

T en-kesitli betonarme kirişlerin şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması

Investigation of deformation based damage limits of reinforced concrete t beams

Rohullah Jamal ^{1,*} , S. Bahadır Yüksel ¹ 

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya / Türkiye

Özet

Yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de (TBDY, 2018) T en-kesitli betonarme kirişler için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları analitik olarak incelenmiştir. Betonarme T en-kesitli kiriş modelleri için moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen veriler kullanılarak kırılma durumları ve elastik ötesi davranışları incelenmiştir. TBDY, (2018)'de verilen hasar sınır değerleri betonarme T en-kesitli kiriş modelleri için hesaplanmıştır. Şekil değiştirme değerleri TBDY (2018)'de tanımlanmış olan Göçmenin Önlenmesi (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH) performans seviyeleri için araştırılmıştır. GÖ ve KH performans düzeyleri için plastik dönme hasar sınırları; akma eğriliği, kopma eğriliği, plastik mafsals uzunluğu, kesme açıklığı ve boyuna donatı çapının fonksiyonudur. Basınç donatısı oranının artırılmasının; T en-kesitli betonarme kirişlerin akma momentine (M_y), kırılma momentine (M_u), kırılma eğriliğine (k_u) ve plastik dönme sınırları ($\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$) üzerine pozitif etkisinin olduğunu ispatlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Moment-eğrilik, Performans düzeyi, Hasar sınırları, Birim şekil değiştirme sınırları, Plastik dönme

Abstract

Deformation based damage limits for T cross-section reinforced concrete beams, which were mandated in Turkish Building Earthquake Code, 2018 (TBDY, 2018) were analytically investigated to be able to determine the earthquake performance of structural members. The failure stages and nonlinear behavior of T cross-section beams were investigated by using the data obtained from moment-curvature relations. Damage limit values given in TBDY, (2018) were calculated for the designed concrete T cross-section beam models. The deformation limits were calculated for the levels of collapse prevention (GÖ), controlled damage (KH) and limited damage (SH) performance levels as defined in TBDY, (2018). Three different damage limits and the correspondence strain limits were investigated for the T cross-section beams. Damage limits of plastic rotations for GÖ and KH performance levels are functions of yield curvature, ultimate curvature, plastic hinge length, shear length and the diameter of the longitudinal reinforcement. Increasing the compression reinforcement ratios has positive effect on the yield moment (M_y), maximum moment (M_u), maximum curvature (k_u) and limit values of plastic rotations ($\theta_p^{(KH)}$ and $\theta_p^{(GÖ)}$).

Keywords: Moment-curvature, Performance level, Damage limits, Strain limits, Plastic rotation

1 Giriş

Depreme dayanıklı tasarım yönetmelikleri şiddetli bir deprem etkisinde yapının elastik ötesi davranışı sergilemek için, açığa çıkan enerjinin sönmülenebilmesine izin vermektedir. Bu tasarım seçeneğinin yaygınlaşması temel nedeni ekonomik sebepler olduğunu düşünmektedir. Sismik yükler altında elastik ötesi zorlanan bir yapısal elemanların tasarımında, sünek davranışı gösterilmesi ve sismik enerjinin tüketilmesi gerekmektedir. Yapı taşıyıcı sisteminin doğrusal sınır ötesindeki kapasitesinin de dikkate alındığı hesap yöntemleri son yıllarda yaygınlaşmıştır. Yapının dayanım ve yer değiştirme kapasitelerini ortaya çıkaran, göçme aşamasına kadar oluşacak hasarlarının adım adım izlenebildiği doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak, yapı davranışı daha iyi anlaşılabilir. Yapı performansı, amaçlanan deprem istemi etkisinde yapıda oluşması beklenen hasar durumu ile ilişkilidir. Sağlanan kapasite ile deprem istemine ait veriler yapının tasarım ve güçlendirmesine yönelik performans düzeyinin belirlenmesinde kullanılmaktadır [1]. Yönetmeliklerde uygulanan kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibi, kolon kiriş birleşimi kesme güvenliği yaklaşımı, kapasite tasarımı gibi tasarım kuralları, elastik ötesi davranış sergileyen yapının potansiyel hasar bölgelerinin yaygın olarak kiriş mesnet

kesitlerinde gerçekleşmesine neden olur. Bu nedenle betonarme kirişlerin çevrimsel yükler altında plastik dönme kapasitesi yaygın olarak inceleme konusu olmuştur [2, 3].

Performansa dayalı tasarım temelde üç parametreden oluşmaktadır. Bunlar kapasite, talep ve performanstır [4]. Talep, sismik hareketlerin yapıdan karşılama istediği yer değiştirme ve kesit tesirleri olarak tanımlanabilir. Performans ise yapının kapasitesinin sismik talepleri hangi oranda karşılayabileceği ile ilgilidir [5]. Performansa dayalı tasarım en genel haliyle, bir yapının tasarım depremi etkisinde belirli bir yapısal performans, bir başka deyişle hasar öngörülerek şekil değiştirmeye dayalı tasarım yöntemleri de kullanılarak tasarlanmasıdır. Şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri; malzemenin elastik ötesi davranışını hesaba katmaktadır [6]. Performans esaslı yaklaşımların en önemli aşamalarından birisi yapısal elemanlardaki hasar düzeylerinin belirlenmesidir. Bu nedenle hasarla doğrudan ilişkili olan şekil değiştirmeleri esas alan yöntemler, kuvvet esaslı olanlara göre çok daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte hasarı belirlemek için esas alınan şekil değiştirme parametresi de büyük önem taşımaktadır [7].

Mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem etkisi altında yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için kullanılacak doğrusal olmayan

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: jamal.rohullah@gmail.com (R. Jamal)

Geliş / Recieved: 08.04.2020 Kabul / Accepted: 31.08.2020 Yayınlanma / Published: 15.01.2021

doi: 10.28948/ngmuh.715778

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. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'de tanımlanan yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri (kesit hasar durumları) sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlanmaktadır [8].

Bu çalışmada tablalı betonarme kirişlerin TBDY (2018)'e göre betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları analitik olarak incelenmiştir. Betonarme kiriş modelleri tasarlanmıştır. İlk olarak gerçek malzeme davranışları esas alınarak elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden kiriş kesitlerinin elastik ötesi davranışları incelenerek değerlendirilmiştir. Çalışmada; C30/C40/C50 beton sınıfı ve farklı çekme ve basınç donatısı oranlarına sahip tablalı betonarme kirişlerin moment-eğrilik ilişkileri Mander modeli (Mander vd. 1988) dikkate alınarak SAP 2000 [9] programı ile elde edilmiştir. Değişen parametrelerin kiriş davranışı üzerindeki incelenen etkileri kesitin mukavemeti ve süneklik açısından değerlendirilmiştir. Tasarlanan betonarme kirişlerde, farklı parametrelerin moment eğrilik ilişkisi ve süneklik üzerindeki etkisi hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Tip-1, 2 ve 3 olan betonarme tablalı kirişlerde değişen parametreler beton sınıfı ve basınç donatısı oranıdır. Tüm elemanlarda 8mm çapında 50mm aralığında etriyeler ele alınarak hasar sınırları TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır. Betonarme kirişlerin şekil değiştirme değerleri TBDY (2018)'de tanımlanmış olan göçme önlenmesi (GÖ), kontrollü hasar (KH) ve sınırlı hasar (SH) performans seviyeleri için hesaplanmıştır. Yer değiştirme taleplerine karşılık gelen kiriş hasarları elde edilmiş ve hasar sınırları değerlendirilmiştir. Farklı performans düzeyleri için kirişlerin plastik mafsallık bölgelerinde akma dönme değerleri ve plastik dönme değerleri hesaplanmıştır.

1.1 TBDY 2018'e göre izin verilen şekil değiştirme sınırları

GÖ, KH ve SH performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yüksek binalar ve yeni betonarme bina elemanlarında yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değiştirmeleri için izin verilen sınırlar aşağıda tanımlanmıştır. GÖ, KH ve SH performans düzeyleri için beton birim kısalması $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, $\varepsilon_c^{(KH)}$ ve $\varepsilon_c^{(SH)}$, donatı çeliği birim şekil değiştirmesi $\varepsilon_s^{(GÖ)}$, $\varepsilon_s^{(KH)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)}$ ve plastik dönme sınırı $\theta_p^{(GÖ)}$, $\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(SH)}$ değerleri dikdörtgen en-kesitli kolon, kiriş ve perdeler için Tablo 1'de verilen denklemler ile hesaplanmaktadır.

Tablo 1'de verilen $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, $\varepsilon_c^{(KH)}$ ve $\varepsilon_c^{(SH)}$ sırasıyla GÖ, KH ve SH performans düzeyi için izin verilen beton birim şekil değiştirmesidir. $\varepsilon_s^{(GÖ)}$, $\varepsilon_s^{(KH)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)}$ sırasıyla GÖ, KH ve SH performans düzeyi için izin verilen donatı birim şekil değiştirmesini gösterilmektedir. $\theta_p^{(GÖ)}$, $\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(SH)}$ sırasıyla GÖ, KH ve SH performans düzeyi için izin verilen dönme açılarıdır. Tablo 1'de verilen denklemlerde ω_{we} , ε_{su} , k_u , k_y , L_p , L_s ve d_b sırasıyla etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını, donatının çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı, maksimum eğriliğini, akma eğriliğini, plastik mafsallık uzunluğunu, kesme açıklığını ve boyuna donatı çapını göstermektedir.

Göçme önlenmesi performans düzeyi için izin verilen beton birim kısalması ($\varepsilon_c^{(GÖ)}$) denklemindeki ilk terim (0.0035) sargısız betonun birim kısalmasına karşı gelmektedir. ω_{we} ; etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı Denklem (1) ile hesaplanmıştır.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (1)$$

Denklem (1)'de, α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh, min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir. Sargı donatısı etkinlik katsayısı (α_{se}) ve kesitte hacimsel enine donatı oranı (ρ_{sh}) Denklem (2) ile hesaplanmıştır.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right), \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2)$$

Denklem (2)'de A_{sh} ve ρ_{sh} gözönüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığını göstermektedir. Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesapta SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsallık oluşumuna izin verilmemektedir.

$$\theta_y = \frac{k_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{k_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (3)$$

Akma durumu için yer değiştirmiş plastik mafsallık eksen dönmesi θ_y Denklem (3) ile hesaplanmıştır. Kiriş ve kolonlarda η katsayısı, $\eta = 1$, perdelerde ise $\eta = 0.5$ 'dir.

f_{ce} ve f_{ye} ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir. TBDY (2018)'de $f_{ce} = 1.3 f_{ck}$ ve $f_{ye} = 1.2 f_{yk}$ olarak tarif edilmiştir.

Tablo 1. Betonarme elemanları için izin verilen şekil değiştirme üst sınırların denklemleri [8]

Göçme Öncesi Hasar (GÖ)	Betonarme Elemanları İçin İzin Verilen Şekil Değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları Kontrollü Hasar (KH)	Sınırlı Hasar (SH)
$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$
$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.40\varepsilon_{su}$	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$
$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(k_u - k_y)L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5k_u d_b \right]$	$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)}$	$\theta_p^{(SH)} = 0$

f_{ck} ve f_{yk} sırasıyla betonun karakteristik basınç dayanımı ve donatı çeliğin karakteristik akma dayanımıdır.

2 Materyal ve metod

Bu çalışmada betonarme kiriş elemanlarının deprem performansının belirlenmesi için TBDY, (2018)'de verilen kurallara göre sabit geometriye ve farklı parametrelere sahip 3 tip toplam 33 adet T en-kesitli betonarme kiriş modeli tasarlanmıştır (Tablo 3, 4 ve 5). Tasarlanan betonarme tablalı kirişlerde gerçek malzeme davranışları esas alınarak farklı beton basınç dayanımı ve basınç donatı oranına göre moment-eğrilik ilişkilerinden; akma eğriliği (k_y), akma momenti (M_y), göçme öncesi eğriliği (k_u), göçme öncesi eğilme momenti (M_u) ve eğrilik sünekliği (μ) değerleri hesaplanmıştır. Betonarme kiriş modellerinin moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen sonuçlara göre kiriş kesitlerinin davranışları incelenmiştir. Tasarlanan betonarme tablalı kiriş modellerinde yapılan performans değerlendirmesinde GÖ, KH ve SH performans seviyeleri için şekil değiştirme ve iç kuvvet sınır değerleri hesaplanmıştır. Betonarme kiriş elemanlarında sargı donatısı oranı ve çekme donatısı oranı sabit tutularak, farklı parametre olarak basınç donatısı oranı ve beton basınç dayanımına göre hesaplanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri, plastik mafsalsal akma dönmeleri ve plastik dönmeleri hesaplanarak kiriş kesitlerinin performans düzeyleri araştırılmıştır.

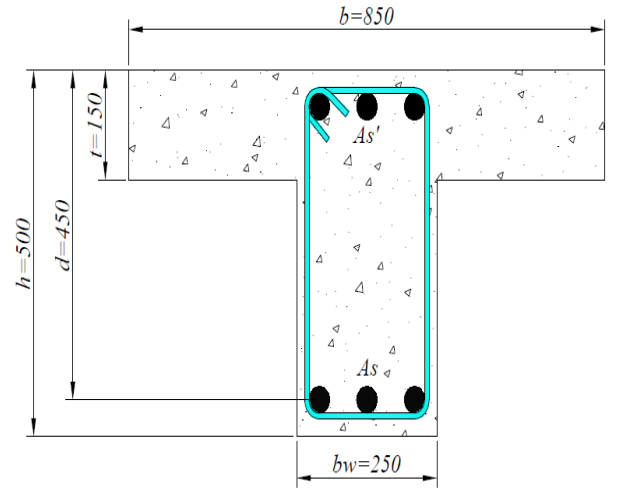
Betonarme T en-kesitli kiriş kesit hesabı ve tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, elde edilen kesitteki donatı oranının, dengeli donatı orandan küçük olmasını sağlamaktır. Betonarme T en-kesitli kirişlerde sünek davranışın sağlanabilmesi için, çekme donatısı oranı Denklem (4) ile sınırlandırılmıştır. Denklem (4)'te ρ ; çekme donatı oran, ρ' ; basınç donatı oranıdır.

$$\bar{\rho}_b = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left[k_1 \frac{600}{600 + f_{yd}} + \left(\frac{t}{d} \right) \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \right], \quad (4)$$

$$\rho_{max} = 0.85\rho_b, (\rho - \rho') \leq \rho_{max}$$

Denklem (4)'te f_{cd} , f_{yd} , k_1 , t , d , b , ve b_w sırasıyla beton tasarım basınç dayanımı, boyuna donatı tasarım akma dayanımı, eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinlik katsayısı, tabla kalınlığı, kiriş faydalı yüksekliği, kiriş genişliği ve tabla genişliğidir.

Betonarme kiriş modellerinin tasarımında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'de verilen hükümler dikkate alınmıştır. Kesit geometrisi ve donatı düzeni Şekil (1)'de verilmiştir. T en-kesitli betonarme kiriş modellerinde çekme donatısı oranı $\rho = \rho_{max} = 0.85\bar{\rho}_b$ olacak şekilde sabit alınmış ve basınç donatısı oranlarının ($\rho'_s = 0, 0.1\rho, 0.2\rho, 0.3\rho, 0.4\rho, 0.5\rho, 0.6\rho, 0.7\rho, 0.8\rho, 0.9\rho$ ve ρ) değerleri değiştirilerek parametrik bir çalışma yapılmıştır. Betonarme kiriş modellerinde C30, C40 ve C50 beton sınıfı ve B420C donatı sınıfı dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Tasarlanan kiriş modellerinin en-kesit detayları

Betonarme kesitlerde süneklik, kesitin dayanımında önemli bir azalma olmadan yapabileceği doğrusal ötesi deformasyon kapasitesi olarak tanımlanır. Sayısal olarak ise süneklik, eğrilik süneklik katsayısı (μ) Denklem (5) ile hesaplanmaktadır. Eğrilik süneklik katsayısı, kesitin kırılma anında yaptığı eğriliğin (k_u), çekme donatısının aktığı anda kesitte oluşan eğriliğe (k_y) oranıdır [10].

$$\mu = \frac{k_u}{k_y} \quad (5)$$

Betonarme T en-kesitli kirişlerin tasarımında kullanılan malzeme özellikleri Tablo (2)'de verilmiştir. Betonarme kirişlerin çekme ve basınç donatısı oranları ve alanları, beton ve donatı çeliği için hesaplarda ve malzeme modellerinde kullanılan parametreler sırasıyla Tablo (3), (4) ve (5)'te özetlenerek verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme modellerinde kullanılan parametreler [8]

Malzeme	Parametre	Değer
Beton Sınıfı: C30,40,50	Sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirme değeri (ϵ_{co})	0.002
	Sargısız betonun nihai birim şekil değiştirmesi (ϵ_{cu})	0.0035
Donatı Çeliği: B420C	Karakteristik beton basınç dayanımı (f_{ck})	30,40,50MPa
	Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi (ϵ_{sy})	0.0021
	Donatı çeliğinin pekleşme birim şekil değiştirmesi (ϵ_{sp})	0.008
	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi (ϵ_{su})	0.08
	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı (f_{yk})	420MPa
	Donatı çeliğinin karakteristik kopma dayanımı (f_{su})	550MPa

Tablo 3. Tip-1 olarak tasarlanan kiriş modellerine ait donatı oranları ve alanları

Kesit No	Sargı Donatısı	Beton sınıfı (MPa)	A_s (mm^2)	A'_s (mm^2)	ρ	ρ'	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$
T1-0				0		0.0000	0.85
T1-1				583		0.0052	0.77
T1-2				1166		0.0104	0.68
T1-3				1749		0.0155	0.60
T1-4				2332		0.0207	0.51
T1-5	Φ8/50mm	30	5830	2915	0.0518	0.0259	0.43
T1-6				3498		0.0311	0.34
T1-7				4081		0.0363	0.26
T1-8				4664		0.0415	0.17
T1-9				5247		0.0466	0.09
T1-10				5830		0.0518	0.00

Tablo 4. Tip-2 olarak tasarlanan kiriş modellerine ait donatı oranları ve alanları

Kesit No	Sargı Donatısı	Beton sınıfı (MPa)	A_s (mm^2)	A'_s (mm^2)	ρ	ρ'	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$
T2-0				0		0.0000	0.85
T2-1				755		0.0067	0.77
T2-2				1510		0.0134	0.68
T2-3				2266		0.0201	0.60
T2-4				3021		0.0269	0.51
T2-5	Φ8/50mm	40	7552	3776	0.0671	0.0336	0.43
T2-6				4531		0.0403	0.34
T2-7				5286		0.0470	0.26
T2-8				6041		0.0537	0.17
T2-9				6797		0.0604	0.09
T2-10				7552		0.0671	0.00

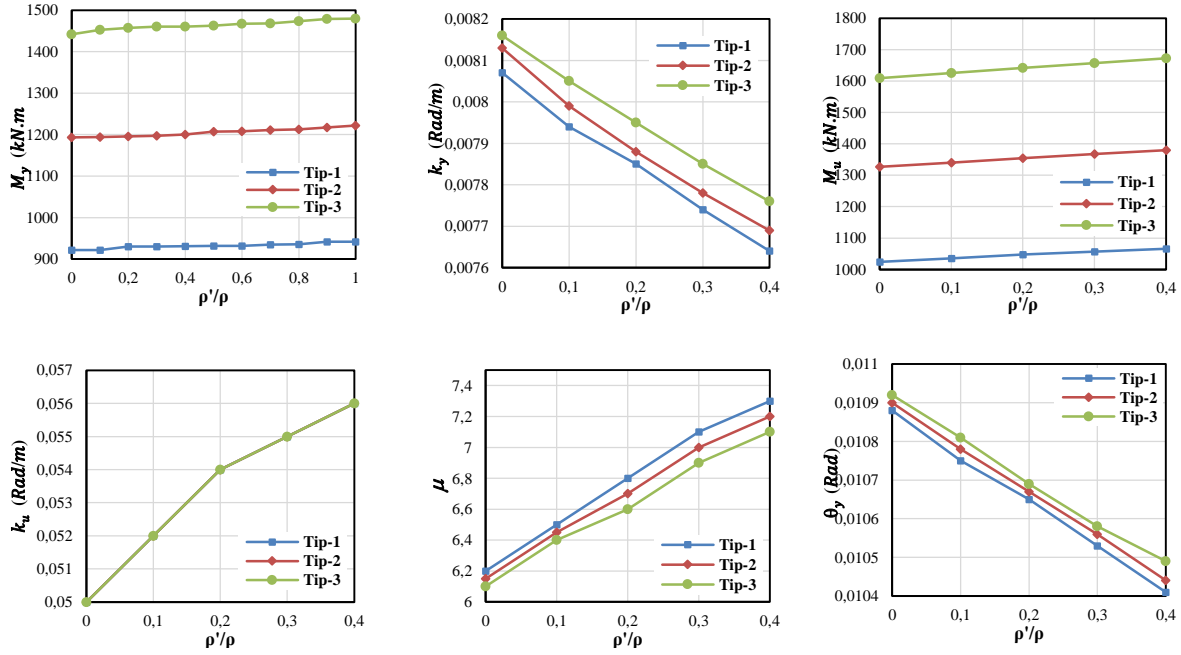
Tablo 5. Tip-3 olarak tasarlanan kiriş modellerine ait donatı oranları ve alanları

Kesit No	Sargı Donatısı	Beton sınıfı (MPa)	A_s (mm^2)	A'_s (mm^2)	ρ	ρ'	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$
T3-0				0		0.0000	0.85
T3-1				916		0.0081	0.77
T3-2				1833		0.0163	0.68
T3-3				2749		0.0244	0.60
T3-4				3665		0.0326	0.51
T3-5	Φ8/50mm	50	9163	4581	0.0814	0.0407	0.43
T3-6				5498		0.0489	0.34
T3-7				6414		0.0570	0.26
T3-8				7330		0.0652	0.17
T3-9				8247		0.0733	0.09
T3-10				9163		0.0814	0.00

3 Bulgular ve tartışma

Tablalı betonarme kiriş modelleri için farklı parametrelere göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçları kullanılarak kiriş modelleri için M_y , k_y , M_u , k_u , ve μ değerleri hesaplanmıştır. Betonarme kiriş modellerinin moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen veriler kullanılarak kiriş kesitlerinin davranışları incelenmiştir. Yığılı plastik davranış modeline göre tablalı

betonarme kirişlerin farklı parametrelere göre akma durumu için θ_y değerleri Denklem (3) ile hesaplanmıştır. Tip 1, 2 ve 3 olarak tasarlanan ve detayları sırasıyla Tablo 3, 4 ve 5'te verilen tablalı betonarme kiriş modelleri için moment-eğrilik analizlerinden M_y , k_y , M_u , k_u , μ ve θ_y değerleri hesaplanarak Şekil 2'de özetlenmiştir. Şekil 2'de M_y , M_u değerleri; kNm , K_y , K_u değerleri; Rad/m ve etkin eğilme rijitliği; kNm^2 biriminde verilmiştir.



Şekil 2. Betonarme kolonların farklı parametrelere göre hesaplanan k_y , M_y , k_u , M_u , μ ve θ_y değerlerinin ρ'/ρ oranına göre ilişkileri

Betonarme kirişlerin farklı performans düzeyleri için farklı parametrelere göre $\rho'/\rho - \varepsilon_c$, $\rho'/\rho - \varepsilon_s$ ve $\frac{\rho'}{\rho} - \theta_p$ ilişkileri Şekil 3'te verilmiştir. Betonarme tablalı kiriş kesitlerinin analiz ve hesap sonuçlarından elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak Şekil (4)'te verilmiştir. Betonarme kiriş modellerinden elde edilen göçme önlenmesi (GÖ), kontrollü hasar (KH) performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması ($\varepsilon_c^{GÖ}$, ε_c^{KH}) değerlerinin (ρ/ρ') oranına göre değişimleri Şekil (4)'te verilmiştir. GÖ ve KH performans düzeyi için izin verilen plastik dönme açıları ($\theta_p^{GÖ}$, θ_p^{KH}) çekme donatısı oranının basınç donatısı oranına (ρ/ρ') göre grafikleri Şekil (4)'te verilmiştir. Akma durumu için dönme açısı (θ_y) değerlerinin ρ/ρ' oranına göre karşılaştırmalı grafikleri Şekil (4)'te verilmiştir. TBDY (2018)'e göre SH performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması değeri $\varepsilon_c^{SH} = 0.0025$ olacak şekilde sabit olarak verilmiştir. Farklı performans düzeyi için $\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su}$, $\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$ olarak sabit değerler tanımlanmıştır.

Farklı performans düzeyi için verilen plastik dönme hasar sınırları (θ_p); k_y , k_u , L_p , L_s ve d_b 'nin fonksiyonudur. Sınırlı hasar performans düzeyinde taşıyıcı sistemlerde plastik mafsallı oluşmasına izin verilmediği için farklı parametrelere göre betonarme kiriş kesitlerinde $\theta_p^{(SH)} = 0$ elde edilmiştir.

4 Sonuçlar

Araştırma bulgular bölümünde betonarme T en-kesitli kirişlerin sonuçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

Betonarme T en-kesitli kirişlerde sabit beton basınç dayanımı ve çekme donatısı oranı için basınç donatısı oranının artması ile moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen akma momenti (M_y), kırılma momenti (M_u) ve kırılma eğriliği (k_u) değerleri artmaktadır.

Sabit beton basınç dayanımı ve çekme donatısı oranına sahip T en-kesitli betonarme kirişlerde basınç donatı oranının artması ile akma eğriliği (k_y) ve plastik mafsallı akma dönmesinin (θ_y) değerleri azalmaktadır.

Basınç donatı oranının artması ile T en-kesitli kirişlerin eğrilik süneklik (μ) değerleri artmaktadır.

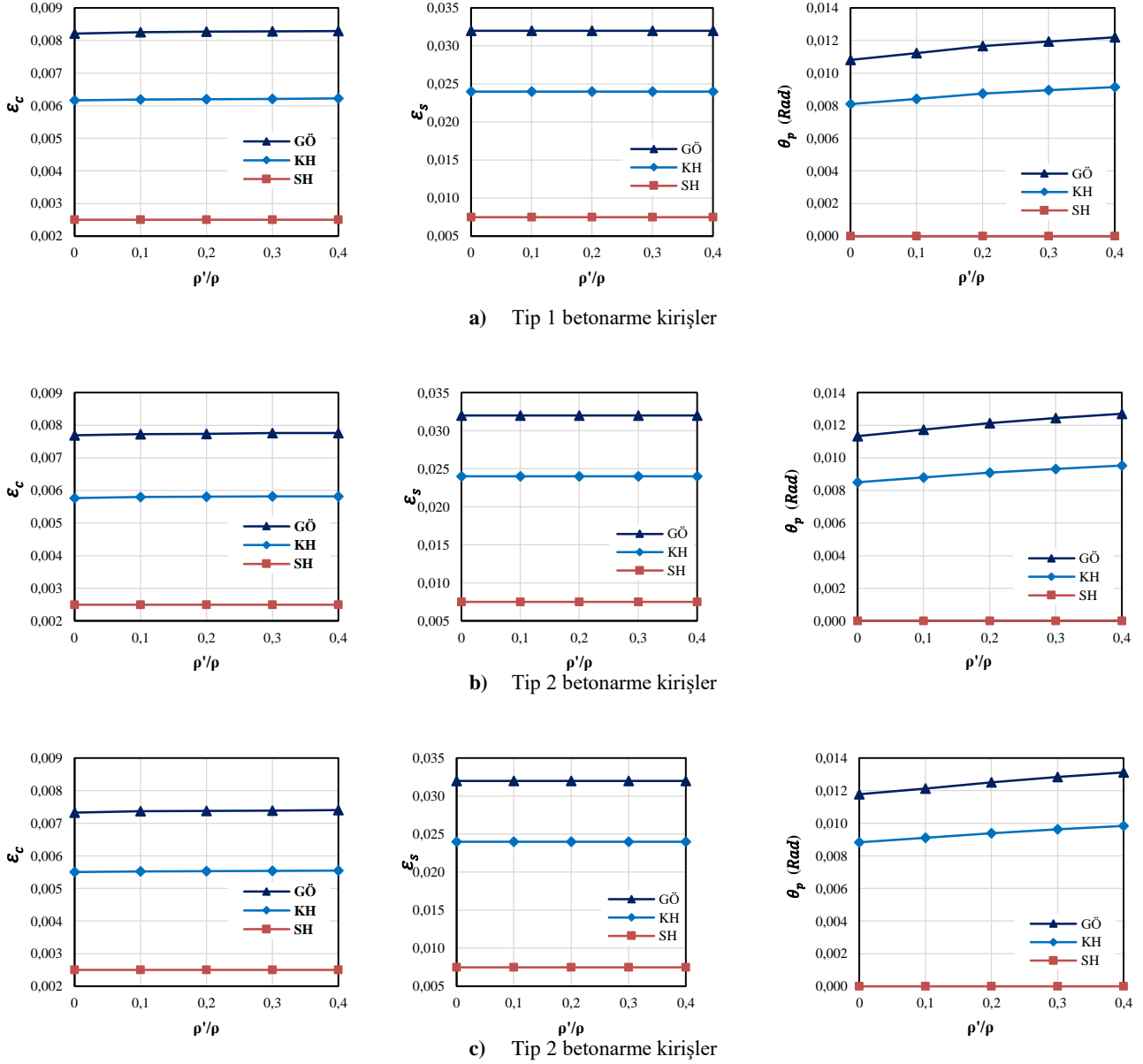
Sabit çekme donatısı oranı ve beton basınç dayanımı için artan basınç donatı oranı ile $\varepsilon_c^{(KH)}$ ve $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ değerleri artmaktadır.

Sabit çekme donatısı oranı ve beton basınç dayanımı için artan basınç donatısı oranı ile $\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$ değerleri artmaktadır.

Sabit basınç donatısı ve çekme donatısı oranına sahip betonarme T en-kesitli kirişlerde artan beton basınç dayanımı ile akma momenti (M_y) ve kırılma momenti (M_u) değerleri artmaktadır.

Sabit basınç ve çekme donatısı oranına sahip betonarme kirişlerde, beton basınç dayanımının artması ile akma eğriliği (k_y) artmakta ve kırılma eğriliği (k_u) değerleri yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.

Sabit basınç donatısı ve çekme donatısı oranına sahip betonarme kirişlerinde artan beton basınç dayanımı ile hesaplanan eğrilik sünekliği (μ) değerleri azalmaktadır. Betonarme kirişlerde TBDY, 2018'e göre hesaplanan plastik mafsallı akma dönmesinin (θ_y) değeri; sabit çekme donatısı



Şekil 3. Betonarme kirişlerin farklı parametrelere göre karşılaştırmalı $\epsilon_c - \rho'/\rho$, $\epsilon_s - \rho'/\rho$, $\theta_p - \rho'/\rho$ grafikleri

ve basınç donatısı oranları için, artan beton basınç dayanımı ile artmaktadır.

Sabit çekme ve basınç donatısı oranı için artan beton basınç dayanımı ile $\epsilon_c^{(KH)}$ ve $\epsilon_c^{(GÖ)}$ değerleri azalmaktadır.

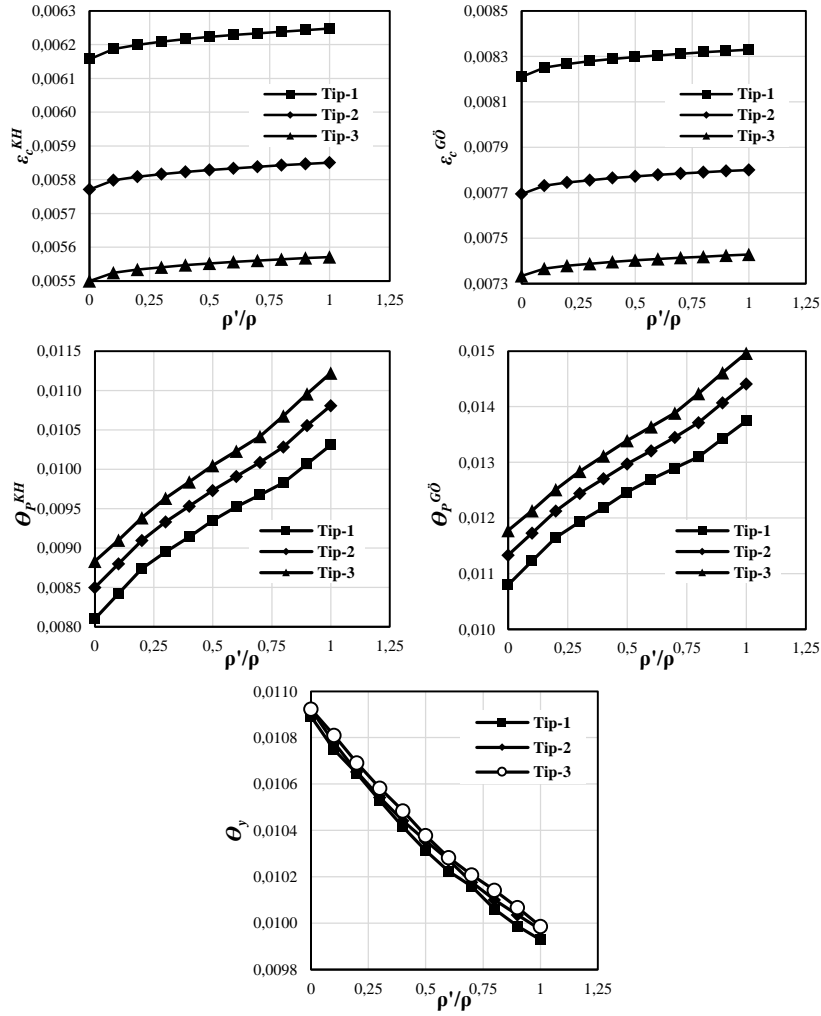
Sabit çekme ve basınç donatısı oranı için artan beton basınç dayanımı ile $\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$ değerleri artmaktadır.

TBDY (2018)'de donatı çeliği için GÖ ve KH performans düzeylerinde verilen hasar sınırları

$(\epsilon_s^{(KH)}, \epsilon_s^{(GÖ)})$, donatı çeliğinin çekme dayanımına karşı gelen birim uzama değerini sabit katsayılar ile çarparak elde edilmektedir. SH performans düzeyi için verilen hasar sınırı ise sabit bir değer olarak verilmektedir ($\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$).

$\epsilon_c^{(SH)}$ Performans düzeyi için verilen hasar sınırı TBDY 2018'e göre sabit değer olarak verilmektedir ($\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$).

GÖ ve KH performans düzeyi için verilen plastik dönme hasar sınırları θ_p , k_y , k_u , L_p , L_s ve d_b 'nin fonksiyonudur. Dolayısıyla basınç donatısı oranı, sargı donatısı oranı ve çekme donatısı oranı gibi k_y ve k_u değerlerini etkileyen parametreler θ_p 'yi de etkilemektedir. SH performans düzeyinde taşıyıcı sistemlerde plastik mafsal oluşmasına izin verilmediği için betonarme kiriş kesitlerinde $\theta_p^{(SH)} = 0$ elde edilmiştir.



Şekil 4. Betonarme kirişlerinin ϵ_c^{KH} , $\epsilon_c^{GÖ}$, θ_p^{KH} , $\theta_p^{GÖ}$ ve θ_y değerlerinin (ρ/ρ') oranına göre değişimi

Basınç donatısı oranının artırılması, betonarme kirişlerin akma momentine (M_y), kırılma momentine (M_u), kırılma eğriliğine (k_u), kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi performans düzeyi beton birim kısalmasına ($\epsilon_c^{(KH)}$ ve $\epsilon_c^{(GÖ)}$), kontrollü hasar ve göçme önlenmesi performans düzeyleri için izin verilen plastik dönme sınırlarına ($\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$) ve eğrilik sünekliğine (μ) etkili olduğu ispatlanmıştır.

Beton basınç dayanımı artırılması, T en-kesitli betonarme kirişlerin akma momentine (M_y), kırılma momentine (M_u), akma eğriliğine (k_y), kontrollü hasar ve göçme önlenmesi performans düzeyleri için izin verilen plastik dönme sınırlarına ($\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$) ve akma durumu için yer değiştirmiş eksen dönmesi üzerine (θ_y) etkili olduğunu ispatlanmıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %12

Kaynaklar

- [1] S. İbrahim Keykan, Betonarme Yapı Sistemlerinde Yapısal Performans Düzeyini Belirleyen bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [2] A. J. Bigaj, Structural dependence of rotation capacity of plastic hinges in RC beams and slabs, PhD Thesis, Delft University, the Netherlands, 1999.
- [3] A. J. Bigaj, and J. Walraven, Size effects on plastic hinges of reinforced concrete members, Heron, 47(1), ISSN 0046-7316, 53-75, 2002.
- [4] Z. Celep ve N. Kumbasar, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [5] Ö. Çavdar, E. Bayraktar ve A. Çavdar, Mevcut perdeli betonarme bir yapının doğrusal olmayan yöntemle deprem performansının belirlenmesi. International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015), sayfa 233-241, Burdur, Türkiye, 7-9 May 2015.

- [6] C. Aydemir, M. S. Kırçıl, B. Hancıoğlu ve M. Zorbozan, Betonarme kolonların hasar sınır eğriliklerinin belirlenmesi. İMO Teknik Dergi, 22 (109), 5613-5642. 2011.
- [7] H. Ulutaş, DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 17, 351-359, Aralık 2019. <https://doi.org/10.31590/ejosat.620827>.
- [8] TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [9] SAP2000. Structural software for analysis and design, Computers and Structures, Inc. Version 20.0.0. USA.
- [10] N. Çağlar, A. Akkaya, A. Demir ve H. Öztürk, Farklı kesit geometrilerine sahip betonarme kolonların davranışının incelenmesi, ISITES2014, 2095-2105, Karabük/Türkiye. 2004.

