

Python Programlama Dili ile Betonarme Kirişlerin Şekildeğiştirme Sınırlarının İrdelenmesi

*Aydın Demir

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Özet

Bu çalışmada betonarme binalarda kesit bazında şekildeğiştirme ve plastik dönme sınırlarının uygulayıcı mühendisler tarafında gerçekçi olarak anlaşılması ve tespit edilebilmesine katkı sağlanarak, deprem afetiyle oluşabilecek can ve mal kaybı riskinin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmada, öncelikle TBDY-2019'da şekildeğiştirme sınırları için yeni getirilen hususlar açıklanmış ve DBYBHY-2007'dan farkları gösterilmiştir. Daha sonra, gerçekleştirilen sayısal çalışmada, yönetmeliklerde betonarme kirişlerin tasarımı için verilen sınırlar dikkate alınarak farklı geometri, malzeme ve donatı özellikleri olan betonarme kiriş elemanları tasarlanmıştır. Türkiye'deki mevcut yapı stokunda yönetmeliklerde belirtilen kriterlere uyan elemanların davranışlarının incelenmesi için malzeme dayanımı yetersiz ve enine ve boyuna donatı oranları düşük betonarme kirişler de eleman matrisine eklenmiştir. Tüm elemanların şekildeğiştirme ve plastik dönme sınırları ilgili yönetmeliklere göre hesaplanmıştır. Bu hesaplarda kullanılmak amacıyla Python programlama dilinde bir bilgisayar kodu da yazılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar; enine ve boyuna donatı oranı, beton basınç dayanımı açısından parametrik olarak incelenerek betonarme kirişlerin şekildeğiştirme ve plastik dönme sınırlarına bu parametrelerinin etkileri irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Python, betonarme kiriş, şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım, şekildeğiştirme sınırları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

Abstract

This study aims to reduce the risk of casualties and economic losses due to seismic hazards by contributing to engineers in practice better understand of the strain and plastic rotation acceptance criteria. In the study, firstly, the new prescriptions of TSC-2019 for acceptance criteria were explained, and then its differences from TSC-2007 were shown. Afterward, reinforced concrete sections considering different geometry, material, and reinforcement were created by considering code requirements in the conducted analytical study. Nonconforming reinforced concrete beam sections were also included in the member matrix to investigate the behavior of those kinds of members. A Python script was developed to calculate the sections' strain and plastic rotation acceptance limits according to the relevant seismic codes. The results were compared in terms of longitudinal and lateral reinforcement ratio, and compressive strength of concrete. The effect of those parameters on the acceptance criteria of the beams was evaluated.

Key words: Python, reinforced concrete beam, deformation-based design and evaluation, acceptance criteria, Turkish Seismic Code

1. Giriş

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 [1] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019' da [2] mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem etkisi altındaki

performanslarının değerlendirilmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Yine deprem sonrası hasarlı bir binanın güçlendirilmesi ve güçlendirilmiş bu binanın sismik performansının belirlenmesi için bu yöntemler kullanılabilir. Bununla birlikte, yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesinde de TBDY-2019 yönetmeliğinde verilen doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Bu yönetmeliğe göre doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin amacı; “verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet taleplerinin hesaplanmasıdır.” Hesaplanan talep büyüklükleri, şekil değiştirme sınırları ile karşılaştırılarak binanın yapısal performans değerlendirilmesi yapılmaktadır [2].

TBDY-2019’ da verilen şekil değiştirme sınırlarında DBYBHY-2007’ ye göre oldukça önemli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişikliklerin oldukça kapsamlı ve karmaşık olduğu gözükmektedir. Bu hususların uygulayıcı mühendisler tarafından doğru olarak anlaşılması ve uygulanması binaların sismik performans değerlendirilmesinin daha gerçekçi olarak yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum ülkemizde deprem afetinden oluşabilecek can ve mal kaybı riskinin azaltılması açısından da oldukça önemlidir. Ancak, literatürde yeni deprem yönetmeliğinin genel konuları için açıklamalar ve uygulama örnekleri için bir kaynak bulunmasına rağmen [3] performansa dayalı tasarım ve değerlendirme bölümleri için halen bir kaynak bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışmanın amacı; uygulayıcı mühendisler tarafından TBDY-2019’ da verilen şekil değiştirme sınırlarının gerçekçi olarak anlaşılması ve uygulanmasına katkı sağlanarak deprem afeti sebebiyle oluşabilecek can ve mal kaybı riskinin azaltılmasıdır. Bu amaca ulaşmak için üç temel hedef belirlenmiştir. Bunlardan birincisi, DBYBHY-2007 ve TBDY-2019’ da verilen şekil değiştirme sınırlarının karşılıklı olarak irdelenerek TBDY-2019’ da getirilen farklılık ve yeniliklerin ortaya konulmasıdır. İkincisi ise, bu hesaplarda kullanılacak yardımcı bir bilgisayar kodunun hazırlanmasıdır. Son olarak ise, literatürde var olan eksikliğin giderilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

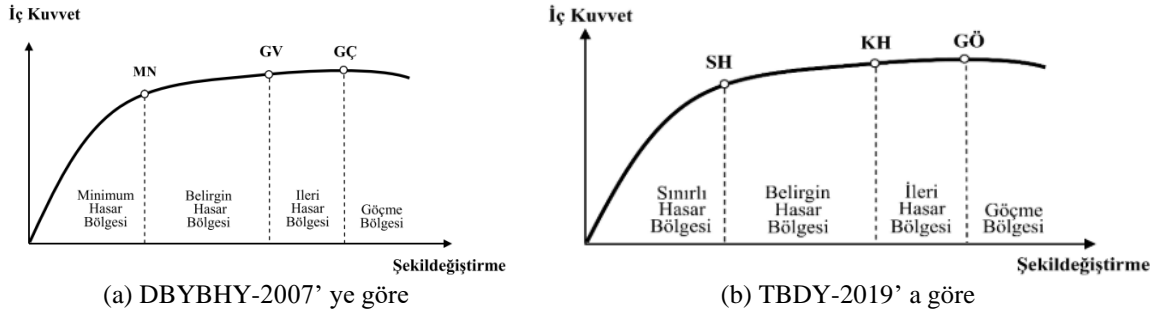
Literatürde; İnel vd. [4] betonarme elemanların doğrusal ötesi davranışlarının bilgisayar ortamında modellenmesi için bir yazılım geliştirmiştir. Aydemir vd. [5] betonarme kolonların hasar sınır eğriliklerinin belirlenmesi amacıyla sayısal bir çalışma gerçekleştirmiştir. 2007 ve taslak 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesini Tunç ve Tanfener [6] tarafından yapılmıştır. Keskin ve Bozdoğan [7] 2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerini Kırklareli ili özelinde karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Foughi ve Yüksel [8] betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarını araştırılmışlardır. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019 deprem yönetmeliklerini kesit hasar limitleri açısından karşılaştırılması Ulutaş [9] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Yapıların performans değerlendirilmesinde sonlu elemanlar yazılımları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut ticari yazılımların yüksek lisans ücretleri, araştırmacıları ve uygulayıcı mühendisleri ücretsiz lisanslı açık kaynak kodlu yazılımlara yönelmektedir. Bu yazılımların başında da dünyada son yıllarda kullanımı giderek artan Python [10] bilgisayar programlama dili gelmektedir. Python; 1990 yılında ilk sürümü yayınlanmış, genel amaçlı, nesne tabanlı ve hızlı uygulama geliştirilebilen bir programlama dilidir [11]. Python pek çok farklı mühendislik uygulamasında kullanılmakta ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışmada da hazırlanan yardımcı bilgisayar kodu Python programlama dili kullanılarak yazılmıştır.

Özetle bu çalışmada, öncelikli olarak DBYBHY-2007 ve TBDY-2019' da verilen şekildeğiştirme sınırlarının karşılıklı olarak irdelenerek TBDY-2019' da getirilen farklılık ve yenilikler açıkça ortaya konulmuştur. Daha sonra, gerekli hesapların yapılabilmesi için yardımcı bir bilgisayar kodu hazırlanmıştır. Son kısımda ise, oluşturulan dikdörtgen betonarme kiriş elemanları üzerinde sayısal bir çalışma gerçekleştirilerek DBYBHY-2007 ve TBDY-2019' da verilen şekildeğiştirme sınırları karşılıklı olarak irdelenmiştir. Ayrıca enine donatı oranı, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımındaki değişimin eleman hasar sınırına etkisi incelenmiştir.

2. Şekildeğiştirme Sınırlarının Belirlenmesi

Her iki yönetmelikte sünek yapısal elemanlar için kesit bazında üç hasar durumu ve sınırı verilmiştir. Bunlar DBYBHY-2007' de; minimum hasar sınırı (MN), güvenlik sınırı (GV) ve göçme sınırı (GÇ) olarak verilmiştir (Şekil 1a). TBDY-2019' da ise; sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçmenin önlenmesi (GÖ) sınır durumlarıdır. Sınırlı hasar durumu; elemanda sınırlı oranda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar durumu; kesitin güvenli olarak gerçekleştirebileceği elastik ötesi davranışı ve son olarak göçme öncesi hasar durumu; elemanda ileri düzeyde elastik ötesi davranışı temsil etmektedir. Kesit hasarı SH'ye ulaşmayan elemanlar sınırlı hasar bölgesinde, SH ile KH arasında kalan kesitler belirgin hasar bölgesinde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde, GÖ'yü aşan elemanlar ise göçme bölgesinde yer alırlar (Şekil 1.b). Her iki yönetmelikte de kesme etkisiyle gevrek hasar oluşan elemanlarda bu sınıflandırmalar geçerli değildir.



Şekil 1. Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY-2007; TBDY-2019)

Kolon, kiriş gibi betonarme taşıyıcı sistem elemanların doğrusal olmayan davranışları yayılı plastik davranış ve yığılı plastik davranış modelleri kullanılarak modellenebilmektedir [12-13]. Her iki modele göre deprem yönetmeliklerinde verilen hesap yöntemleri Tablo 1' de özetlenmiştir. Tabloda; ε_c : beton basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_s : donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi, θ_p : kesitteki plastik dönme, ρ_s : kesitteki boyuna donatı oranı, ρ_{min} : kesitteki minimum boyuna donatı oranı, ω_{we} : etkin sargı donatısının mekanik donatı oranına karşılık gelmektedir. Diğer ifadeler ilgili yönetmeliklerde açıklanmıştır.

Her iki yönetmelikte verilen hususlar birbirleri ile karşılaştırıldığında TBDY-2019' da kesit hasar sınırları için verilen esasların DBYBHY-2007' de verilen hususlara göre oldukça ayrıntılı ve kapsamlı olduğu açıkça görülmektedir. DBYBHY-2007' de kesit hasar sınırı olarak sadece beton

ve donatıdaki birim şekildeğiştirmeler dikkate alınırken, TBDY-2019’ da beton ve donatıdaki birim şekildeğiştirmelere ilave olarak kesitteki plastik dönmeler içinde sınır getirilmiştir. TBDY-2019’ da verilen sınır değerlerin (kesit kapasitelerinin) hesabı için her bir elemanın sargılı ve sargısız beton malzeme modellerinin ve Moment - Eğrilik (ME) ilişkisinin çıkartılması gerekmektedir.

Tablo 1. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019’ a göre şekil değiştirme hasar sınırları

Model	Parametre	Yönetmelik	Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	Kontrollü Hasar (KH)	Sınırlı Hasar (SH)
Yayıllı plastik davranış	ε_c	DBYBHY-2007	$0,004 + 0,014\rho_s/\rho_{min} \leq 0,018$	$0,0035 + 0,01\rho_s/\rho_{min} \leq 0,0135$	0,0035
		TBDY-2019	$0,0035 + 0,07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018$	$0,75\varepsilon_c^{(GÖ)}$	0,0025
	ε_s	DBYBHY-2007	0,0600	0,0400	0,0100
		TBDY-2019	$0,4\varepsilon_s$	$0,75\varepsilon_s^{(GÖ)}$	0,0075
Yığıllı plastik davranış	θ_p	TBDY-2019	$2/3 [(\phi_u - \phi_y)L_p(1 - 0,5L_p/L_s) + 4,5\phi_u d_b]$	$0,75\theta_p^{(GÖ)}$	0

3. Yöntem

Çalışmada ilk olarak, TS-500 [14], DBYBHY-2007 ve TBDY-2019 yönetmeliklerinde malzeme, kesit ve donatı özellikleri açısından dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin tasarımı için verilen hususlar dikkate alınarak betonarme kiriş kesitleri oluşturulmuştur. Ayrıca, Türkiye’deki yapı stokunda beton dayanımı düşük, boyuna ve enine donatı oranları yetersiz kiriş elemanlarına sıklıkla rastlanılmaktadır [15]. Bu sebeple incelenecek eleman matrisine mevcut yapı stokunun özelliklerinin temsil edilebilmesi amacıyla yukarıda belirtilen yönetmeliklerde istenilen hususlara uymayan elemanlar da eklenmiştir.

Daha sonra, tasarlanan kesitlerin plastik dönme kapasitelerinin hesabında kullanılmak üzere Moment - Eğrilik ilişkileri çıkartılmıştır. ME ilişkisinin elde edilmesinde SAP2000 [16] programının “section designer” modülü kullanılmıştır. Elde edilen ME grafiği programın yine programın aynı modülünde Caltrans Modeli (Caltrans Idealized Model) [17] kullanılarak idealize edilmiştir. Daha sonra, idealize edilmiş eğri üzerinde, idealize edilmiş akma eğriliği (ϕ_y) ve maksimum eğrilik (ϕ_u) değerleri okunmuştur.

Kesitlerin şekildeğiştirme ve plastik dönme sınırlarının hesaplanması için Python programlama dilinde bir bilgisayar kodu yazılmıştır. İlgili koda kesitlerin, geometri, malzeme, donatı özellikleri ve ME ilişkisinden elde edilmiş olan ϕ_y ve ϕ_u değerleri girdi olarak girilmektedir. Hazırlanan kod, kesitlerin hasar sınırlarını program ekranına ve bir Excel dosyasına yazmaktadır. Kod içerisinde, girilmesi gereken parametrelerin açıklamaları da yazılmış olup yazılan kod Ek’ de verilmiştir.

Çalışmada, TBDY-2019' a göre hesaplanan şekildeğiştirme üst sınırlarının geçerli olması amacıyla kesitin kesme kuvveti oranının (V_e/bdf_{ctm}) 0.65 ten küçük olduğu kabul edilmiştir. Burada; V_e ; tasarıma esas kesme kuvveti, b ; gövde genişliği ve f_{ctm} ; betonun çekme dayanımını temsil etmektedir. Ayrıca, kesitlerde nervürlü donatı kullanıldığı ve etriyelerin 135 derece bükülmüş oldukları kabul edilmiştir. Kirişlerde eksenel kuvvet bulunmamaktadır. Kullanılan beton malzemesinin TS-500'e göre sadece normal dayanımlı beton ($f_{ck} < 50$ MPa) olduğu dikkate alınmış olup, yüksek dayanımlı beton malzemesi çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Ayrıca betonun sargılı ve sargısız gerilme - şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesi için TBDY-2019 Bölüm EK 5A.1'de verilen beton modeli kullanılmıştır. Sargısız betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0,0035 ve sargılı betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi limit değeri ($\epsilon_{cu(limit)}$) 0,018 olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan betonların elastisite modülü ve karakteristik basınç dayanımı için TS-500'de verilen değerler dikkate alınmıştır. Hesaplar kirişlerin sadece sarılma bölgeleri için yapılmıştır ve analizler kesitlerin güçlü olduğu düşey doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte çalışmada, S420 donatı çeliği kullanılmış olup donatı çeliğinin pekleşmesi dikkate alınmıştır. Donatının akma dayanımı (f_{sy}): 420 MPa, pekleşmenin başladığı nokta (ϵ_{sh}): 0,008, elastisite modülü (E_s): 200 GPa, donatının maksimum birim şekildeğiştirmesi (ϵ_{su}): 0,08 ve maksimum çekme dayanımı (f_{su}): 525 MPa olarak seçilmiştir.

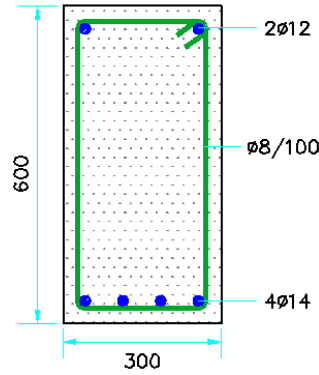
4. Sayısal Çalışma

Sayısal çalışmada, 14 adet farklı dikdörtgen kesitli betonarme kiriş elemanı oluşturulmuştur. Oluşturulan eleman matrisi Tablo 2' de gösterilmiştir. Tabloda RC1 ve RC9 elemanları hem DBYBHY-2007 hem de TBDY-2019' da dikdörtgen betonarme kirişler için verilen sınır değerlere uymamaktadır. Bu elemanlar ile Türkiye'deki mevcut yapı stokunun temsil edilmesi hedeflenmiştir. Eleman matrisindeki diğer elemanlar ise kesit geometrisi, enine ve boyuna donatı oranları ve malzeme özellikleri açısından her iki yönetmelikte verilen hususlara uyularak tasarlanmıştır. Bu sayede yeni yapılacak bina türü yapıların kiriş elemanlarının temsil edilmesi hedeflenmiştir. Kiriş boyu (L), net beton örtüsü kalınlığı (c_{cl}) ve etriye çapı (ϕ_w) tüm kesitlerde aynı olacak şekilde sırasıyla 4 m, 25 mm ve 8 mm olarak seçilmiştir. Tüm kesitlerde basınç donatısı olarak $2\phi 12$ boyuna donatı kullanılmıştır. RB09 kiriş kesiti için örnek kesit detay çizimi Şekil 2' de gösterilmiştir.

Her bir kesit için Moment - Eğrilik analizi sonrası elde edilen akma (κ_y) ve maksimum eğrilik (κ_u) değerleri Tablo 2' de verilmiştir. Tabloda b : kesit genişliğini, h : kesit yüksekliğini, A_c : kesit alanını, n_t , ϕ_t ve ρ_t : kesitteki çekme donatısının adedini, çapını ve oranını göstermektedir. Ayrıca, s : etriye aralığını ve ρ_{sh} : kesitte düşey doğrultudaki enine donatının hacimsel oranını göstermektedir. Bununla birlikte, Ek' de verilmiş olan Python kodunda kesitin nasıl tanımlanabileceğinin gösterilmesi amacıyla RB14 kesiti için veri girişi örnek olarak verilmiştir.

Tablo 2. Sayısal çalışma eleman matrisi

Kesit	b	h	A_c	f_{ck}	n_t	ϕ_t	ρ_t	s	ρ_{sh}	κ_y	κ_u
	mm	mm	mm ²	MPa	adet	mm		mm		1/m	1/m
RB01	250	500	125000	25	3	14	0.0040	200	0.0011	0.00787270	0.1803
RB02	250	500	125000	25	3	14	0.0040	100	0.0023	0.00788844	0.1802
RB03	250	500	125000	25	3	14	0.0040	50	0.0045	0.00791661	0.1875
RB04	250	500	125000	16	3	14	0.0040	100	0.0023	0.00820863	0.1895
RB05	250	500	125000	35	3	14	0.0040	100	0.0023	0.00722664	0.1934
RB06	250	500	125000	25	2	12	0.0020	100	0.0023	0.00723799	0.1830
RB07	250	500	125000	25	4	18	0.0089	100	0.0023	0.00804154	0.1158
RB08	300	600	180000	25	4	14	0.0037	200	0.0009	0.00639369	0.1567
RB09	300	600	180000	25	4	14	0.0037	100	0.0019	0.00646212	0.1465
RB10	300	600	180000	25	4	14	0.0037	50	0.0037	0.00649369	0.1531
RB11	300	600	180000	16	4	14	0.0037	100	0.0019	0.00676118	0.1542
RB12	300	600	180000	40	4	14	0.0037	100	0.0019	0.00626115	0.1526
RB13	300	600	180000	25	2	12	0.0013	100	0.0019	0.00579753	0.1460
RB14	300	600	180000	25	5	18	0.0076	100	0.0019	0.00614042	0.1222



Şekil 2. Örnek kesit detay çizimi (RB09 Kesiti)

5. Analiz Sonuçları ve Tartışma

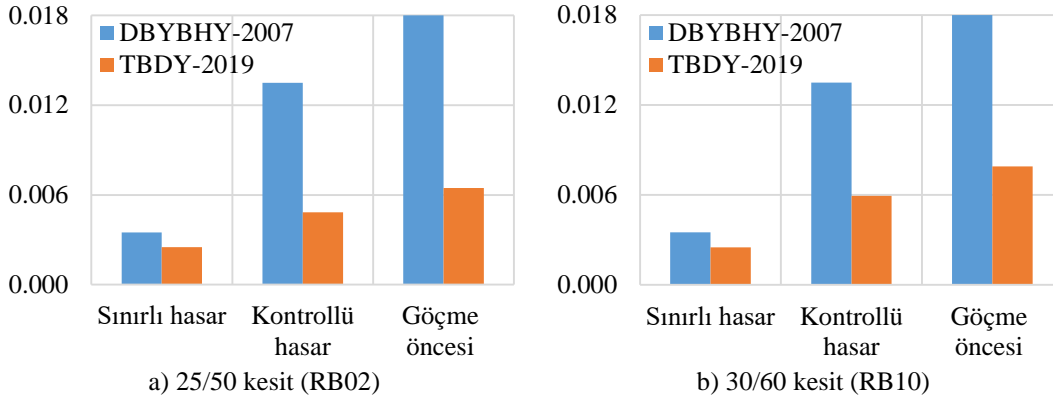
Sayısal çalışma sonucunda DBYBHY-2007 ve TBDY-2019 göre hesaplanan beton ve donatı birim şekildeğiştirme ve TBDY-2019 göre hesaplanan kesit plastik dönme hasar sınırları Tablo 3’de verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi, kesitte sınırlı hasar durumunda beton birim şekildeğiştirmesi için DBYBHY-2007 ve TBDY-2019 yönetmeliğinde sırasıyla 0,0035 ve 0,0025 sabit değerler olarak verilmiştir. TBDY-2019’ a göre sınırlı hasar bölgesindeki kesitte plastik dönme oluşmaması gerekmektedir. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019 yönetmeliklerine göre hesaplanan beton ve donatı birim şekildeğiştirme hasar sınırları karşılaştırıldığında tüm kesitler için ve tüm hasar sınırları için beton ve donatı birim şekildeğiştirme hasar sınırları TBDY-2019’ da DBYBHY-2007’ye göre oldukça azalmıştır. Bu durumun, farklı geometri ve donatı özelliklerine sahip her iki kesit içinde benzer olduğu görülmüştür (Şekil 3 ve 4). DBYBHY-2007 ye göre kesit, enine ve boyuna donatı ve malzeme özellikleri açısından minimum değerlere uyulduğu zaman kesit hasar sınırları maksimum kapasiteye (sınır değere) ulaşmaktadır. Kesit özellikleri ne kadar arttırılırsa attırılınsın bu sınır değerler sabit değer olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 3. Sayısal çalışma sonuçları

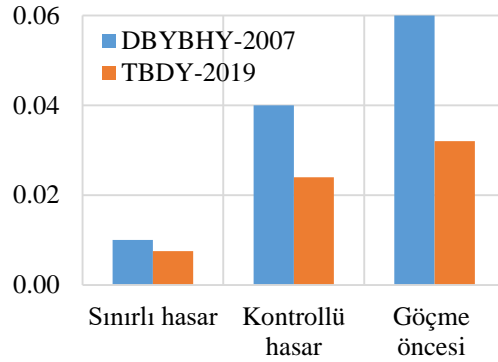
Kesit	Hasar Sınırı	Birim Şekildeğiştirme				Plastik Dönme [rad]
		Beton		Donatı		
		DBYBHY-2007	TBDY-2019	DBYBHY-2007	TBDY-2019	
RB01	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0090	0.0038	0.0400	0.0240	0.0259
	Göçme öncesi	0.0117	0.0051	0.0600	0.0320	0.0345
RB02	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0048	0.0400	0.0240	0.0259
	Göçme öncesi	0.0180	0.0065	0.0600	0.0320	0.0345
RB03	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0061	0.0400	0.0240	0.0270
	Göçme öncesi	0.0180	0.0082	0.0600	0.0320	0.0359
RB04	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0054	0.0400	0.0240	0.0272
	Göçme öncesi	0.0180	0.0072	0.0600	0.0320	0.0363
RB05	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0045	0.0400	0.0240	0.0279
	Göçme öncesi	0.0180	0.0060	0.0600	0.0320	0.0372
RB06	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0047	0.0400	0.0240	0.0255
	Göçme öncesi	0.0180	0.0062	0.0600	0.0320	0.0341
RB07	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0049	0.0400	0.0240	0.0173
	Göçme öncesi	0.0180	0.0066	0.0600	0.0320	0.0231
RB08	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0090	0.0039	0.0400	0.0240	0.0258
	Göçme öncesi	0.0117	0.0051	0.0600	0.0320	0.0344
RB09	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0048	0.0400	0.0240	0.0240
	Göçme öncesi	0.0180	0.0064	0.0600	0.0320	0.0321
RB10	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0059	0.0400	0.0240	0.0252
	Göçme öncesi	0.0180	0.0079	0.0600	0.0320	0.0336
RB11	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0053	0.0400	0.0240	0.0253
	Göçme öncesi	0.0180	0.0071	0.0600	0.0320	0.0338
RB12	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0043	0.0400	0.0240	0.0251
	Göçme öncesi	0.0180	0.0058	0.0600	0.0320	0.0335
RB13	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0045	0.0400	0.0240	0.0234
	Göçme öncesi	0.0180	0.0061	0.0600	0.0320	0.0312
RB14	Sınırlı hasar	0.0035	0.0025	0.0100	0.0075	0
	Kontrollü hasar	0.0135	0.0048	0.0400	0.0240	0.0211
	Göçme öncesi	0.0180	0.0064	0.0600	0.0320	0.0281

Enine donatı oranı değişiminin TBDY-2019' da verilen kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarına etkisi incelendiğinde, Şekil 5' dan görülebileceği gibi enine donatı oranı arttıkça kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırları artmaktadır. Bu durum her iki farklı geometrik kesit

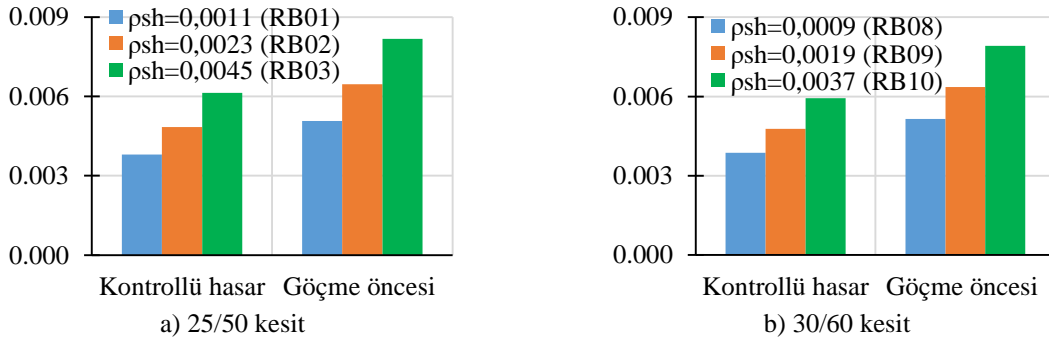
içinde geçerli olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi kesitteki enine donatı oranı artışı ile birlikte kesitteki sargı etkisinin artışına bağlı olarak kesitin süneklik kapasitesi artmaktadır. Kesitin süneklik artışı ile birlikte kesitin deformasyon ve şekil değiştirme kapasitesi de artmaktadır. Buna bağlı olarak betonarme kirişlerin enine donatı oranı artışına bağlı olarak TBDY-2019' a göre hesaplanan hasar sınırları önemli oranda artmaktadır.



Şekil 3. Beton birim şekildeğiştirmesi hasar sınırları karşılaştırması



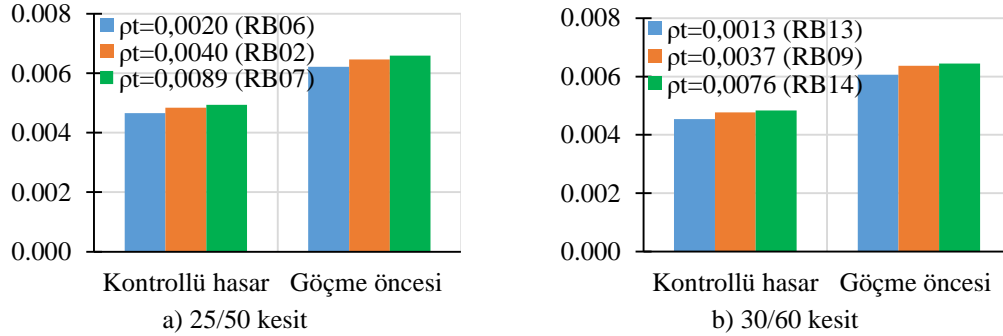
Şekil 4. Donatı birim şekildeğiştirmesi hasar sınırları karşılaştırması



Şekil 5. Enine donatı oranındaki değişimin beton birim şekildeğiştirmesi kapasitesi (hasar sınırı) üzerine etkisi

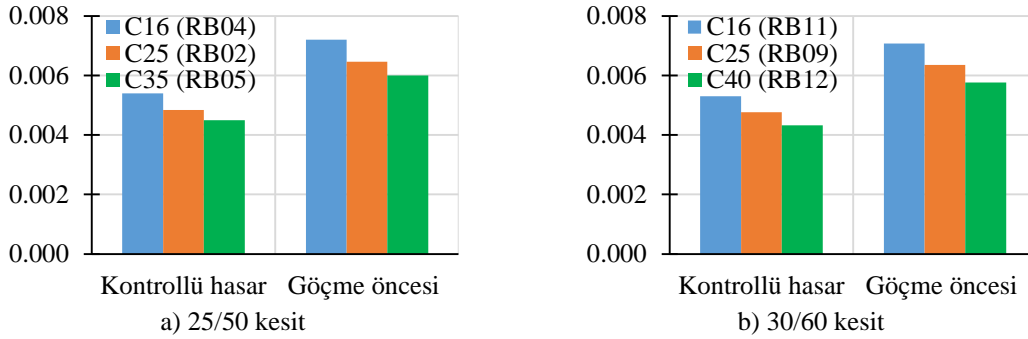
Boyuna donatı oranı değişiminin TBDY-2019' da verilen kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarına etkisi incelendiğinde, Şekil 6' dan görülebileceği gibi boyuna donatı oranı arttıkça kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarında küçük artışlar gözlenmiştir. Bu durum her iki farklı geometrik kesit içinde geçerli olduğu görülmektedir. Kesitteki sargı etkisinin ve buna bağlı

olarak süneklik kapasitesinin artışında enine donatının boyuna donatı oranına göre daha fazla etkili olduğu bilinmektedir. Bu sebeple betonarme kirişlerin boyuna donatı oranı artışına bağlı olarak TBDY-2019' a göre hesaplanan hasar sınırları önemli bir değişime yol açmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. Boyuna donatı oranındaki değişimin beton birim şekildeğiştirilmesi hasar sınırı üzerine etkisi

Beton basınç dayanımı değişiminin TBDY-2019' a verilen kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarına etkisi incelendiğinde, Şekil 7' den görülebileceği gibi beton basınç dayanımı arttıkça kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırları azalmaktadır. Bu durum her iki farklı geometrik kesit içinde geçerli olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi kesitteki betonun basınç dayanımının artışı ile birlikte kesit giderek gevrekleşmekte ve buna bağlı olarak da kesitin süneklik kapasitesi azalmaktadır. Kesitin süneklik azalışı ile birlikte kesitin deformasyon ve şekil değiştirme kapasitesi azalmaktadır. Bu sebeple betonarme kirişlerin beton basınç dayanımı azalışına bağlı olarak TBDY-2019' a göre hesaplanan hasar sınırları azalmaktadır.



Şekil 7. Beton basınç dayanımındaki değişimin beton birim şekildeğiştirilmesi hasar sınırı üzerine etkisi

Sonuçlar

Bu çalışmada, DBYBHY-2007 ve TBDY-2019' da verilen şekildeğiştirme sınırlarının karşılıklı olarak irdelenerek gerekli hesapların yapılabilmesi için yardımcı bir bilgisayar kodu hazırlanmıştır. Daha sonra ilgili yönetmeliklere göre farklı kiriş kesitleri oluşturularak; enine donatı oranı, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımındaki değişimin eleman hasar sınırına etkisi incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda;

- TBDY-2019'in DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre oldukça detaylı olduğu,

- TBDY-2019'in DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre kesitin sünekliğine etki eden enine donatı oranı, beton dayanımı gibi parametrelerin etkisini gerçekçi bir şekilde dikkate aldığı,
- TBDY-2019' a göre hesaplanan hasar sınırlarının DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre oldukça küçük seviyede kaldığı, buna bağlı olarak TBDY-2019' un DBYBHY-2007'ye göre daha konservatif olduğu,
- TBDY-2019' a göre kesitteki enine donatı oranındaki artışın kesitin kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarını arttırdığı, buna bağlı olarak enine donatının artışı ile birlikte kesitte oluşacak süneklik artışının TBDY-2019' da oldukça gerçekçi bir şekilde dikkate alındığı,
- TBDY-2019' a göre kesitteki boyuna donatı oranındaki artışın kesitin kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarını önemli ölçüde değiştirmedığı,
- TBDY-2019' a göre kesitteki beton basınç dayanımındaki artışın kesitin kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırlarını azalttığı buna bağlı olarak beton dayanımının artışı ile birlikte kesitte oluşacak süneklik azalışının TBDY-2019' da oldukça gerçekçi bir şekilde dikkate alındığı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan, hazırlanan kod, çalışmanın kapsamında belirtilen sınırlar dikkate alınarak ve belirli bir mühendislik tecrübesi ile kullanılmalıdır. Uygulamadaki mühendislere TBDY-2019' a göre kesit hasar ve dönme sınırlarının nasıl hesaplandığının gösterilmesi ve bu sınırlara etki eden parametrelerin incelenmesi amacıyla benzer çalışma betonarme kolonlar için de gerçekleştirilebilir.

Ek

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

print("Birimler: Newton, mm, MPa")
"""
# VERI GIRISI

# (Ust/basinc) b (--> X yonu)
#
#   | o o o |
#   |       |
#   |       |
#   |       | h (Y yonu)
# (sol) |       | (sag)
#   |       |
#   | o o o o |
#   |       |
#   (Alt/Cekme)
"""

# Kesit Ozellikleri
ID = "RB14" # Kesit adi
b = 300     # X dogrultusundaki kesit boyutu
h = 600     # Y dogrultusundaki kesit boyutu
ccl= 25     # Net beton ortusu
```

```

# Boyuna Donati
# Cekme donatısı
nt1 = 5          # 1. siradaki cekme donatısı adedi
phit1 = 18       # 1. siradaki cekme donatısı capı

nt2 = 0          # 2. siradaki cekme donatısı adedi (donati yoksa 0 giriniz)
phit2 = 0        # 2. siradaki cekme donatısı capı (donati yoksa 0 giriniz)
Str = 0          # 1. Ve 2. Sira cekme donatısı arasındaki net aralık (donati yoksa 0 giriniz)

# Basınc donatısı
nc = 2           # Basınc donatısı sayısı
phic = 12        # Basınc donatısı capı

# Etriyeler
phiw = 8         # Etriye capı
s = 100          # Etriye aralığı
nwx = 2          # X doğrultusunda bir kesit alındığında, kesilen donati adedi
nwy = 2          # Y doğrultusunda bir kesit alındığında, kesilen donati adedi

# Malzeme
fce = 25         # Sargısız beton basınc dayanımı (silindir numune)
epssu = 0.08     # Boyuna donati maksimum birim şekildegistirmesi
fywe = 420       # Etriyelerin çekme dayanımı (akma)

# Moment – Egrilik analizi sonuçları
L = 4000         # Kiriş boyu
Phi_y = 0.00614042 # "1/m", Akma egriligi
Phi_u = 0.1222   # "1/m", Maksimum egrilik

"""" HESAPLAMALAR""""
ct = ccl+phiw+phit1/2
cc = ccl+phiw+phic/2
bk = b-2*(ccl+phiw/2)
hk = h-2*(ccl+phiw/2)
b1 = b-2*ct
h1 = h-(2*(ccl+phiw)+phit1/2+phic/2)

if nt2==0 or phit2==0 or Str==0:
    Tai=b1**2/(nt1-1)+b1**2/(nc-1)+2*h1**2
else:
    Tai=b1**2/(nt1-1)+b1**2/(nc-1)+2*((Str+(phit1+phit2)/2)**2+(h1-(Str+(phit1+phit2)/2))**2)

Alpha_se = (1-Tai/(6*bk*hk))*(1-s/(2*bk))*(1-s/(2*hk)) # Sargı donatısı etkinlik katsayısı
A_sh_x = (np.pi*phiw**2/4)*nwx # X doğrultusunda enine donatının alanı
A_sh_y = (np.pi*phiw**2/4)*nwy # Y doğrultusunda enine donatının alanı
Rho_sh_x = A_sh_x/(bk*s) # X doğrultusunda enine donatının hacimsel oranı
Rho_sh_y = A_sh_y/(hk*s) # Y doğrultusunda enine donatının hacimsel oranı
Rho_sh_min = min(Rho_sh_x,Rho_sh_y)
W_we = Alpha_se*Rho_sh_min*fywe/fce
Eps_c_GO = min(0.0035+0.04*np.sqrt(W_we), 0.018)
Eps_c_KH = 0.75*Eps_c_GO
Eps_c_SH = 0.0025
Eps_s_GO = 0.4*epssu

```

```
Eps_s_KH = 0.75*Eps_s_GO  
Eps_s_SH = 0.0075
```

```
# Plastic Donme Siniri
```

```
Ls = L/2/1000 # "m", Kesme açıklığı (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı)'dır; kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı.
```

```
db = phit1/1000 # "m", Mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı.
```

```
Lp = h/2/1000 # "m", Elemanın Y doğrultusundaki plastik mafsalsal boyudur ve etkili doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınacaktır.
```

```
Theta_p_GO = (2/3)*((Phi_u-Phi_y)*Lp*(1-0.5*Lp/Ls)+4.5*Phi_u*db)
```

```
Theta_p_KH = 0.75*Theta_p_GO
```

```
Theta_p_SH = 0
```

```
print(ID, "dikdöğren kiriş kesiti için düşey doğrultuda analiz yapılmıştır!...")
```

```
Hasar_Sinirlari = pd.DataFrame([[Eps_c_SH,
```

```
Eps_s_SH,Theta_p_SH],[Eps_c_KH,Eps_s_KH,Theta_p_KH],[Eps_c_GO,Eps_s_GO,Theta_p_GO]],
```

```
index=["Sinirli Hasar","Kontrollu Hasar","Gocme Oncesi Hasar"], columns=["Beton","Donati","Plastik Donme"])
```

```
print(Hasar_Sinirlari)
```

```
export_csv = Hasar_Sinirlari.to_csv("{} Dikdorgen_kiris_sonucu.csv".format(ID), encoding="utf-8")
```

Referanslar

- [1] DBYBHY-2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; 2007.
- [2] TBDY-2019. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; 2019.
- [3] Aydınöğlu N., Özer E., Celep Z. ve Özaydın K. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim Elkitabı, Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası; 2018.
- [4] İnel M., Özmen H.B., Bilgin H. Betonarme elemanların doğrusal ötesi davranışlarının bilgisayar ortamında modellenmesi, TÜBİTAK Proje No: 105M024, Ocak 2008.
- [5] Aydemir C., Kırçıl M.S., Hancıoğlu B., Zorbozan M. Betonarme kolonların hasar sınır eğriliklerinin belirlenmesi. İMO Teknik Dergi, 2011, 5613-5642, Yazı 361.
- [6] Tunç G. ve Tanfener T. 2007 ve 2016 Türkiye bina deprem yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesi. 3. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişilebilirlik, 24-26 Kasım 2016, Ankara.
- [7] Keskin E. ve Bozdoğan K.B. 2007 VE 2018 Deprem yönetmeliklerinin Kırklareli ili özelinde değerlendirilmesi. Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 2018, 4-1:74-90.
- [8] Foroughi S. ve Yüksel S.B. Betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 2019, 11(2):584-601. <https://doi.org/10.29137/umagd.519208>
- [9] Ulutaş H. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2019, 17:351-359.
- [10] Python. Virginia: Python Software Foundation, 512 Lafayette Boulevard, Suite 2, Fredericksburg. <https://www.python.org>
- [11] Başer M. PYTHON. İstanbul: Dikeyksen Yayın Dağıtım; 2019.
- [12] Demir A. Progressive collapse resistance of low and mid-rise RC mercantile buildings subjected to a column failure. Structural Engineering and Mechanics, 2022, 83(4):563-576.

<https://doi.org/10.12989/sem.2022.83.4.563>

- [13] Demir A. Progressive Collapse Response of Reinforced Concrete Buildings Designed According to Turkish Earthquake Code. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2022, 11(2):694-705. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1094003>
- [14] TS-500. Betonarme yapıların yapım ve tasarım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü; 2022.
- [15] Doğangün A. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. İstanbul: Birsen Yayınevi; 2019.
- [16] SAP2000. Three-dimensional static and dynamic finite element analysis and design of structures. California: Computer and Structures, Inc.
- [17] Caltrans-2019. Caltrans seismic design criteria version 2.0, California: State of California Department of Transportation; 2019.