31. **ASTM C 293**, 1994. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading), *Annual Book of ASTM Standards*.
32. **ASTM C 78**, 1994. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), *Annual Book of ASTM Standards*.
33. **Mindess, S. and Young, J.F.**, 1981. *Concrete, Prentice-Hall, Inc.*, New Jersey.
34. **D. McHENRY and J.J. SHIDELER**, 1956. Review of data on effect of speed in mechanical testing of concrete, *ASTM Sp. Tech. Publ. No. 185*, pp. 72-82.
35. **W. H. PRICE**, Feb.1951. Factors influence concrete strength, *J. Amer. Concr. Inst.*, **47**, pp. 417-32.
36. **R. H. EVANS**, 1958. Effect of rate of loading on some mechanical properties of concrete, *Mechanical Properties of Non-metallic Brittle Materials*, pp. 175-90 (London, Butterworth).
37. **P. J. F. WRIGHT**, The effect of the method of test on the flexural strength of concrete, *Mag. Concr. Res.*, **4**, No. 11, pp. 67-76.
38. **J. W. GALLOWAY and K. D. RAITHEY**, 1973. Effects of rate of loading on flexural strength and fatigue performance of concrete, *Transport and Road Research Lab. Rep LR5A1*, pp. 10 (Crowthorne, Berks).
39. **E.C. HIGGINSON, G. B. WALLACE, and E. L. ORE**, 1963. Effect of maximum size of aggregate on compressive strength of mass concrete, *Symp. on Mass Concrete, Amer. Concr. Inst. Sp.Publicn. SP-6*, pp. 219-56.
40. **S. WALKER and D. L. BLOEM**, 1957. Studies of flexural strength of concrete - Part 3: Effects of variations in testing procedures, *Proc. ASTM*, **57**, pp. 1122-39.
41. **D. P. O'CLEARY and J. G. BYRNE**, 18th March 1960. Testing concrete and mortar in tension, *Engineering*, pp. 384-5 (London).
42. **H. RUSCH**, 1955. Versuche zur Festigkeit der Biegedruckzone, *Deutscher Aussch-uss für Stahlbeton, No. 120*.

43. **M. PROT**, July-Aug. 1949. Essais statistiques sur mortiers et bétons, *Annales de l'Institut Technique de Bâtiment et des Travaux Publics*, **No. 81**, Béton, Béton Armé No. 8.
44. **U.S. BUREAU OF RECLAMATION**, June 3, 1963. Effect of maximum size of aggregate upon compressive strength of concrete, *Laboratory Report No. C-1052* (Denver, Colorado).
45. **H. F. GONNERMAN**, 1925. Effect of size and shape of test specimen on compressive strength of concrete, *Proc. ASTM*, **25**, Part II, pp. 237-50.
46. **A. M. NEVILLE**, Oct. 1966. A general relation for strengths of concrete specimens of different shapes and sizes, *J. Amer. Concr. Inst.*, **63**, pp. 1095-109.
47. **R. J. TORRENT**, July-Aug. 1977. A general relation between tensile strength and specimen geometry for concrete-like materials, *Materials and Structures*, **10**, No. 58, pp. 187-96 (Paris).
48. **Griffith. A.A.**, 1921. The Phenomena of rupture and flow in solid. *Transactions of the Royal Society*, **A 221**, 163-179
49. **Irwin, G R.**, 1957. Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate, *J. Appl. Mech.*, **24**, 361-364
50. **Kaplan, M F.**, 1961. Crack propagation and the fracture of concrete, *J. ACI*, **58**, 591-610
51. **Glucklich, J.**, 1963. Fracture of plain concrete, *ASCE J. Engng. Mech.*, **89**, 127-138
52. **Swamy, R N.**, 1979. Fracture mechanics applied to concrete, *Developments in concrete technology-1, Applied science publishers ltd.* 221-281
53. **Bazant, Z. P., and Pfeiffer, P A.**, 1987. Determination of fracture energy properties from size effect and brittleness number, *ACI mater. J.*, **84**, 463-480
54. **Jenq, Y S and Shah, S P.**, 1985. A two-parameter fracture model for concrete, *ASCE J. Engng. Mec.*, **111**, 1227-1241
55. **Nallathambi, P and Karihaloo, B L.**, 1986. Determination of the specimen size independent fracture toughness of plain concrete, *Mag. Concr. Res.*, **38**, 67-76 (Paris) 21, pp. 425-430.
56. **Weibull, W.**, 1939. A statistical theory of the strength of materials, *Royal Swedish Inst. for Engng. Res*, Stockholm.
57. **Yalçın E.**, 2002. Kırılma mekaniği açısından betonarme yapı elamanlarında perçin (kaldıraç) etkisinin ve boyut tesirinin incelenmesi, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

58. **Bazant, Z.P., Kazemi, M.T., Hasegawa, T., Mazars, J.,** 1991. ‘Size effect in Brazilian split-cylinder tests: measurement and fracture analysis’, *ACI Materials Journal*, **88**, 325-332.
59. **Hasegawa, T., Shioya, T., Okada, T.,** 1985. ‘Size effect on splitting tensile strength of concrete’, *Proceedings of the Japan Concrete Institute, 7th Conference*, 309-312.
60. **ACI Report 446.1R91,** 1989. Fracture Mechanics of Concrete: Concepts, Models and Determination of Material Properties, *Am. Conc. Ens*, Detroit.
61. **Kim, J.K., Eo, S.H.,** 1990. ‘Size effect in concrete specimens with dissimilar initial cracks’, *Magazine of Concrete Research*, **42**, 233-238
62. **İnce, R.,** 1994. Çimento bazlı malzemelerin kırılmasında (non-lineer kırılma mekaniği) boyut tesirinin yapay sinir ağları ile incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bil. Ens*, Elazığ
63. **Arslan, A. and Ince, R.,** 1995. The neural network-based analysis of size effect in concrete fracture, *Proceeding of the II. Int. Conf. FRAMCOS-II*, 693-707, Zurich, Switzerland, July 25-28
64. **Carpinteri, A.,** 1994. Scaling laws and renormalization groups for the strength and toughness of disordered materials, *Int. J. Solids Struct*, **31**, 291-302.
65. **Bazant, Z.P., and Prat, P. C.,** 1988. Measurement of mode III fracture energy of concrete. *Nuclear Engineering and Design*, **106**, 1-8.
66. **Tokatly Z. Y. and Barr B.,** 1991. Size effect in Mode III fracture, *Fracture Processes in Concrete, Rock and Ceramics, Published by E & F. N. Spon, London*, 473-482.
67. **Marti, P.,** 1989. ‘Size effect in double-punch tests on concrete cylinders’, *ACI Materials Journal*, **86**, 597-601.
68. **Bazant, Z.P., and Cao, Z.,** 1986a. Size effect in shear failure of prestressed concrete beams. *Am. Concrete Inst. Journal*, **83**, 260-268.
69. **Kim, J. K., Yi, A. T. and Yang, E. I.,** 2000. Size effect on flexural compressive strength of concrete specimens, *ACI Structural J.*, **97**, 291-296.
70. **İnce R. ve Arıcı E.,** 2002. Betonarme sistemlerde yatak mukavemetinde boyut etkisi, *V. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, 25-27 Eylül, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
71. **Bazant, Z.P., and Sun, H-H.,** 1987. Size effect in diagonal shear failure: Influence of aggregate size and stirrups. *ACI Materials Journal*, **84(4)**, 259-272.

72. **Bazant, Z.P., and Cao, Z.**, 1986b. Size effect in brittle failure of unreinforced pipes. *Am. Concrete Institute Journal*, **83**, 365-373.
73. **Bazant, Z.P., and Sener, S.**, 1988. Size effect in pullout tests. *ACI Materials Journal*, **85**, 347-351.
74. **Bazant, Z. P., and Kazemi, M T.**, 1991. Size effect on diagonal shear failure of beams without stirrups, *ACI Struct. J.* **88**, 268-276
75. **Kim, J. K. And Park, Y. D.**, 1994. Shear strength of reinforced high strength concrete beams without web reinforcement, *Magazine of Concrete Res.*, **46 (166)**, 7-16.
76. **İnce, R.**, 1998. Betonarme yapı elemanlarında basınç-kesme kırılmasının ve boyut etkisinin deneysel ve nümerik olarak incelenmesi, *Doktora Tezi, F. Ü. Fen Bilimleri Ens., Elazığ*
77. **İnce R. ve Arslan A.**, 2000. Kesme Açıklığı Kısa Kayma Donatısız Betonarme Kirişlerde Boyut Etkisi, *Tr. J. Engin. Environ. Sci.*, 69-77
78. **İnce R. ve Arslan A.**, 2001. Basınç-Kesme Kırılmasına Maruz Etriyesiz Betonarme Kirişlerde Boyut Etkisi, *F.Ü. Fen ve Müh. Bil. Derg.* **13/2**, 109-116
79. **Şener S., Belgin Ç. Akyıldız A., Okkalı S. Köybaşı**, 1996. Size effect in axially loaded reinforced concrete columns, *Concrete Technology for Developing Countries IV. Int. Conf, EMU, North Cyprus*, 640-646
80. **Kim J. K., Yi S. T., Park C. K. Ve Eo S. H.**, 1999. Size effect on compressive strength of plain and spirally reinforced concrete cylinders, *ACI Struct. J. V. 96, No. 1*, 88-94
81. **Bazant, Z.P., and Şener, S.**, 1987. Size effect in torsional failure of concrete beams. *J. of Struct. Engrg. ASCE*, **113 (10)**, 2125-2136.
82. **Carpinteri A. And Ferro G.**, 1994. Size effect on tensile fracture properties: a unitary explanation based on fractality of concrete microstructure, *Materials and Structures*, **27**, 563-571
83. **İnce R.**, 2001. Kayma Donatısız Betonarme Kirişlerde Boyut Etkisinin Fraktal Modeli, *5. Uluslararası Kırılma Konferansı*, 6-8 Eylül 2001, Elazığ
84. **Carpinteri A. Chiaia B. And Ferro G.**, 1995. Multifractal Scalling Law: an Extensive Application to Nominal Strength Size Effect of Concrete Structures, *Politecnico di Torino, Diretimento di ingegneria strutturale*, Report No. **51**, Torino, Italy.

ÖZGEÇMİŞ

1983 Merkez/Hakkari doğumlu olan Mesut GÖR; ilk, orta ve lise öğrenimini Hakkari’de ve her aşamasında birincilik alarak bitirmiştir. 2001 yılında başladığı Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2005 yılında 74.28/100 diploma notu ile bitirmiştir. 2007 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalında Yüksek Lisansa başladıktan bir yıl sonra 2008 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü Yapı Anabilim Dalında Yüksek Lisans programını kazanmış olup öğrenimine burada devam etmektedir. Sağlık Lisesinde aldığı eğitim dolayısı ile 5 yıl Hakkari 112 Hızır Acil Servisi’nde çalışmış olup 2009 yılında istifa ederek Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalında “Araştırma Görevlisi” olmaya hak kazanmıştır. Yine 2009 yılında M.E.B tarafından verilen Yurtdışı Master/Doktora bursunu kazanmıştır (T.C.D.D adına İngiltere). Ancak Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde akademik hayatına devam etmeyi tercih edip kazandığı burstan vazgeçen Mesut GÖR; halen aynı bölümde “Araştırma Görevlisi” olarak akademik hayatına devam etmektedir.