

# Betonun Birim Ezilme Kısalması ile İlgili Bir İrdeleme

Uğur ERSOY<sup>1</sup>  
Aslı KESER<sup>2</sup>

## ÖZ

Betonarme kesitlerin taşıma güçleri hesaplanırken uygunluk denklemlerinin yazılabilmesi için beton birim ezilme kısalmasının ( $\epsilon_{cu}$ ) bilinmesi gerekmektedir. TS 500'de ve Amerikan Yönetmeliği ACI 318'de birim ezilme kısalması tüm beton sınıfları için 0.003 varsayılmaktadır<sup>[1,2]</sup>. Eurocode'da ise normal dayanımlı betonlar için  $\epsilon_{cu} = 0.0035$  alınmakta, yüksek dayanımlı betonlarda ise  $\epsilon_{cu}$ 'nun beton dayanımı ile değiştiği varsayılmaktadır<sup>[3]</sup>. Bu çalışmada yapılan varsayımların ne derece doğru olduğu irdelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme, taşıma gücü, betonun birim ezilme kısalması.

## ABSTRACT

### A Discussion on the Crushing Strain of Concrete

Ultimate strength of reinforced concrete cross-sections are calculated by writing equilibrium and compatibility equations. Crushing strain of concrete is needed for writing the compatibility equations. In Turkish and American codes, crushing strain of concrete is assumed to be 0.003 for all concrete classes. In Eurocode, crushing strain of concrete is taken as 0.0035 for normal strength concrete. For high strength concrete, crushing strain is assumed to be changing with concrete strength. In this study the validity of assumptions made for crushing strain is discussed.

**Keywords:** Reinforced concrete, ultimate strength, crushing strain of concrete.

## 1. GİRİŞ

Betonarme kiriş ve kolon kesitlerinin taşıma güçleri gerekli denge ve uygunluk denklemlerinden yararlanılarak hesaplanır. Uygunluk denklemleri yazılırken beton birim

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 2 Mayıs 2019 günü ulaşmıştır. 17 Temmuz 2019 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2020 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.560007>

1 Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - [ugur.ersoy@boun.edu.tr](mailto:ugur.ersoy@boun.edu.tr) - <https://orcid.org/0000-0002-0686-3259>

2 Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - [asli.keser@boun.edu.tr](mailto:asli.keser@boun.edu.tr) - <https://orcid.org/0000-0003-1199-2968>

ezilme kısaldması  $\epsilon_{cu}$ 'nun bilinmesi gerekir.  $\epsilon_{cu}$ , yükleme hızı, basınç bölgesinin geometrisi, sargı etkisi, birim deformasyon dağılımının eğimi gibi birçok değişkenden etkilenir. Yönetmeliklerde bu değişkenler dikkate alınmaz. Türk yönetmeliği TS 500'de ve Amerikan yönetmeliği ACI 318'de betonun birim ezilme kısaldmasının dayanım ne olursa olsun 0.003 varsayılması öngörülmektedir<sup>[1,2]</sup>. Eurocode'da ise  $\epsilon_{cu}$ 'un normal dayanımlı betonlar için 0.0035 alınırken, yüksek dayanımlı betonlar için aşağıdaki denklemden hesaplanması öngörülmektedir<sup>[3]</sup>.

$$\epsilon_{cu} = 0.0026 + 0.035(0.90 - 0.01f_{ck})^4 \quad (1)$$

Yukarıda sözü edilen üç yönetmelikte de betonun birim ezilme kısaldmasını etkileyen yükleme hızı, basınç bölgesinin geometrisi, sargı etkisi, birim deformasyon dağılımının eğimi gibi değişkenler dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla yönetmeliklerde verilen değerler tartışmaya açıktır. Bu çalışmada, yönetmeliklerde  $\epsilon_{cu}$  için yapılan varsayımların ne denli gerçekçi olduğu araştırılacaktır.

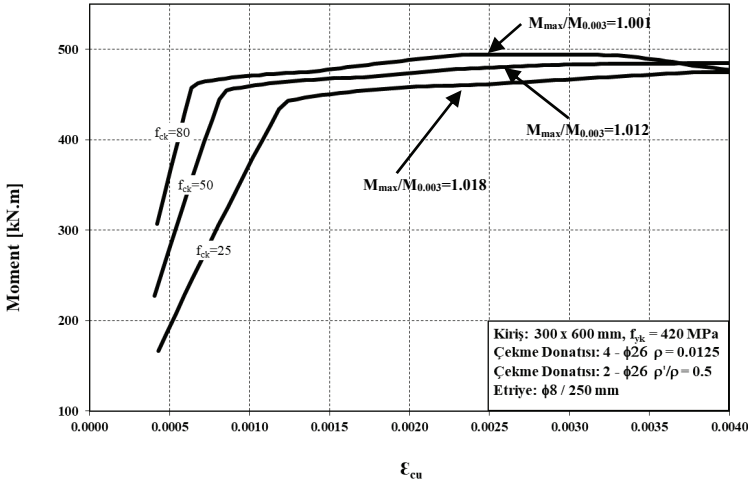
## 2. YÖNTEM

Bir yaklaşık yöntemin veya yapılan bir varsayımın ne denli gerçekçi olduğunu anlamak için kesin çözümün var olması gerekir. Betonarmede maalesef kesin çözümden söz etmek olası değildir. Betonarmenin gerçek davranışını pek bilmeyenlerin “kesin çözüm” olarak sundukları çözümler kesin olmayıp birtakım varsayımlara dayanmaktadır. Bu nedenle karşılaştırmada kullanılacak yöntem “kesin yöntem” değil, “daha doğru yöntem” olarak adlandırılacaktır. Bu çalışmada, kiriş ve kolon kesitleri için daha gerçekçi malzeme modelleri kullanılarak değişik  $\epsilon_{cu}$  değerleri için moment kapasiteleri hesaplanacaktır. Bu yaklaşımla oluşacak M- $\epsilon_{cu}$  eğrilerinin tepe noktasındaki moment, kesitin maksimum taşıma gücü momentini olacak ve bu moment yönetmeliklerde öngörülen  $\epsilon_{cu}$ 'ya karşılık gelen momentlerle karşılaştırılacaktır. Betonarme kesitlerin moment kapasitelerinin hesabı için Ersoy ve Özcebe tarafından geliştirilen bir yazılım kullanılacaktır<sup>[4]</sup>. “Sargılı” olarak adlandırılan bu yazılımda moment ve eğrilik hesaplanmaktadır. Yazılımda beton için *Geliştirilmiş Kent-Park modeli*, donatı çeliği için ise pekleşmeli bir model kullanılmaktadır. Burada irdelenen üç yönetmelikte de sargı etkisi dikkate alınmamıştır. Bu nedenle ilk aşamada “Sargılı” yazılımının girdisinde kesitlerde sargı etkisi oluşturmayacak kadar az enine donatı bulundurulmaktadır.

## 3. KİRİŞ KESİTLERİ

Denge altı kiriş kesitlerinde oluşan moment kapasitelerinin  $\rho'/\rho$  ve  $\epsilon_{cu}$ 'ya fazla duyarlı olmayacağı açıktır. *Şekil-1'*de bir kiriş kesitinde üç beton sınıfı için taşıma gücü momentinin  $\epsilon_{cu}$  ile değişimi gösterilmiştir. Elde edilen maksimum momentin  $\epsilon_{cu} = 0.003$  varsayımı ile hesaplanan taşıma gücü momentine oranı eğriler üzerinde gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi  $\epsilon_{cu} = 0.003$  varsayımı ile hesaplanan moment kapasiteleri ile maksimum moment arasındaki fark %2'yi geçmemektedir. Bu tür bir karşılaştırmanın Eurocode için yapılmasına gerek duyulmamıştır, çünkü *Şekil-1'*den görüleceği gibi  $\epsilon_{cu} \geq 0.002$  için taşıma gücü

momenti hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu nedenle maksimum momentin Eurocode'dan elde edilen momente oranı TS 500 ile elde edilenden farksız olacaktır.



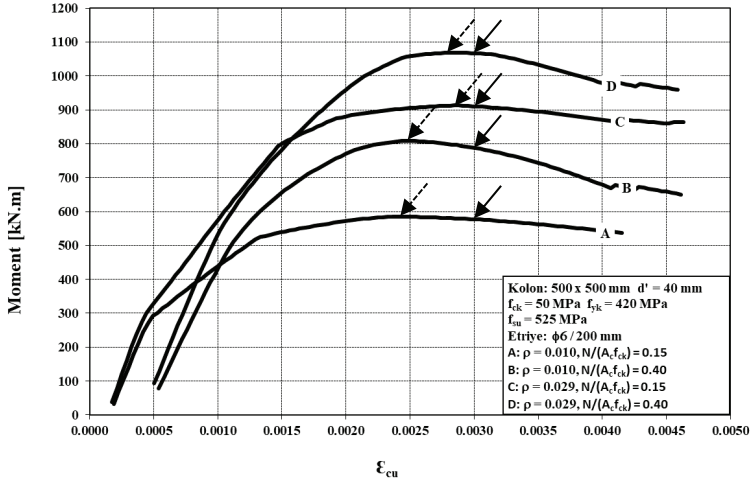
Şekil 1 - Kiriş kesitlerinde moment kapasitelerinin  $\epsilon_{cu}$  ile değişimi

#### 4. KOLON KESİTLERİ

Bu çalışmada S420 çeliği kullanıldığı ve sargı etkisi olmadığı varsayıldığı için taşıma gücünü etkileyen değişkenler üçe inmiştir: beton dayanımı, eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı. Bu çalışmada beş beton dayanımı (25, 40, 50, 60 ve 80 MPa) dikkate alınmıştır. Her beton dayanımı için boyuna donatı oranı  $\rho_t = 0.010$  ve  $\rho_t = 0.029$ , eksenel yük düzeyi  $N/(A_c f_{ck})$  ise 0.15 ve 0.40 alınarak dört M- $\epsilon_{cu}$  eğrisi oluşturulmuştur. Örnek olarak  $f_{ck} = 50$  MPa için elde edilen eğriler Şekil-2'de gösterilmiştir.

Bu eğrilerden elde edilen maksimum momentin,  $\epsilon_{cu} = 0.003$ 'e karşılık gelen momente oranı Çizelge-1'in 4. kolonunda verilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği gibi  $\epsilon_{cu} = 0.003$  varsayımıyla hesaplanan moment kapasitesi ile maksimum moment arasındaki en büyük fark, normal dayanımlı betonlar için %2.6, yüksek dayanımlı betonlar için ise %8.8 olmakta, ancak genelde %5'i geçmemektedir. Genelde boyuna donatı oranı arttıkça maksimum momentle  $\epsilon_{cu} = 0.003$ 'e göre hesaplanan moment arasındaki fark azalmaktadır. Öte yandan beton dayanımı arttıkça maksimum momentle  $\epsilon_{cu} = 0.003$ 'e karşılık gelen moment arasındaki farkın arttığı görülmektedir.

Maksimum momentin Eurocode'a göre hesaplanan momente oranı ise Çizelge-1'in 5. kolonunda verilmiştir. Çizelge-1'in 4. ve 5. kolonları karşılaştırıldığında, normal dayanımlı betonlarda TS 500'ün, yüksek dayanımlı betonlarda ise Eurocode'un daha iyi sonuç verdiği görülecektir. Özetlemek gerekirse, taşıma gücü momenti betonun ezilme birim kısalması 0.003 alınarak da hesaplanırsa, Eurocode varsayımlarına göre de hesaplanırsa bunların maksimum momentten farkı kabul edilebilir düzeylerde kalmaktadır.



Şekil 2 - Kolon kesitlerinin taşıma gücü momentlerinin  $\epsilon_{cu}$  ile değışimi ( $f_{ck} = 50$  MPa)

Çizelge 1 - Kolon kesitlerinin moment kapasiteleri (sargısız)(\*)

$f_{ck}$ [MPa]	$\rho_t$	$N/A_c f_{ck}$	$M_{max}/M_{0.003}$	$M_{max}/M_{euro}$
25	0.010	0.15	1.000	1.007
25	0.010	0.40	1.001	1.019
25	0.029	0.15	1.001	1.000
25	0.029	0.40	1.001	1.001
40	0.010	0.15	1.004	1.021
40	0.010	0.40	1.006	1.046
40	0.029	0.15	1.001	1.011
40	0.029	0.40	1.000	1.022
50	0.010	0.15	1.013	1.040
50	0.010	0.40	1.026	1.086
50	0.029	0.15	1.003	1.021
50	0.029	0.40	1.001	1.034
60	0.010	0.15	1.022	1.017
60	0.010	0.40	1.036	1.024
60	0.029	0.15	1.004	1.000
60	0.029	0.40	1.005	1.002
80	0.010	0.15	1.044	1.015
80	0.010	0.40	1.088	1.023
80	0.029	0.15	1.020	1.004
80	0.029	0.40	1.044	1.006

(\*)Etriye: NDB için  $\phi 6/200$  mm YDB için  $\phi 8/200$  mm

Daha önce belirtildiği gibi yönetmeliklerde betonların birim ezilme kısılmaları için verilen değerler saptanırken sargı etkisi dikkate alınmamıştır. Birim ezilme kısılmasının sargıya göre değiştirilmesinin pratik olmayacağı açıktır. Ancak bilindiği gibi bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde yönetmelik gerek kirişlerde, gerekse kolonlarda sargıyı zorunlu kılmaktadır. Çizelge-2’de verilen kolon kesitleri Çizelge-1’dekilerle aynıdır. Aradaki tek fark Çizelge-2’deki kesitlerin 2 –  $\phi 10/100$  mm sargıya sahip olmalarıdır. Çizelge-2’den görüleceği gibi kesitler Eurocode varsayımlarına göre de hesaplınsa, TS 500 varsayımlarına göre de hesaplınsa maksimum momentle fark, yaklaşık %5’ü geçmemektedir.

Çizelge 2 - Kolon kesitlerinin moment kapasiteleri (sargılı)(\*\*)

$f_{ck}$ [MPa]	$\rho_t$	$N/Acf_{ck}$	$M_{max}/M_{0.003}$	$M_{max}/M_{euro}$
25	0.010	0.15	1.023	1.021
25	0.010	0.40	1.006	1.000
25	0.029	0.15	1.055	1.045
25	0.029	0.40	1.030	1.011
40	0.010	0.15	1.000	1.006
40	0.010	0.40	1.002	1.015
40	0.029	0.15	1.021	1.025
40	0.029	0.40	1.002	1.000
50	0.010	0.15	1.005	1.018
50	0.010	0.40	1.008	1.034
50	0.029	0.15	1.007	1.017
50	0.029	0.40	1.001	1.010
60	0.010	0.15	1.012	1.009
60	0.010	0.40	1.011	1.006
60	0.029	0.15	1.002	1.001
60	0.029	0.40	1.002	1.001
80	0.010	0.15	1.031	1.010
80	0.010	0.40	1.038	1.008
80	0.029	0.15	1.009	1.000
80	0.029	0.40	1.010	1.003

(\*\*)Etriye: 2 –  $\phi 10/100$  mm

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada basit eğilmede, yani kiriş kesitlerinde taşıma gücü momentinin beton birim ezilme kısılmasına duyarlı olmadığı ve  $\epsilon_{cu} \geq 0.002$  durumunda taşıma gücü momentinin sabit kaldığı görülmüştür. Bu durumda TS 500 ve Eurocode varsayımları ile özdeş taşıma gücü momentleri elde edilecektir.

Sargısız betonarme kolon kesitlerinde normal dayanımlı betonlar için  $\epsilon_{cu} = 0.003$  varsayımı ile elde edilen taşıma gücü momentinin maksimum momentten farkının en fazla %2.6 olduğu görülmüştür. Yüksek dayanımlı betonlarda bu fark bir istisna dışında %5’i geçmemektedir.

Eurocode'daki varsayımlarla hesaplanan taşıma gücü momentinin maksimum momentten farkı normal dayanımlı betonlarda %8.6'ya kadar çıkmakta, yüksek dayanımlı betonlarda ise bu fark %3'ü geçmemektedir.

Çizelge-2'deki kesitler 2 –  $\phi 10/100$  mm sargı donatısına sahiptir. Görüldüğü gibi maksimum momentler ve TS 500'e göre hesaplanan taşıma gücü momentleri arasındaki en büyük fark %5.5 olmakta, genelde %3'ü geçmemektedir. Eurocode'a göre hesaplanan taşıma gücü momentlerinin maksimum momentlerden farkı ise iki istisna dışında %3'ü geçmemektedir.

Bu çalışmada kesit taşıma gücünün hesabı için "Sargılı" adlı yazılımdan yararlanılmıştır. Bu yazılımda betonun gerilme - birim kılma ilişkisi için *Geliştirilmiş Kent – Park modeli* kullanılmıştır. Başka beton modelleri kullanıldığında *Çizelge-1* ve *Çizelge-2*'de verilen oranlar bir miktar etkilenecek, ancak bu değişimler varılan yargıları etkileyecek büyüklükte olmayacaktır.

Özetle, bu çalışmada beton birim ezilme kısılması için TS 500'de yapılan  $\epsilon_{cu} = 0.003$  varsayımının, tüm beton dayanımları için kullanılabileceği ve bu yapıldığında moment kapasitesindeki hatanın kabul edilebilir sınırlar içinde kalacağı görülmüştür. Yazarlar TS 500'de bu konuda bir değişiklik yapılmasına gerek olmadığı kanısındadır.

### Semboller

$A_c$  – Beton kesit alanı

$f_{ck}$  – Betonun karakteristik basınç dayanımı

$M_{max}$  – Kesitin en büyük taşıma gücü momentini

$M_{0.003}$  – Birim kılma 0.003'e karşılık gelen taşıma gücü momentini

$M_{euro}$  – Eurocode'da varsayılan birim kılalmaya karşılık gelen taşıma gücü momentini

$N$  – Eksenel kuvvet

$\epsilon_{cu}$  – Betonun birim ezilme kısılması

$\rho$  – Kiriş çekme donatısı oranı

$\rho'$  – Kiriş basınç donatısı oranı

$\rho_t$  – Kolon kesitindeki boyuna donatı oranı

### Kaynaklar

- [1] "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000
- [2] "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M)" American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 2007

- [3] “Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1, General Rules and Rules for Buildings” European Standard EN 1992-1-1, 2004
- [4] Ersoy, U. ve Özcebe G., “Betonarme, Gözden Geçirilmiş II. Baskı, Evrim Yayınları, İstanbul, 2004

