MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

UMAGD, (2019) 11(2), 584-601.

10.29137/umagd.519208

Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2019

Araştırma Makalesi / Research Article

Betonarme Kolonların Şekil Değiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Araştırılması

Investigation of Deformation Based Damage Limits of Reinforced Concrete Column

Saeid Foroughi [*1], **S. Bahadır Yüksel** [1]

[1] *Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya / TÜRKIYE*

Başvuru/Received: 28/02/2019 **Kabul/Accepted**: 24/05/2019 **Son Versiyon/Final Version**: 30/06/2019

Öz

Yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları analitik olarak incelenmiştir. Farklı geometri ve parametrelerde betonarme kolon modelleri tasarlanmıştır. Gerçek malzeme davranışları esas alınarak elde edilen momenti-eğrilik ilişkilerinden kolon kesitlerinin elastik ötesi davranışları incelenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de verilen hasar sınırları betonarme kolon modelleri için hesaplanmıştır. Betonarme kolonlarda üç farklı hasar sınırına karşı gelen birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Şekil değiştirme değerleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de tanımlanmış olan Göçmenin Önlenmesi, Kontrollü Hasar ve Sınırlı Hasar Performans seviyeleri için hesaplanmıştır. Yer değiştirme taleplerine karşılık gelen kolon hasarları elde edilmiş ve hasar sınırları değerlendirilmiştir. Farklı performans düzeyleri için kolonların plastik mafsal bölgeleri için akma dönme değerleri ve plastik dönme değerleri hesaplanmıştır. Plastik mafsal bölgeleri için akma dönme değerleri eksenel yük seviyesi, boyuna donatı ve sargı donatı çapının artması ile artmaktadır. Göçmenin Önlenmesi ve Kontrollü Hasar performans düzeyleri için plastik dönmelerin hasar sınırları; akma eğriliği, kopma eğriliği, plastik mafsal uzunluğu, kesme açıklığı ve boyuna donatı çapının fonksiyonudur. Eksenel yük seviyesi, sargı donatısı ve boyuna donatı oranı gibi, akma eğriliği ve göçme öncesi eğrilik değerlerini etkileyen parametreler plastik dönme değerlerinde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler

"Moment-eğrilik, Performans düzeyi, Hasar sınırları, Birim şekil değiştirme sınırları, İç kuvvet sınırları, plastik dönme"

Abstract

Deformation based damage limits for reinforced concrete members, which were mentioned in Turkish Building Earthquake Code 2018 has been studied analytically to determine the earthquake performance of structural members. Reinforced concrete column models were designed in different geometry and parameters. Inelastic behavior of column sections were investigated using the moment-curvature relationships obtained based on real material behaviors. Damage limit values given in Turkish Building Earthquake Code, 2018 were calculated for the reinforced concrete column models. Strain values corresponding to three different damage limits for the columns were calculated. The deformation limits were calculated for the levels of collapse prevention, controlled damage and limited damage performance levels as defined in Turkish Building Earthquake Code, 2018. Column damages corresponding to the displacement demands was obtained and the damage limits were evaluated. For different performance levels, yield rotation and plastic rotation values were calculated for the plastic hinge regions of the columns. The yield rotation values for plastic hinge regions increase with the increasing in axial load level, longitudinal and transverse reinforcement diameters. Damage limits of plastic rotations for collapse prevention and controlled damage performance levels are functions of yield curvature, ultimate curvature, plastic hinge length, shear length and the diameter of the longitudinal reinforcement. Parameters such as axial load level, transverse reinforcement and longitudinal reinforcement ratio, which influence the yield curvature and ultimate curvature values, also affect the plastic rotation values.

Key Words

"Moment-curvature, Performance level, Damage limits, Strain limits, Internal force limits, Plastic rotation"

***Sorumlu Yazar:** saeid.foroughi@yahoo.com*

1. Giriş

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. Son yıllarda, özellikle mevcut yapıların değerlendirilmesinde, kuvvete dayalı tasarım yöntemleri yerine şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri giderek yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri; malzemenin elastik ötesi davranışını hesaba katmaktadır. Elde edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet talepleri öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekil değiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır (Aydemir vd., 2011).

"Performansa dayalı tasarım temelde üç parametreden oluşmaktadır. Bunlar kapasite, talep ve performanstır. Kapasite; binanın taşıyıcı sistemi, malzemesi, kesit geometrisi vb. unsurların bir bileşkesi olarak düşünülebilir. Binanın yatay yer değiştirebilme kapasitesi (süneklik) ve yatay yük taşıma kapasitesi (rijitlik) genel anlamda kapasite olarak tanımlanır" (Celep ve Kumbasar, 2004). "Talep; sismik hareketlerin yapıdan karşılamasını istediği yer değiştirme ve kesit tesirleri olarak tanımlanabilir. Performans ise yapının kapasitesinin sismik talepleri hangi oranda karşılayabileceği ile ilgilidir" (Çavdar vd., 2015).

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet taleplerinin hesaplanmasıdır (Sinani, 2014).

Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanan iç kuvvetlerin veya şekil değiştirmelerin, kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir. Mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem etkisi altında yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için kullanılacak 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. Daha sonra bu talep büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (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 tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir (TBDY, 2018).

1.1. TBDY, 2018'e göre İzin Verilen Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (GÖ), Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH) ve Sınırlı Hasar Performans Düzeyi (SH) 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 Çizelge (1)'de tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Farklı performans düzeylerine göre beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değiştirmeleri (TBDY, 2018)

Şekil değiştirme ve iç kuvvet sınırları	Hasar sınırı	
	Betonda birim kısalma	Donatıda birim kısalma ve uzama
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	a) $\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \le 0.018$ b) $\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \le 0.018$	$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.40\varepsilon_{su}$
Kontrollü Hasar (KH)	$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$
Sınırlı Hasar (SH)	$\varepsilon_c^{(SH)}$=0.0025	$\varepsilon_s^{(SH)}$=0.0075

a) Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdeler, b) Dairesel kesitli kolonlar
ε_{su} Donatının çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermektedir
ω_{we} Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir

Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı Denklem (1)'den hesaplanmaktadır.

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

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 (beklenen) akma dayanımıdır. Dikdörtgen sargı donatısının etkinlik katsayısı (α_{se}) Denklem (2) ve hacimsel enine donatı oranı (ρ_{sh}) Denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

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

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3)$$

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 uzaklığı göstermektedir. Dairesel kesitli elemanlarda dairesel sargı donatısının etkinlik katsayısı Denklem (4)'te ve dairesel/spiral sargı donatısının hacimsel oranı Denklem (5)'te verilmiştir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n \quad (4)$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{Ds} \quad (5)$$

Burada A_{os} spiral/sargı donatısının alanı, s enine donatı aralığı veya spiralin adımı, D ise spiral/sargı donatısı eksenleri arasındaki uzaklıktır. Dairesel etriye için n =2, spiral donatı için n=1 alınacaktır. GÖ, KH ve SH için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yüksek binalar da dâhil olmak üzere, yeni betonarme bina elemanlarında yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönmeler için izin verilen sınır, kesite etkiyen eksenel kuvvet, beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak eğrilik analizi sonucunda Çizelge (2)'de verilen denklemler ile hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Farklı performans düzeylerine göre plastik dönmeleri (TBDY, 2018)

Şekil Değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Yığılı Plastik Davranış Modeline göre Hesaplanan Plastik Dönmeler
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[(\emptyset_u - \emptyset_y) L_p \left(1 - 0.5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5\emptyset_u d_b\right]$
Kontrollü Hasar (KH)	$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)}$
Sınırlı Hasar (SH)	$\theta_p^{(SH)} = 0$
$\emptyset_u$, Göçme öncesi eğrilik $\emptyset_y$, Akma eğriliği L_p, Plastik mafsal boyu	L_s, Kesme açıklığı d_b, Boyuna donatı çapı

Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesapta Sınırlı Hasar Performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsal oluşumuna izin verilmeyecektir. Akma durumu için yer değiştirmiş plastik mafsal akma dönmesi (θ_y) Denklem (6) ile hesaplanmıştır. Kiriş ve kolonlarda η =1, perdelerde ise η = 0.5 alınacaktır. Yeni yapılacak binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilme ve tasarımında beton ve donatı çeliği için TBDY, (2018)'de tanımlanan beklenen (ortalama) dayanımları esas alınacaktır. Beton ve donatı çeliği için tanımlanan beklenen (ortalama) dayanımları Denklem (7)'de verilmiştir. Denklemde; f_{ce} ve f_{ck} sırasıyla betonun ortalama ve karakteristik basınç dayanımlarını, f_{ye} ve f_{yk} ise sırasıyla çeliğin ortalama ve karakteristik akma dayanımlarını göstermektedir.

$$\theta_y = \frac{\emptyset_y L_s}{3} + 0.0015\eta\left(1 + 1.5\frac{h}{L_S}\right) + \frac{\emptyset_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (6)$$

$$(f_{ce} = 1.3 f_{ck}), \qquad (f_{ye} = 1.2 f_{yk}) \quad (7)$$

Bu çalışmada betonarme yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için TBDY, (2018)'de verilen kurallara göre farklı parametrelere ve geometriye sahip 18 adet betonarme kolon modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan betonarme kolon modellerinin kesit görünüşü ve donatı yerleşim planı Şekil (1)'de ve kolon modellerine ait kesit özellikleri Çizelge (3)'te verilmiştir. Tasarlanan betonarme kolon kesitlerinde gerçek malzeme davranışları esas alınarak farklı parametrelere göre (farklı parametre olarak; boyuna donatı çapı, sargı donatı çapı, sargı donatı aralığı ve eksenel yük seviyesi) analizlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden akma eğriliği ($\emptyset_y$), akma momenti (M_y), göçme öncesi eğrilik ($\emptyset_u$), eğilme momenti kapasitesi (M_u) ve eğrilik sünekliği (μ) değerleri hesaplanmıştır. Betonarme kolon modellerinin moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen veriler kullanılarak kolon kesitlerinin davranışları incelenmiştir. Betonarme kolonların davranışı, malzemelerin doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınarak farklı parametreler için moment-eğrilik ilişkileri SAP2000 (Ver.20.2.0) programı ile elde edilmiştir. Betonarme kesitlerde süneklik, kesitin dayanımında önemli bir azalma olmadan yapabileceği doğrusal ötesi deformasyon kapasitesi olarak tanımlanır. Sayısal olarak süneklik, eğrilik süneklik katsayısı (μ) ile ifade edilir. Eğrilik süneklik katsayısı (μ), moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen göçme öncesi eğriliğin ($\emptyset_u$) akma eğriliğine ($\emptyset_y$) oranı olarak Denklem (8) ile hesaplanır.

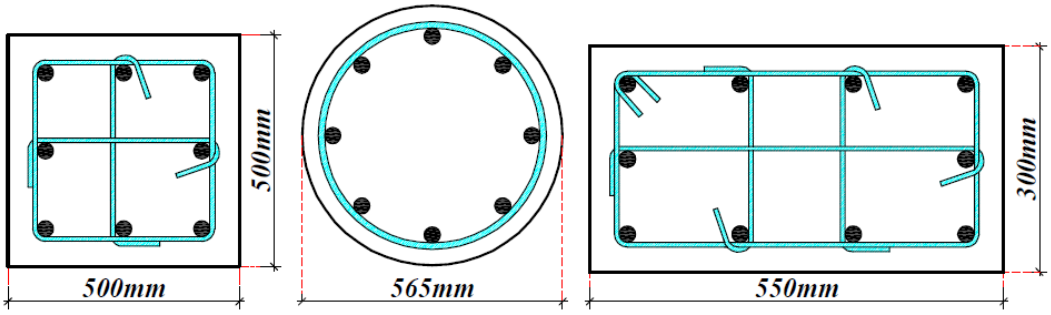
$$\mu = \frac{\emptyset_u}{\emptyset_y} \quad (8)$$

Tasarlanan betonarme kolon modellerinde yapılan performans değerlendirmesinde; GÖ, KH ve SH için oluşan şekil değiştirme ve iç kuvvet sınır değerleri, farklı sargı donatı çapı, sargı donatı aralığı ve boyuna donatı çapına göre hesaplanan beton ve donatı çeliği

birim şekil değiştirmeleri, farklı eksenel yük seviyelerinde plastik mafsal akma dönmesi ve plastik dönmeler hesaplanarak kolon kesitlerinin performans düzeyleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Kare en-kesitli kolonlarda farklı performans düzeyi için oluşan şekil değiştirme ve iç kuvvet sınır değerleri hesaplanarak Çizelgeler ve grafikler halinde özetlenmiştir. Tasarlanan betonarme kolon modellerinde moment-eğrilik analizlerinden $\emptyset_y$, M_y, $\emptyset_u$, M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Moment-eğrilik ilişkileri ise malzemelerin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak farklı parametreler için SAP2000 programı ile elde edilmiştir. Betonarme kolon kesitin üç farklı malzeme modelinden oluştuğu düşünülmüştür. SAP2000 programı ile yapılan moment-eğrilik analizlerinde, kabuk betonu için Mander sargısız beton modeli, çekirdek betonu için Mander sargılı beton modeli (Mander vd., 1988) ve donatı çeliği için Çizelge (4)'te verilen pekleşmeli model kullanılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen moment-eğrilik grafiklerinden farklı modeller ve parametreler için elde edilen sınır değerler ($\emptyset_y$, M_y, $\emptyset_u$, M_u) çizelgeler halinde özetlenmiştir. Eğrilik sünekliği ise moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen $\emptyset_y$ ve $\emptyset_u$ değerlerinden faydalanarak Denklem (8)'den hesaplanmıştır. Yönetmelikte verilen hasar sınırlarını tanımlayan birim şekil değiştirme değerleri kare, dikdörtgen ve dairesel en-kesitli betonarme kolon modelleri için hesaplanmıştır. Şekil değiştirme sınırlarının hesaplanmasında TBDY (2018)'de tanımlanmış üç farklı hasar sınırı olan GÖ, KH ve SH seviyeleri kullanılmıştır. Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, farklı kesit hasar sınırlarına (GÖ, KH ve SH performans düzeyleri) göre izin verilen beton ve donatı çeliği şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) hesaplanmıştır. Beton ve donatı çeliği şekil değiştirme değerleri Çizelge (1)'de verilen denklemlerden hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen $\emptyset_y$ ve $\emptyset_u$ değerlerine göre plastik mafsal dönme değerleri hesaplanmıştır. Plastik mafsal dönmeleri Çizelge (2)'de verilen denklemlere göre hesaplanmıştır. Beton ve donatı çeliği için hesaplarda ve malzeme modellerinde kullanılan parametreler Çizelge (4)'te özetlenmiştir. Kesitlerde kullanılan donatı çapları ve donatı oranları TS500 (2000) ve TBDY (2018)'de verilen sınırlamalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Beton sınıfı olarak C30 seçilmiştir. Tüm kesit modelleri için, donatı çeliği olarak S420 seçilmiştir.



Şekil 1. Hesaplarda kullanılan betonarme kolon modellerinin kesit görünüşü

Çizelge 3. Tasarlanan betonarme kolon modellerine ait kesit özellikleri

Kare Kolon			Dairesel Kolon		Dikdörtgen Kolon			Boyuna Donatı	Etriye (mm)		Eksenel Yük
No	b(mm)	h(mm)	No	D(mm)	No	b(mm)	h(mm)		Çap	Aralık	(N/N_{max})
S1	500	500	CR1	565	REC1	300	550	Φ20	Φ8 Φ10 Φ12	50 75 100	0.10 0.20 0.30 0.40
S2			CR2		REC2			Φ22			
S3			CR3		REC3			Φ24			
S4			CR4		REC4			Φ26			
S5			CR5		REC5			Φ28			
S6			CR6		REC6			Φ30			

Çizelge 4. Malzeme modellerinde kullanılan parametreler (TBDY, 2018)

Malzeme	Parametre	Değer
Beton Sınıfı: C30	Sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirme değeri (ε_{co})	0.0020
	Sargısız betonun nihai birim şekil değiştirmesi (ε_{cu})	0.0035
	Karakteristik beton basınç dayanımı (f_{ck})	30MPa
Donatı Çeliği: S420	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})	0.10
	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı (f_{yk})	420MPa
	Donatı çeliğinin karakteristik kopma dayanımı (f_{su})	550MPa

3. Araştırma Bulguları

3.1. Kare En-Kesitli Kolon Modelleri

Kare en-kesitli betonarme kolon modelleri için farklı boyuna donatı çapı, sargı donatı çapı, sargı donatı aralığı ve eksenel yük seviyelerine göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon modelleri için $\emptyset_y$, M_y, $\emptyset_u$, M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen kare en-kesitli betonarme kolonların farklı parametrelere göre akma durumu için θ_y değerleri Denklem (6) ile hesaplanmıştır. Kare en-kesitli betonarme kolon modelleri için elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge (5, 6 ve 7)'de özetlenmiştir.

Çizelge 5. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
S1	Φ20	Φ8/50mm	0.10	322.9	0.0073	405.9	0.2417	33.11	0.00737
			0.20	433.1	0.0084	486.8	0.2038	24.26	0.00814
			0.30	520.4	0.0097	544.9	0.1489	15.35	0.00906
			0.40	578.2	0.0114	584.7	0.1257	11.03	0.01025
		Φ8/75mm	0.10	324.3	0.0072	396.3	0.2043	28.38	0.00730
			0.20	431.1	0.0084	480.6	0.1466	17.45	0.00814
			0.30	518.3	0.0097	536.7	0.1082	11.15	0.00906
			0.40	569.4	0.0116	571.9	0.0945	8.15	0.01039
		Φ8/100mm	0.10	324.4	0.0072	387.5	0.1887	26.21	0.00730
			0.20	431.6	0.0084	478.1	0.1190	14.17	0.00814
			0.30	516.5	0.0097	531.7	0.0905	9.33	0.00906
			0.40	563.1	0.0118	564.3	0.0776	6.58	0.01053

Çizelge 6. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
S1	Φ20	Φ10/50mm	0.10	323.6	0.0073	410.0	0.2579	35.33	0.00737
			0.20	433.6	0.0084	508.5	0.2330	27.74	0.00814
			0.30	524.8	0.0096	570.0	0.2179	22.70	0.00899
			0.40	587.8	0.0112	601.9	0.1716	15.32	0.01011
		Φ12/50mm	0.10	322.4	0.0074	411.2	0.2950	39.86	0.00744
			0.20	434.6	0.0085	518.8	0.2845	33.47	0.00821
			0.30	525.8	0.0096	596.2	0.2488	25.92	0.00899
			0.40	596.7	0.0111	643.3	0.2391	21.54	0.01004

Çizelge 7. Kare en-kesitli kolonların farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
S2	8Φ22	Φ10/50mm	0.10	356.8	0.0075	462.4	0.2617	34.89	0.00766
			0.20	466.3	0.0086	556.6	0.2360	27.44	0.00846
			0.30	556	0.0097	613.5	0.2126	21.92	0.00925
			0.40	618.6	0.0113	641.2	0.1685	14.91	0.01041
S3	8Φ24	Φ10/50mm	0.10	392.3	0.0076	518.9	0.2633	34.64	0.00789
			0.20	502.0	0.0088	607.5	0.240	27.27	0.00878
			0.30	591.8	0.0098	660.3	0.2072	21.14	0.00952
			0.40	654.4	0.0113	683.3	0.1668	14.76	0.01064
S4	8Φ26	Φ10/50mm	0.10	431.4	0.0077	579.2	0.2649	34.40	0.00812
			0.20	540.2	0.0090	661.7	0.245	27.22	0.00911
			0.30	629.5	0.0099	710.2	0.2019	20.39	0.00980
			0.40	691.3	0.0114	728.1	0.1659	14.55	0.01094
S5	8Φ28	Φ10/50mm	0.10	474.7	0.0078	643.5	0.2665	34.17	0.00835
			0.20	580.7	0.0095	719.1	0.2570	27.05	0.00968
			0.30	668.1	0.0099	763.2	0.1965	19.85	0.01000
			0.40	730.5	0.0114	775.5	0.1649	14.46	0.01117
S6	8Φ30	Φ10/50mm	0.10	519.0	0.00795	710.7	0.2708	34.06	0.00863
			0.20	623.6	0.0097	779.4	0.2605	26.86	0.01004
			0.30	710.6	0.010	819.3	0.1912	19.12	0.01028
			0.40	773.3	0.0115	825.9	0.1642	14.28	0.01148

Kare kesitli kolonlar için farklı parametrelere göre farklı performans düzeyi için hesaplanan ε_c değerleri Çizelge (8, 11 ve 14)'te verilmiştir. Kare kesitli kolonlar için farklı parametrelere göre farklı performans düzeyi için hesaplanan ε_s değerleri Çizelge (9, 12 ve 15)'te verilmiştir. Kare kesitli kolonların farklı parametreler için farklı eksenel yük seviyelerinde farklı performans düzeyine göre hesaplanan θ_p değerleri Çizelge (10, 13 ve 16)'da verilmiştir. Kare en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı aralığına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (2)'de, farklı sargı donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (3)'te ve farklı boyuna donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (4)'te verilmiştir.

Çizelge 8. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatısı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	Φ8/50mm	ε_c	0.0129	0.0097	0.0025
		Φ8/75mm		0.0110	0.0082	
		Φ8/100mm		0.0098	0.0073	

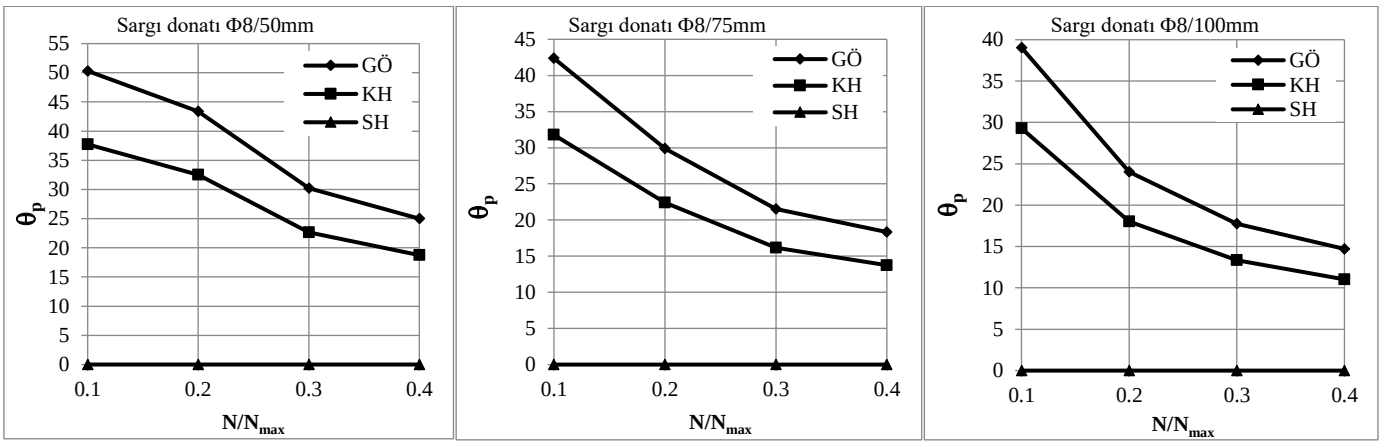
Çizelge 9. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatısı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	Φ8/50mm Φ8/75mm Φ8/100mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075

Betonarme kolon kesitlerinde oluşan mafsallardaki θ_p değerleri farklı sargı donatı aralığı ve eksenel yük seviyelerine göre GÖ, KH ve SH performans düzeyleri için hesaplanmıştır.

Çizelge 10. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Eksenel Yük N/N_{max}	Sargı donatısı	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	0.10	Φ8/50mm	θ_p	50.31	37.73	0
		0.20			43.36	32.52	
		0.30			30.20	22.65	
		0.40			25.00	18.75	
		0.10	Φ8/75mm	θ_p	42.37	31.78	0
		0.20			29.91	22.43	
		0.30			21.54	16.16	
		0.40			18.34	13.75	
		0.10	Φ8/100mm	θ_p	39.05	29.29	0
		0.20			24.04	18.03	
		0.30			17.77	13.33	
		0.40			14.71	11.03	



Şekil 2. Kare en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı aralığına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Çizelge 11. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

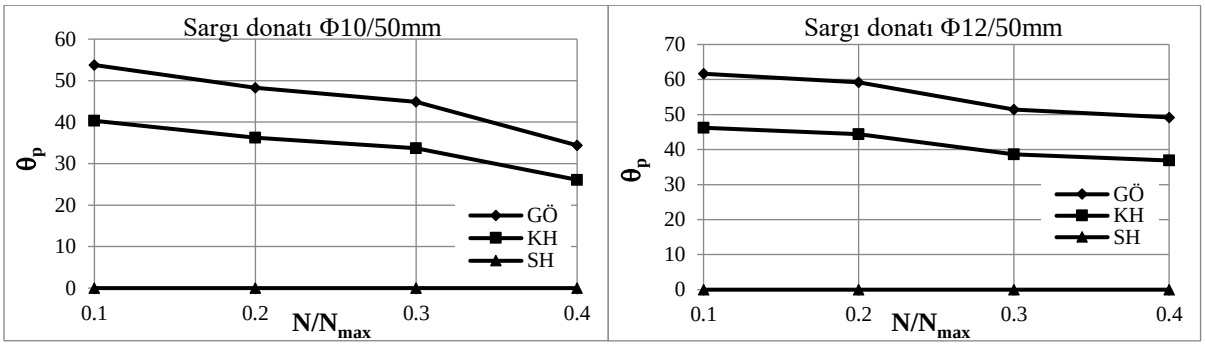
No	Boyuna donatı	Sargı donatısı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_c	0.0153	0.0115	0.0025
		Φ12/50mm		0.0178	0.0133	0.0025

Çizelge 12. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatısı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	Φ10/50mm Φ12/50mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075

Çizelge 13. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Eksenel Yük N/N_{max}	Sargı donatısı	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	0.10	Φ10/50mm	θ_p	53.76	40.32	0
		0.20			48.29	36.22	
		0.30			44.90	33.67	
		0.40			34.40	26.10	
		0.10	Φ12/50mm	θ_p	61.64	46.23	0
		0.20			59.24	44.43	
		0.30			51.47	38.60	
		0.40			49.18	36.88	



Şekil 3. Kare en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Çizelge 14. Kare en-kesitli kolonların farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

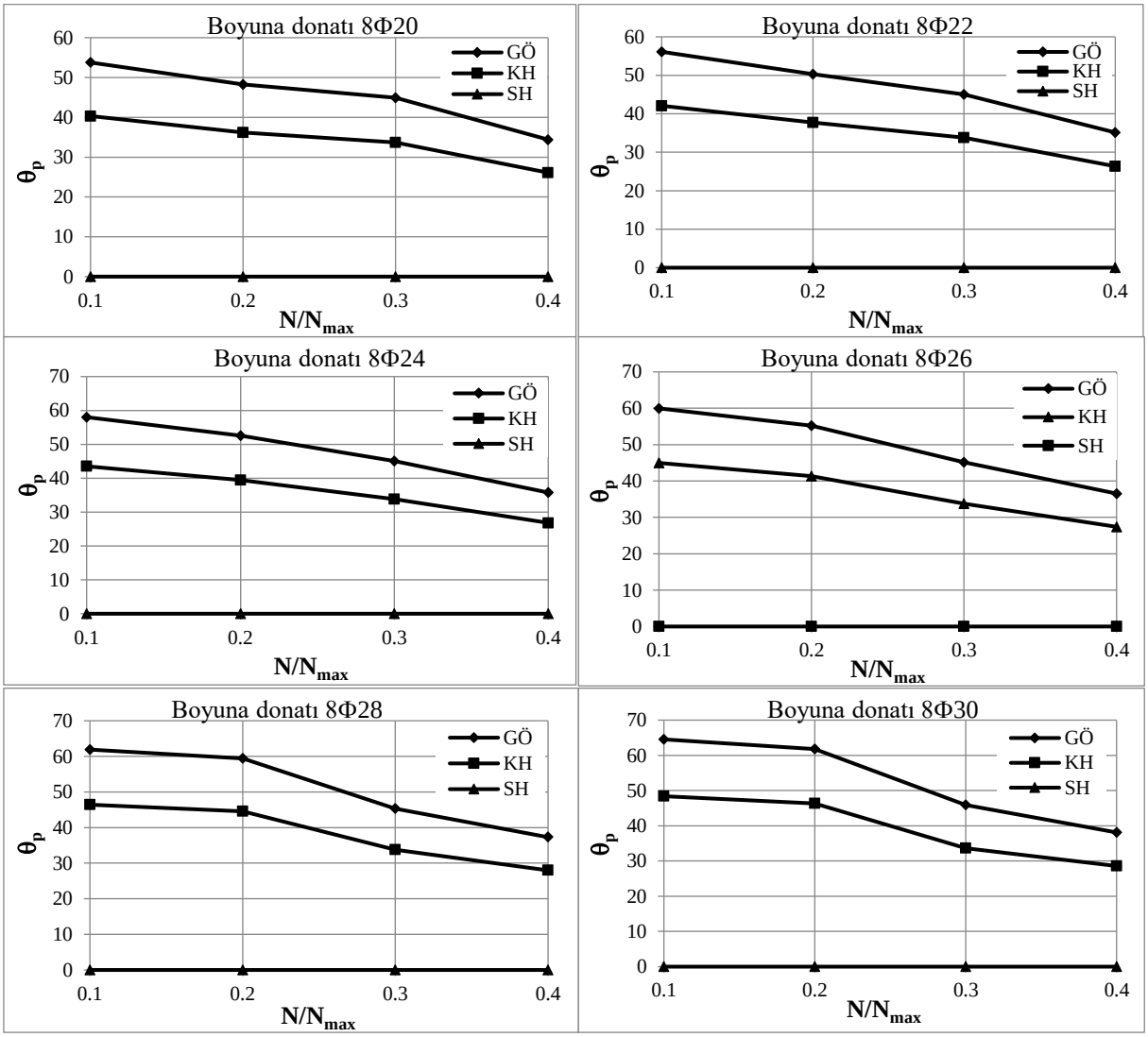
No	Boyuna donatı	Sargı donatısı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_c	0.01533	0.01150	0.0025
S2	8Φ22			0.01535	0.01152	0.0025
S3	8Φ24			0.01538	0.01153	0.0025
S4	8Φ26			0.01540	0.01155	0.0025
S5	8Φ28			0.01542	0.01157	0.0025
S6	8Φ30			0.01545	0.01159	0.0025

Çizelge 15. Kare en-kesitli kolonların farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatısı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
S1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075
S2	8Φ22					
S3	8Φ24					
S4	8Φ26					
S5	8Φ28					
S6	8Φ30					

Çizelge 16. Kare en-kesitli kolonların farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Eksenel Yük N/N_{max}	Plastik dönmeler	Performans düzeyi GÖ	KH	SH
S2	8Φ22	Φ10/50mm	0.10	θ_p	56.11	42.08	0
			0.20		50.32	37.74	
			0.30		45.03	33.77	
			0.40		35.14	26.35	
S3	8Φ24	Φ10/50mm	0.10	θ_p	58.02	43.52	0
			0.20		52.60	39.45	
			0.30		45.08	33.81	
			0.40		35.77	26.82	
S4	8Φ26	Φ10/50mm	0.10	θ_p	59.96	44.97	0
			0.20		55.17	41.37	
			0.30		45.18	33.81	
			0.40		36.54	27.41	
S5	8Φ28	Φ10/50mm	0.10	θ_p	61.91	46.43	0
			0.20		59.40	44.55	
			0.30		45.31	33.76	
			0.40		37.30	27.98	
S6	8Φ30	Φ10/50mm	0.10	θ_p	64.53	48.40	0
			0.20		61.76	46.32	
			0.30		45.89	33.67	
			0.40		38.11	28.58	



Şekil 4. Kare en-kesitli kolonlarının farklı boyuna donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

3.2. Dikdörtgen En-Kesitli Kolon Modelleri

Dikdörtgen en-kesitli betonarme kolon modelleri için farklı eksenel yük seviyelerine göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon modelleri için $\emptyset_y$, M_y, $\emptyset_u$, M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen dikdörtgen en-kesitli betonarme kolonların farklı parametrelere göre akma durumu için θ_y değerleri hesaplanmıştır. Dikdörtgen en-kesitli betonarme kolon modelleri için elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge (17, 18 ve 19)'da özetlenmiştir.

Çizelge 17. Dikdörtgen en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
REC1	10Φ20	Φ8/50mm	0.10	318.60	0.0068	441.19	0.2527	37.16	0.00710
			0.20	394.35	0.0077	481.03	0.2086	27.09	0.00773
			0.30	457.10	0.0087	516.75	0.1891	21.74	0.00843
			0.40	499.43	0.010	531.97	0.1476	14.76	0.00934
		Φ8/75mm	0.10	318.57	0.0068	420.14	0.1849	27.19	0.00710
			0.20	392.16	0.0077	457.05	0.1630	21.17	0.00773
			0.30	454.52	0.0088	489.57	0.1343	15.26	0.00850
			0.40	492.37	0.0102	504.55	0.1061	10.40	0.00948
		Φ8/100mm	0.10	318.56	0.0068	405.72	0.1545	22.72	0.00710
			0.20	391.8	0.0077	444.41	0.1375	17.86	0.00773
			0.30	453.06	0.0088	482.88	0.1082	12.30	0.00850
			0.40	487.90	0.0103	496.15	0.0835	8.11	0.00955

Çizelge 18. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
REC1	10Φ20	Φ10/50mm	0.10	320.83	0.0069	449.57	0.2881	41.75	0.00717
			0.20	393.89	0.0078	506.18	0.2751	35.27	0.00780
			0.30	458.70	0.0087	542.40	0.2595	29.83	0.00843
			0.40	506.14	0.0099	572.30	0.2171	21.93	0.00927
		Φ12/50mm	0.10	322.77	0.0069	453.21	0.3095	44.86	0.00717
			0.20	393.45	0.0078	516.50	0.2995	38.40	0.00780
			0.30	459.21	0.0087	583.10	0.2703	31.07	0.00843
			0.40	510.72	0.0090	597.30	0.2445	27.17	0.00864

Çizelge 19. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
REC2	10Φ22	Φ10/50mm	0.10	361.4	0.0070	513.8	0.2828	40.40	0.00738
			0.20	434.8	0.0079	562.6	0.2749	34.80	0.00803
			0.30	497.2	0.0087	598.2	0.2573	29.57	0.00861
			0.40	544.5	0.0099	626.4	0.2151	21.73	0.00947
REC3	10Φ24	Φ10/50mm	0.10	404.2	0.0071	582.1	0.2781	39.17	0.00759
			0.20	477.2	0.008	623.7	0.2722	34.03	0.00826
			0.30	541.4	0.0088	658.8	0.2555	29.03	0.00886
			0.40	588.1	0.0099	685.1	0.2130	21.52	0.00967
REC4	10Φ26	Φ10/50mm	0.10	451.5	0.0072	654.4	0.2752	38.22	0.00781
			0.20	520.4	0.0081	689.6	0.2669	32.95	0.00850
			0.30	586.9	0.0089	724.3	0.2539	28.53	0.00911
			0.40	631.6	0.010	748.2	0.2108	21.08	0.00995
REC5	10Φ28	Φ10/50mm	0.10	500.0	0.0074	725.2	0.2730	36.89	0.00812
			0.20	574.3	0.0082	760.2	0.2630	32.07	0.00874
			0.30	634.2	0.0090	794.5	0.2525	28.06	0.00937
			0.40	679.4	0.010	815.7	0.2087	20.87	0.01015
REC6	10Φ30	Φ10/50mm	0.10	556.2	0.0075	800.7	0.2701	36.01	0.00834
			0.20	622.3	0.0083	835.3	0.2604	31.37	0.00899
			0.30	686.7	0.0090	867.3	0.2511	27.90	0.00955
			0.40	732.6	0.010	887.5	0.2066	20.66	0.01035

Dikdörtgen kesitli kolon için farklı parametrelere göre farklı performans düzeyi için hesaplanan ε_c değerleri Çizelge (20, 23 ve 26)'da verilmiştir. Dikdörtgen kesitli kolon için farklı parametrelere göre farklı performans düzeyi için hesaplanan ε_s değerleri

Çizelge (21, 24 ve 27)'de verilmiştir. Dikdörtgen kesitli kolonların farklı parametreler için farklı eksenel yük seviyelerde farklı performans düzeyine göre hesaplanan θ_p değerleri Çizelge (22, 25 ve 28)'de verilmiştir. Dikdörtgen en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı aralığına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (5)'te, farklı sargı donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (6)'da ve farklı boyuna donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (7)'de verilmiştir.

Çizelge 20. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

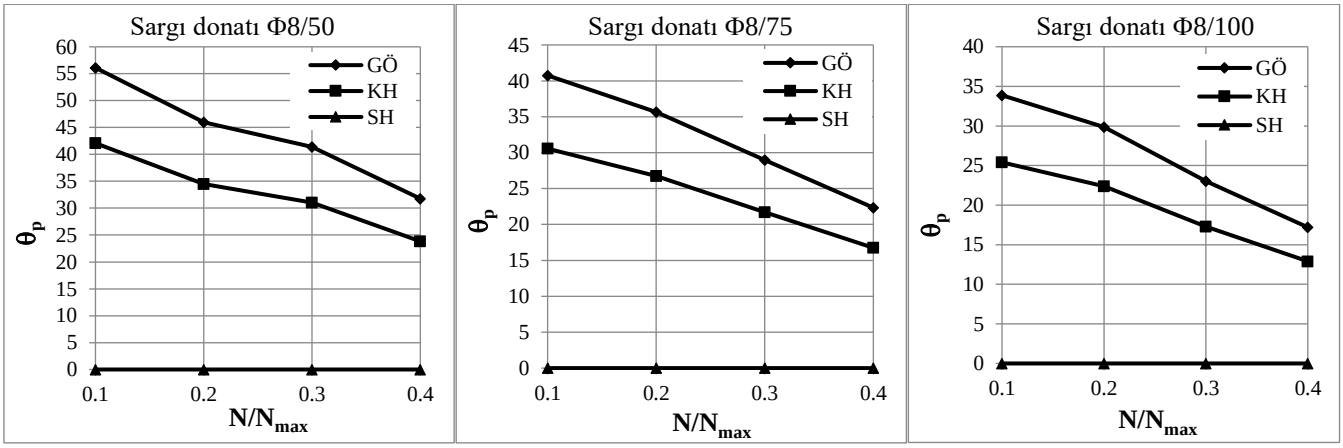
No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
REC1	10Φ20	Φ8/50mm	ε_c	0.0138	0.0103	0.0025
		Φ8/75mm		0.0115	0.0087	
		Φ8/100mm		0.0102	0.0076	

Çizelge 21. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
REC1	10Φ20	Φ8/50mm Φ8/75mm Φ8/100mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075

Çizelge 22. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Eksenel Yük N/N_{max}	Sargı donatı aralığı	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
REC1	8Φ20	0.10	Φ8/50mm	θ_p	56.11	42.08	0
		0.20			45.97	34.48	
		0.30			41.39	31.04	
		0.40			31.77	23.83	
		0.10	Φ8/75mm	θ_p	40.75	30.56	0
		0.20			35.64	26.73	
		0.30			28.96	21.72	
		0.40			22.34	16.75	
REC1	8Φ20	0.10	Φ8/100mm	θ_p	33.87	25.40	0
		0.20			29.87	22.40	
		0.30			23.04	17.28	
		0.40			17.20	12.90	



Şekil 5. Dikdörtgen en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı aralığına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Çizelge 23. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

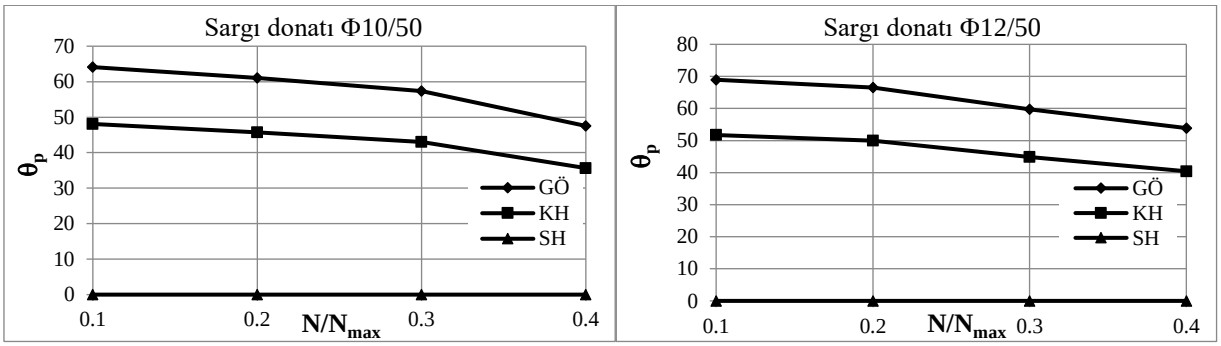
No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
REC1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_c	0.0164	0.0123	0.0025
		Φ12/50mm		0.0180	0.0135	

Çizelge 24. Dikdörtgen kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
REC1	8Φ20	Φ10/50mm Φ12/50mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075

Çizelge 25. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Eksenel Yük N/N_{max}	Sargı donatı aralığı	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
REC1	8Φ20	0.10	Φ10/50mm	θ_p	64.11	48.09	0
		0.20			61.02	45.76	
		0.30			57.34	43.0	
		0.40			47.53	35.65	
		0.10	Φ12/50mm	θ_p	68.96	51.72	0
		0.20			66.55	49.91	
		0.30			59.78	44.84	
		0.40			53.89	40.42	



Şekil 6. Dikdörtgen en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Çizelge 26. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

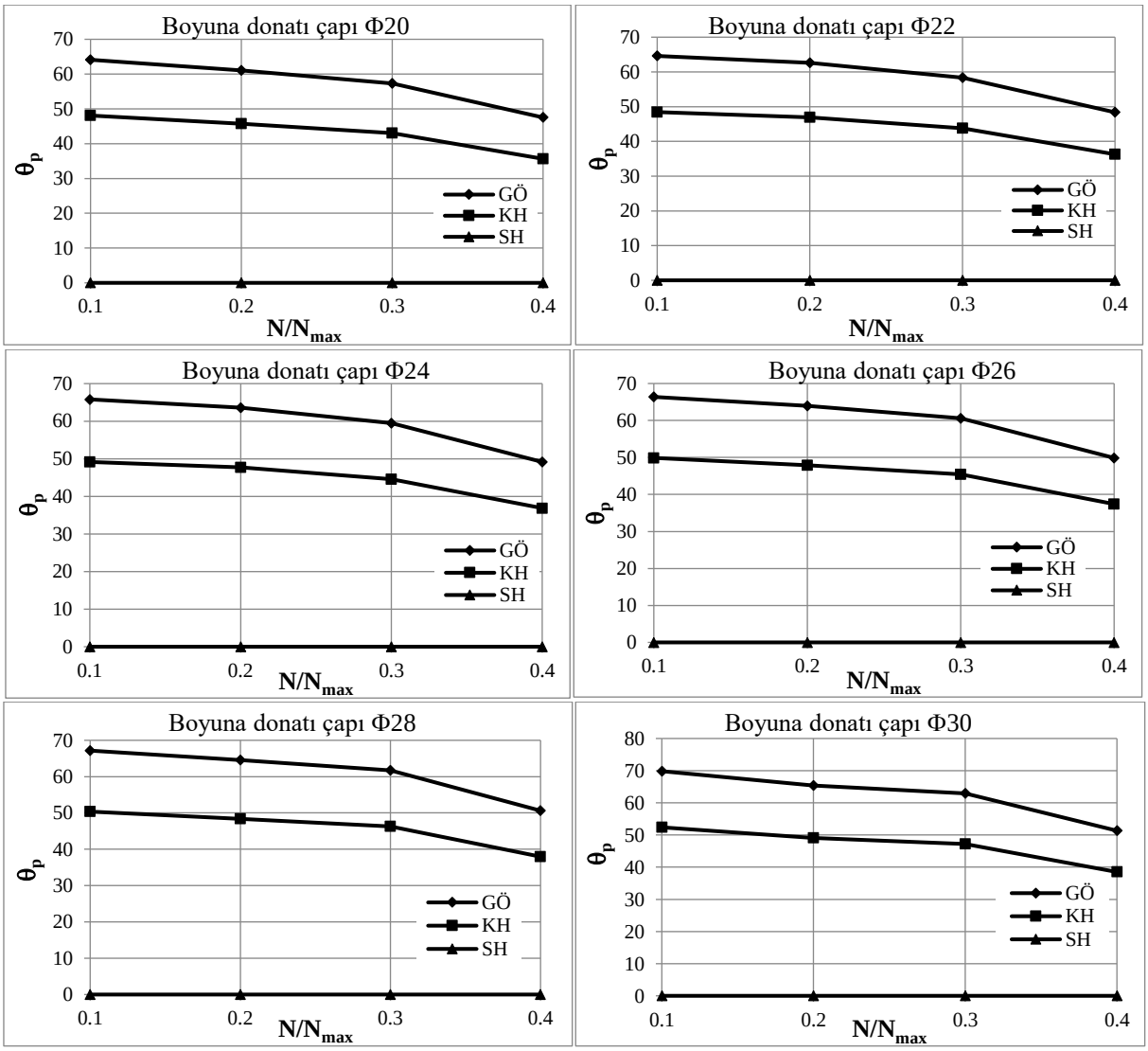
No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
REC1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_c	0.01639	0.01230	0.0025
REC2	8Φ22			0.01642	0.01231	
REC3	8Φ24			0.01644	0.01233	
REC4	8Φ26			0.01647	0.01235	
REC5	8Φ28			0.01649	0.01237	
REC6	8Φ30			0.01652	0.01239	

Çizelge 27. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
REC1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075
REC2	8Φ22					
REC3	8Φ24					
REC4	8Φ26					
REC5	8Φ28					
REC6	8Φ30					

Çizelge 28. Dikdörtgen en-kesitli kolonun farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Eksenel Yük N/N_{max}	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
REC2	8Φ22	Φ10/50mm	0.10	θ_p	64.59	48.44	0
			0.20		62.61	46.95	
			0.30		58.38	43.79	
			0.40		48.37	36.28	
REC3	8Φ24	Φ10/50mm	0.10	θ_p	65.15	48.86	0
			0.20		63.60	47.70	
			0.30		59.48	44.61	
			0.40		49.16	36.87	
REC4	8Φ26	Φ10/50mm	0.10	θ_p	66.10	49.57	0
			0.20		63.92	47.94	
			0.30		60.60	45.45	
			0.40		49.88	37.41	
REC5	8Φ28	Φ10/50mm	0.10	θ_p	67.16	50.37	0
			0.20		64.52	48.39	
			0.30		61.76	46.32	
			0.40		50.62	37.96	
REC6	8Φ30	Φ10/50mm	0.10	θ_p	68.04	51.03	0
			0.20		65.42	49.06	
			0.30		62.92	47.19	
			0.40		51.33	38.50	



Şekil 7. Dikdörtgen en-kesitli kolonlarının farklı boyuna donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

3.3 Dairesel en-kesitli kolon modelleri

Dairesel en-kesitli betonarme kolon modelleri için farklı eksenel yük seviyelerine göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon modelleri için $\emptyset_y$, M_y, $\emptyset_u$, M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen dairesel en-kesitli betonarme kolonların farklı parametrelere göre akma durumu için θ_y değerleri hesaplanmıştır. Dairesel en-kesitli betonarme kolon modelleri için elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge (29, 30 ve 31)'de özetlenmiştir.

Çizelge 29. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
CR1	8Φ20	Φ8/50mm	0.10	297.40	0.0067	386.43	0.1478	22.06	0.00705
			0.20	395.48	0.0077	459.36	0.1061	13.78	0.00775
			0.30	472.07	0.0088	517.41	0.0834	9.48	0.00852
			0.40	524.63	0.0101	554.06	0.0723	7.16	0.00944
		Φ8/75mm	0.10	297.20	0.0067	374.75	0.1145	17.09	0.00705
			0.20	393.57	0.0077	454.59	0.0813	10.56	0.00775
			0.30	469.53	0.0088	510.31	0.0642	7.30	0.00852
			0.40	518.41	0.0102	542.57	0.0562	5.51	0.00951
		Φ8/100mm	0.10	296.60	0.0067	366.07	0.0971	14.49	0.00705
			0.20	393.36	0.0077	451.80	0.0681	8.84	0.00775
			0.30	467.62	0.0088	506.09	0.0547	6.22	0.00852
			0.40	514.57	0.0102	534.40	0.0472	4.63	0.00951

Çizelge 30. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
CR1	8Φ20	Φ10/50mm	0.10	297.33	0.0067	395.56	0.2022	30.18	0.00705
			0.20	397.43	0.0077	479.57	0.1456	18.91	0.00775
			0.30	476.57	0.0088	534.15	0.1160	13.18	0.00852
			0.40	531.69	0.010	565.71	0.0971	9.71	0.00937
		Φ12/50mm	0.10	297.75	0.0068	401.26	0.2463	36.22	0.00712
			0.20	398.53	0.0078	494.8	0.1916	24.56	0.00782
			0.30	480.35	0.0088	560.17	0.1530	17.39	0.00852
			0.40	539.50	0.010	601.15	0.1280	12.80	0.00937

Çizelge 31. Dairesel en-kesitli kolonunun farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan M_y, $\emptyset_y$, M_u, $\emptyset_u$, μ ve θ_y değerleri

Kesit	Boyuna donatı	Sargı donatı	N/N_{max}	M_y	$\emptyset_y$	M_u	$\emptyset_u$	μ	θ_y
CR2	8Φ22	Φ10/50mm	0.10	324.1	0.0068	442.3	0.1925	28.31	0.00726
			0.20	422.6	0.0078	521.2	0.1417	18.17	0.00798
			0.30	501.4	0.0088	571.8	0.1138	12.93	0.00870
			0.40	556.9	0.010	598.0	0.0964	9.64	0.00957
CR3	8Φ24	Φ10/50mm	0.10	353.4	0.0069	492.3	0.1824	26.43	0.00747
			0.20	450.1	0.0079	565.9	0.1373	17.38	0.00821
			0.30	528.9	0.0089	612.3	0.1112	12.49	0.00895
			0.40	584.5	0.010	634.7	0.0954	9.54	0.00977
CR4	8Φ26	Φ10/50mm	0.10	385.6	0.0070	545.5	0.1736	24.80	0.00768
			0.20	479.8	0.0079	613.4	0.1334	16.89	0.00837
			0.30	559.2	0.0089	655.6	0.1089	12.24	0.00913
			0.40	614.6	0.010	674.0	0.0949	9.49	0.00997
CR5	8Φ28	Φ10/50mm	0.10	418.2	0.0071	601.8	0.1654	23.30	0.00790
			0.20	511.8	0.0080	663.7	0.1297	16.21	0.00861
			0.30	590.3	0.0090	701.5	0.1066	11.84	0.00939
			0.40	646.6	0.010	716.2	0.0944	9.44	0.01017
CR6	8Φ30	Φ10/50mm	0.10	453.4	0.0072	661.1	0.1579	21.93	0.00813
			0.20	545.8	0.0081	716.2	0.1261	15.57	0.00885
			0.30	623.8	0.0090	750.1	0.1043	11.59	0.00957
			0.40	680.2	0.010	761.1	0.0939	9.39	0.01037

Dairesel kesitli kolon için farklı parametrelere göre farklı performans düzeyi için hesaplanan ε_c değerleri Çizelge (32, 35 ve 38)'de verilmiştir. Dairesel kesitli kolon için farklı parametrelere göre farklı performans düzeyi için hesaplanan ε_s değerleri Çizelge (33, 36 ve 39)'da verilmiştir. Dairesel kesitli kolonların farklı parametreler için farklı eksenel yük seviyelerde farklı performans düzeyine göre hesaplanan θ_p değerleri Çizelge (34, 37 ve 40)'ta verilmiştir. Dairesel en-kesitli kolon için farklı sargı donatı aralığına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (8)'de, farklı sargı donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (9)'da ve farklı boyuna donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri Şekil (10)'da verilmiştir.

Çizelge 32. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

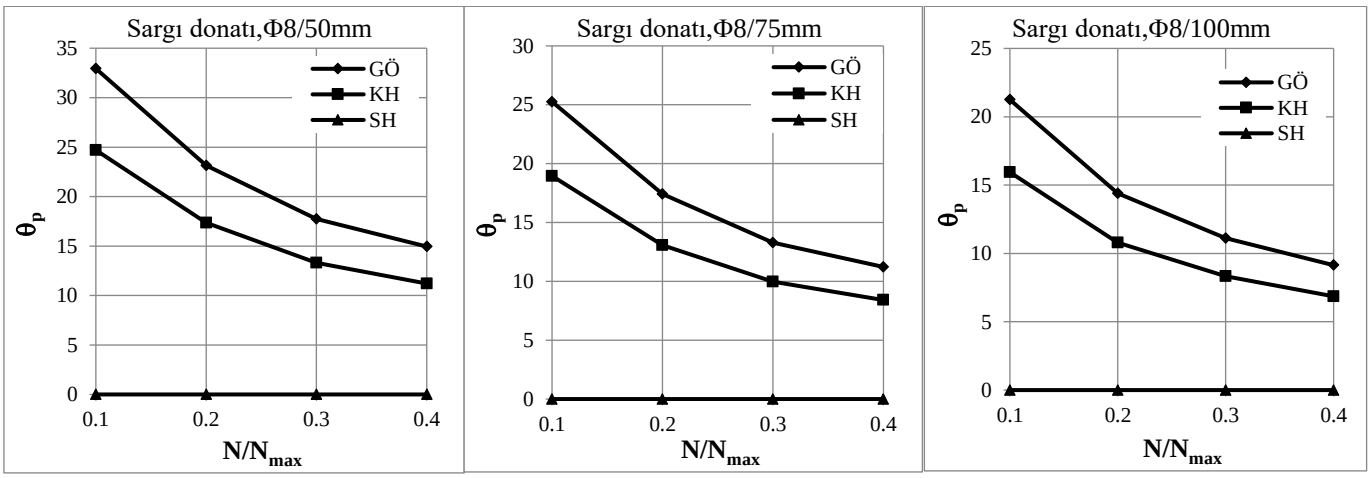
No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
CR1	10Φ20	Φ8/50mm	ε_c	$0.0189 > \varepsilon_c^{(GÖ)}$	0.0141	0.0025
		Φ8/75mm		0.0160	0.0120	
		Φ8/100mm		0.0141	0.0106	

Çizelge 33. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
CR1	10Φ20	Φ8/50mm Φ8/75mm Φ8/100mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075

Çizelge 34. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Eksenel Yük N/N_{max}	Sargı donatı aralığı	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
CR1	8Φ20	0.10	Φ8/50mm	θ_p	32.94	24.70	0
		0.20			23.15	17.36	
		0.30			17.73	13.30	
		0.40			14.95	11.21	
		0.10	Φ8/75mm	θ_p	25.26	18.95	0
		0.20			17.43	13.08	
		0.30			13.30	9.98	
		0.40			11.22	8.41	
		0.10	Φ8/100mm	θ_p	21.25	15.94	0
		0.20			14.39	10.79	
		0.30			11.11	8.33	
		0.40			9.14	6.86	



Şekil 8. Dairesel en-kesitli kolonunun farklı sargı donatı aralığına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Çizelge 35. Dairesel en-kesitli kolon için farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

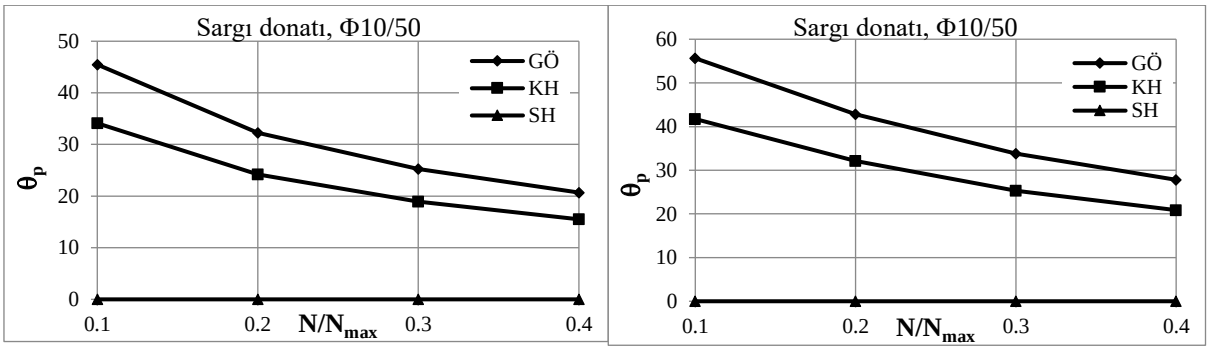
No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
CR1	8Φ20	Φ10/50mm Φ12/50mm	ε_c	$0.0228 > \varepsilon_c^{(GÖ)}$ $0.0267 > \varepsilon_c^{(GÖ)}$	0.0171 0.020	0.0025

Çizelge 36. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı aralığına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
CR1	8Φ20	Φ10/50mm Φ12/50mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075

Çizelge 37. Dairesel en-kesitli kolonun farklı sargı donatı çapına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Eksenel Yük N/N_{max}	Sargı donatı aralığı	Plastik dönmeler	Performans düzeyi		
					GÖ	KH	SH
CR1	8Φ20	0.10	Φ10/50mm	θ_p	45.48	34.11	0
		0.20			32.26	24.20	
		0.30			25.25	18.94	
		0.40			20.69	15.51	
		0.10	Φ12/50mm	θ_p	55.64	41.73	0
		0.20			42.85	32.14	
		0.30			33.78	25.34	
		0.40			27.81	20.86	



Şekil 9. Dairesel en-kesitli kolonların farklı sargı donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Çizelge 38. Dairesel en-kesitli kolonunun farklı boyuna donatı aralığına göre hesaplanan beton birim şekil değiştirme değerleri

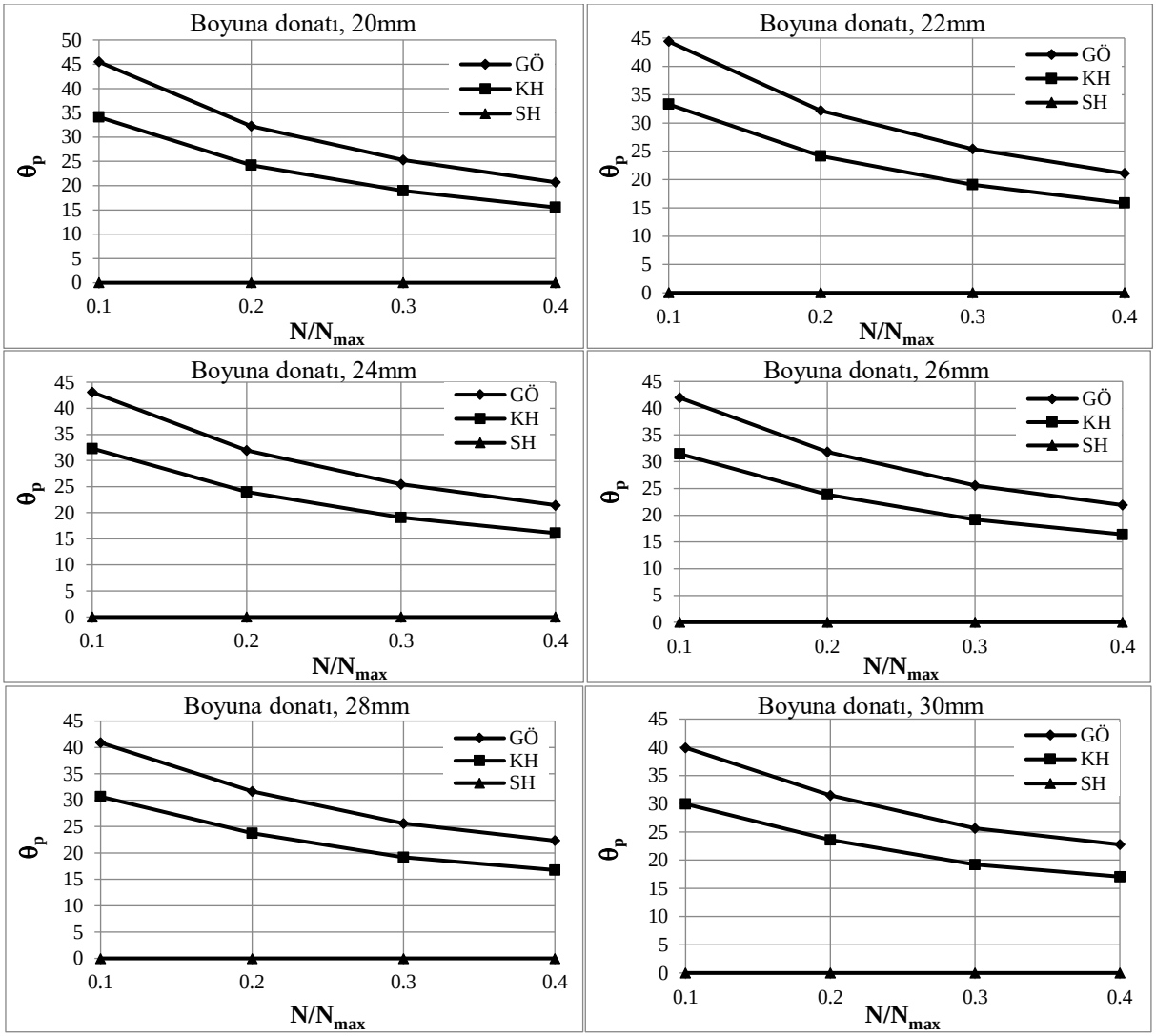
No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
CR1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_c	$0.0228 > \varepsilon_c^{(GÖ)}$	0.0171	0.0025
CR2	8Φ22					
CR3	8Φ24					
CR4	8Φ26					
CR5	8Φ28					
CR6	8Φ30					

Çizelge 39. Dairesel kolonun farklı boyuna donatı aralığına göre hesaplanan donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Şekil değiştirme ve İç Kuvvet Sınırları	Performans düzeyi		
				GÖ	KH	SH
CR1	8Φ20	Φ10/50mm	ε_s	0.0320	0.0240	0.0075
CR2	8Φ22					
CR3	8Φ24					
CR4	8Φ26					
CR5	8Φ28					
CR6	8Φ30					

Çizelge 40. Dairesel en-kesitli kolonunun farklı boyuna donatı çapına göre hesaplanan plastik dönme değerleri

No	Boyuna donatı	Sargı donatı aralığı	Eksenel Yük N/N_{max}	Plastik dönmeler	Performans düzeyi GÖ	KH	SH
CR2	8Φ22	Φ10/50mm	0.10	θ_p	44.39	33.29	0
			0.20		32.20	24.15	
			0.30		25.42	19.07	
			0.40		21.10	15.83	
CR3	8Φ24	Φ10/50mm	0.10	θ_p	43.07	32.30	0
			0.20		31.96	23.97	
			0.30		25.46	19.09	
			0.40		21.44	16.08	
CR4	8Φ26	Φ10/50mm	0.10	θ_p	41.96	31.47	0
			0.20		31.82	23.86	
			0.30		25.55	19.17	
			0.40		21.89	16.41	
CR5	8Φ28	Φ10/50mm	0.10	θ_p	40.90	30.67	0
			0.20		31.66	23.74	
			0.30		25.60	19.20	
			0.40		22.33	16.75	
CR6	8Φ30	Φ10/50mm	0.10	θ_p	39.92	29.94	0
			0.20		31.48	23.61	
			0.30		25.65	19.23	
			0.40		22.76	17.07	



Şekil 10. Dairesel en-kesitli kolonların farklı boyuna donatı çapına göre eksenel yük seviyesi-plastik dönme grafikleri

Yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için bu çalışmada, TBDY (2018)'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları analitik olarak incelenmiştir. Tasarlanan kare, dikdörtgen ve dairesel en-kesitli betonarme kolonların davranışı, malzemelerin doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınarak elde edilen moment-eğrilik analizlerinden; eksenel yük değerinin artışıyla birlikte betonarme kolon kesitlerinin M_y, $\emptyset_y$ ve M_u değerlerinde artış ve $\emptyset_u$ değerlerinde azalma görülmektedir. Sargı donatısı çapının artmasıyla M_y, $\emptyset_y$, M_u ve $\emptyset_u$ değerleri artmaktadır. Sargı donatısı aralığının artmasıyla M_y ve $\emptyset_y$ değerleri sabit kalmakta, M_u ve $\emptyset_u$ değerleri azalmaktadır. Boyuna donatı çapının artmasıyla M_y, $\emptyset_y$ ve M_u değerleri artmakta ve $\emptyset_u$ değerlerinde azalma görülmektedir. TBDY (2018)'e göre hesaplanan θ_y, eksenel yük seviyesi (N/N_{max}), boyuna donatı ve sargı donatı çapının artması ile artmakta fakat sargı donatı aralığının artması ile azalmaktadır.

Farklı performans düzeyleri için ε_c sınır değerleri, farklı sargı donatı çapı, sargı donatı aralığı ve boyuna donatı çapı için hesaplanmıştır. Farklı performans düzeyi için ε_s sınır değerleri; donatı çeliğinin çekme dayanımına karşı gelen birim uzama değerine bağlı olarak hesaplanmıştır. θ_p için izin verilen sınır değerler, kesite etkiyen eksenel kuvvet, sargılı ve sargısız beton modelleri ve donatı çeliği dikkate alınarak yapılan eğrilik analizi sonuçlarına göre hesaplanmıştır.

Sargı donatı aralığının artması ile farklı performans düzeyi için hesaplanan $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, $\varepsilon_c^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır. Farklı sargı donatı çapı, sargı donatı aralığı ve boyuna donatı çapına göre hesaplanan ε_c değerleri SH performans düzeyi için sabittir ($\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$). Betonarme kolon kesitlerinde farklı sargı donatı çapı, sargı donatı aralığı ve boyuna donatı çapına göre faklı performans düzeyinde hesaplanan $\varepsilon_s^{(GÖ)}$, $\varepsilon_s^{(KH)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)}$ değerleri sabittir. Bunun nedeni yönetmelikte donatı çeliği için verilen hasar sınırları; donatı çeliğinin kopma dayanımının farklı hasar seviyeleri için farklı sabit katsayılar ile çarpılarak bulunmasıdır.

Eksenel yük seviyesi (N/N_{max}) ve sargı donatı aralığının azalması ile farklı performans düzeylerinde hesaplanan $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri artmaktadır. Betonarme kolon kesitlerinde sabit eksenel yük seviyeleri ve artan sargı donatısı çapı için farklı performans düzeyi için hesaplanan $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri artmaktadır. SH performans düzeyinde taşıyıcı sistemlerde plastik mafsal oluşmasına izin verilmediği için farklı parametrelere göre betonarme kolon kesitlerinde $\theta_p^{(SH)} = 0$ elde edilmiştir.

4. Sonuç

Tasarlanan kolon kesitlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- TBDY (2018)'de donatı çeliği için farklı performans düzeylerinde verilen hasar sınırları, 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 ($\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$).
- Sargılı beton için verilen hasar sınırları ($\varepsilon_c^{(GÖ)}$, $\varepsilon_c^{(KH)}$), donatı çeliği ve betonun ortalama dayanımı (f_{ye}, f_{ce}), $\rho_{sh,min}$ ve sargı donatısının konfigürasyonuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Sargılı betonun SH performans düzeyi için hasar sınırı ise sabit değer olarak verilmektedir ($\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$).
- $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ve $\varepsilon_c^{(KH)}$ hasar sınırları farklı boyuna donatı çapı, sargı donatı çapı ve sargı donatı aralığına göre değişmektedir. Tasarlanan kolon kesitlerinde sabit boyuna donatı ve sargı donatı çapı için sargı donatı aralığının artması ile $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ve $\varepsilon_c^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır.
- Tasarlanan kolon kesitlerinde sabit boyuna donatı çapı ve sargı donatı aralığı için sargı donatı çapının artması ile $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, $\varepsilon_c^{(KH)}$ değerleri artmaktadır.
- Boyuna donatı çapının artması kolon kesitlerinde sargılı beton basınç dayanımını çok fazla değiştirmediği için şekil değiştirme sınırlarının hesaplanmasında, ε_c değerlerini çok fazla etkilememiştir. Tasarlanan kolon kesitlerinde sabit sargı donatı çapı ve sargı donatı aralığı için boyuna donatı çapının artması ile $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, $\varepsilon_c^{(KH)}$ değerlerini çok fazla etkilememiştir.
- Farklı performans düzeyi için verilen plastik dönme hasar sınırları (θ_p); $\emptyset_y$, $\emptyset_u$, L_P, L_S ve d_b'nin fonksiyonudur. Dolaysıyla eksenel yük seviyesi, sargı donatı oranı, boyuna donatı oranı, kesit geometrisi ve sargı donatısının konfigürasyonu gibi $\emptyset_y$ ve $\emptyset_u$ değerlerini etkileyen parametreler θ_p değerlerini de etkilemektedir.
- $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ hasar sınırları, moment-eğrilik ilişkisi ve eksenel yük seviyelerine göre değişmektedir.
- Sabit eksenel yük seviyesi, boyuna donatı ve sargı donatı çapı için sargı donatı aralığının artması ile $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır.
- Sabit eksenel yük seviyesi, boyuna donatı ve sargı donatı aralığı için sargı donatı çapının artması ile $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri artmaktadır.
- Sabit eksenel yük seviyesi, sargı donatı çapı ve sargı donatı aralığı için boyuna donatı çapının artması ile $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri artmaktadır.
- Sabit boyuna donatı çapı, sargı donatı çapı ve aralığı için eksenel yük seviyesinin artması ile $\theta_p^{(GÖ)}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır.
- Doğrusal olmayan hesap yöntemine göre performans değerlendirmelerinde en önemli aşamalardan birisi yapısal elemanlardaki GÖ, KH ve SH hasar düzeylerinin belirlenmesidir. Yapısal elemanlarda oluşacak hasarı belirlemek için değerlendirmeye esas alınan şekil değiştirme talepleri de büyük önem arz etmektedir.

Referanslar

Aydemir, C., Kırçıl, M. S., Hancıoğlu, B., & Zorbozan, M. (2011). Betonarme Kolonların Hasar Sınır Eğriliklerinin Belirlenmesi, İMO Teknik Dergi, 361(22), 5613-5642.

Celep, Z., & Kumbasar N. (2004). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 596s.

Çavdar, Ö., Bayraktar, E. & Çavdar, A. (2015). Mevcut Perdeli Betonarme Bir Yapinindoğrusal Olmayan Yöntemledeprem Performansinin Belirlenmesi, International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015), 7-9 May 2015, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye, 233-241.

Mander, J. B., Priestley, M. J. N. & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, 114(8), 1804-1826.

SAP2000. Structural software for analysis and design, Computers and Structures, Inc. Version 20.2.0. USA.

Sinani, B. (2014). Mevcut betonarme yapıların deprem performansının analizi. T.C. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde.

TBDY. (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

TS500. (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.