



ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI HASAR SINIRLARININ BELİRLENMESİNDE SARGI DONATISININ VE EKSENEL YÜKÜN ETKİSİ

Saeid FOROUGHİ*, Rohullah JAMAL, S. Bahadır YÜKSEL

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

Anahtar Kelimeler

*Moment-Eğrilik İlişkisi,
Performans Düzeyi,
Hasar Sınırları,
Şekil Değişirme Sınırları,
Plastik Dönme.*

Öz

Yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları analitik olarak incelenmiştir. Farklı parametrelerde kare enkesitli betonarme kolon modelleri tasarlanmıştır. Gerçek malzeme davranışları esas alınarak elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden kolon kesitleri için eğrilik sünekliği ve akma dönmesi değerleri elde edilmiştir. Analitik olarak araştırılan parametreler TBDY 2018 hükümlerinden ve kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerinden hesaplanmıştır. Daha sonra betonarme kolonların deprem performanslarının belirlenmesi için TBDY 2018'de verilen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları analitik olarak hesaplanmıştır. TBDY 2018'de tanımlanmış olan Göçmenin Önlenmesi, Kontrollü Hasar ve Sınırlı Hasar performans düzeyi hasar seviyeleri için betonarme kolonların şekil değiştirme sınırları ile plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Betonarme kolonlar için farklı hasar sınırlarına göre şekil değiştirme taleplerine karşılık gelen hasar sınırları gözlenmiş ve hasar sınırları değerlendirilmiştir. Betonarme kolonların farklı performans düzeyleri için oluşan şekil değiştirme değerleri, farklı sargı donatı oranına göre hesaplanan beton toplam birim şekil değiştirmeleri ve farklı eksenel yük seviyelerinde akma dönme değerleri ve plastik dönme değerleri hesaplanarak kolonların performans düzeyleri araştırılmıştır. Analizlerden eksenel yük seviyesinin artmasıyla hasar sınırlarının azaldığı, aynı eksenel yük seviyelerinde sargı donatı miktarının daha da önem kazandığı ve yönetmeliğin öngördüğü hasar sınırlarının son derece etkili olduğu sonuçları elde edilmiştir.

EFFECT OF CONFINING REINFORCEMENT AND AXIAL LOAD IN DETERMINING DEFORMATION BASED DAMAGE LIMITS

Keywords

*Moment-Curvature Relation,
Performance Level,
Damage Limits,
Deformation Limits,
Plastic Rotation.*

Abstract

In order to determine the earthquake performance of structural elements, the deformation-based damage limits for reinforced concrete elements in Turkish Building Earthquake Code (TBEC) 2018 were analyzed analytically. Reinforced concrete column models with square cross-section having different parameters were designed. From the moment-curvature relationships based on real material behaviors, curvature ductility and yield rotation values were obtained for column sections. Analytically investigated parameters were calculated from TBEC 2018 provisions and moment-curvature relationships. Afterward, deformation based damage limits given in TBEC 2018 were analyzed analytically in order to determine the earthquake performance of reinforced concrete columns. For the collapse prevention, controlled damage and limited damage performance levels defined in TBEC 2018, deformation limits and plastic rotation values of reinforced concrete columns were obtained. For the reinforced concrete columns, the damage limits corresponding to the deformation demands according to different damage limits were observed and the damage limits were evaluated. The performance values of the columns were investigated by calculating the deformation limits for different

* İlgili yazar / Corresponding author: saeid.foroughi@yahoo.com, +90-553-176 5223.

performance levels of reinforced concrete columns, total unit deformations of concrete calculated according to different confining reinforcement ratios, and yield rotation and plastic rotation values at different axial load levels. From the analysis, it was obtained that the damage limits decreased with the increase of the axial load level, the amount of confining reinforcement became more important at the same axial load levels and the damage limits envisaged by the regulation were extremely effective.

Alıntı / Cite

Foroughi, S., Jamal, R., Yüksel, S. B., (2020). Şekil Değiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Belirlenmesinde Sargı Donatısının ve Eksenel Yükün Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1042-1052.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Foroughi, 0000-0002-7556-2118
R. Jamal, 0000-0001-5987-8502
S. B. Yüksel, 0000-0002-4175-1156

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.06.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	19.10.2020
Yayın Tarihi / Published Date	25.12.2020

1. Giriş (Introduction)

Betonarme kolonlar, çerçevesel yapıların sismik davranışını belirleyen ana taşıyıcı elemanlardır. Betonarme yapılarda depremler sonrası kolonlarda oluşan hasarlar nedeniyle yapıların objektif performans seviyeleri sağlanamamaktadır. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarım için yapısal elemanların davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri, malzemenin elastik ötesi davranışını hesaba katmaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanan 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 (Foroughi ve Yüksel, 2019). Şiddetli depremlere maruz kalan betonarme binaların doğrusal olmayan davranışı ve hasar özelliklerinin anlaşılması, mevcut binaların sismik performansının yanı sıra yeni binaların güvenli ve ekonomik tasarımının değerlendirilmesi için esastır (Uçar ve Merter, 2015).

Sismik etkiler altında betonarme yapılardaki kolon hasarlarının ve göçmelerinin nedeni kesme kırılması, eğilme kırılması, eğilme ve kesme kırılmasıdır. Betonarme yapılarda tasarlanan kolonlar yeterli kesme dayanımı ve yeterli şekil değiştirme kapasitede bir davranışa sahip olmalıdır. Performans esaslı deprem yönetmelikleri kolonların eğilme performansını plastik mafsallı bölgelerinin toplam dönme kapasitesi veya plastik dönme kapasitesi ile ifade etmektedir. Plastik mafsallı bölgelerinde kesme veya eğilme-kesme kırılması kesinlikle önlenmektedir (Acun ve Sucuoğlu, 2011).

Türkiye’de meydana gelen büyük depremler neticesinde kentsel bölgelerdeki mevcut binaların deprem riskine karşı oldukça dayanıksız olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin önceden belirlenmesi ve depreme karşı dayanıksız yapıların güçlendirilmesi hayati önem taşımaktadır (Dilmaç vd., 2018). 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).

Performansa dayalı tasarım temelde üç parametreden oluşmaktadır. Bunlar kapasite, talep ve performanstır (Celep ve Kumbasar, 2004). Talep, sismik hareketlerin yapıdan karşılama istediği yer değiştirme ve kesit tesirleri olarak tanımlanabilir. Performans ise yapının kapasitesinin sismik talepleri hangi oranda karşılayabileceği ile ilgilidir (Çavdar vd., 2015). 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. (Aydemir vd., 2011). 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 yönde sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, hasarı belirlemek için esas alınan şekil değiştirme parametresi de büyük önem arz etmektedir (Hasgöl vd., 2016).

Birçok deprem yönetmeliğinde, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla bazı yöntemler önerilmiştir. Binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için önerilen yöntemlerin önemli bir kısmını oluşturan sınır değerleri birçok parametreye göre belirlenmektedir (Ulutaş vd., 2015). Mevcut veya yeni yapılacak betonarme bir yapının deprem güvenliğinin belirlenmesi için öncelikle her bir taşıyıcı elemanın kesit hasar seviyesinin belirlenmesi gereklidir. Bunun için doğrusal olmayan değerlendirme yöntem ile deprem güvenliği

belirlenecek yapı analiz edilir. Yapılan analiz sonucu kesitte oluşan şekil değiştirme değerinin, deprem yönetmelikteki kesit hasar seviyesine karşı gelen şekil değiştirme üst sınır değerleri ile kıyaslayarak kesitin hasar seviyesi elde edilir (Ulutaş, 2019). Mevcut yapıların değerlendirme yöntemlerinde, yönetmelikler genel olarak yapı elemanlarının plastik dönme kapasiteleri üzerinden eleman performanslarını belirlemektedir (Elçi ve Göker, 2018).

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. 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 Göçmenin Önlenmesi 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 (TBDY, 2018). Bu çalışmada kare enkesitli betonarme kolonların hasar sınırları, TBDY (2018)'de öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının dikkate alınmasıyla analitik olarak incelenmiştir. Kare enkesitli betonarme kolon modelleri tasarlanmıştır. İlk olarak gerçek malzeme davranışları esas alınarak elde edilen momenti-eğrilik ilişkilerinden kolon kesitlerinin elastik ötesi davranışları incelenerek değerlendirilmiştir. Betonarme kolonların farklı aksel yük seviyeleri ve sargı donatı oranları için moment-eğrilik ilişkileri Mander beton modeli (Mander vd., 1988) dikkate alınarak elde edilmiştir. Parametrelerin kolon davranışı üzerindeki incelenen etkileri kesitin mukavemeti ve süneklik açısından değerlendirilmiştir. Tasarlanan betonarme kolon kesitlerde, farklı parametrelerin moment-eğrilik ilişkisi ve süneklik üzerindeki etkisi hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Daha sonra betonarme kolonlar için şekil değiştirme değerleri TBDY (2018)'de tanımlanmış olan GÖ, KH ve SH 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.

2. TBDY (2018)'e göre Betonarme Kesitlerin Hasar Sınırlarının Belirlemesi (Determination of Damage Limits of Reinforced Concrete Sections According to TBDY, 2018)

TBDY (2018)'de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. SH ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, KH kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, GÖ hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. GÖ, KH ve SH durumları için yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değiştirmeleri için izin verilen sınırlar Tablo 1'de tanımlanmıştır. GÖ, KH ve SH durumları için yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönmeler için izin verilen sınır, kesite etkiyen aksel kuvvet, beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak eğrilik analizi sonucunda Tablo 2'de verilen denklemler ile hesaplanmıştır.

Tablo 1. Farklı performans düzeylerine göre toplam birim şekil değiştirmeler (Total unit Deformations according to different performance levels) (TBDY, 2018)

Şekil Değiştirme Sınırları	Beton Birim Kısalması	Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirmesi
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.40\varepsilon_{su}$
Kontrollü Hasar (KH)	$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$
Sınırlı Hasar (SH)	$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$	$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$

Tablo 2. Farklı performans düzeylerine göre plastik dönmeler (Plastic rotations for different performance levels) (TBDY, 2018)

Şekil Değiştirme Sınırları	Plastik Dönmeler
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\varphi_u - \varphi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \varphi_u d_b \right]$
Kontrollü Hasar (KH)	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$
Sınırlı Hasar (SH)	$\theta_p^{(SH)} = 0$
φ_u , Göçme öncesi eğrilik, φ_y , Akma eğriliği, L_s , Kesme açıklığı, L_p , Plastik mafsal boyu,..... d_b , Boyuna donatı çapı	

Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı Denklem (1)'den hesaplanmaktadır. Dikdörtgen sargı donatısının etkinlik katsayısı (α_{se}) ve kesitte iki yatay doğrultuda minimum hacimsel enine donatı oranı (ρ_{sh}) Denklem (2) ile

hesaplanmaktadır. f_{ywe} ve f_{ce} beton ve donatı çeliği için beklenen dayanımdır ($f_{ce}=1.3f_{ck}$, $f_{ye}=1.2f_{yk}$). A_{sh} ; enine donatının alanı, s enine donatı aralığını, b_o ve h_o ; sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutu ve a_i ; bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığıdır (TBDY, 2018).

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

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

Hasar kontrolü basınç birim şekildeğiştirme sınırı (Priestley vd., 2007) betonun basınç altındaki şekildeğiştirme kapasitesinin kesiti sargılayan enine donatının kopma dayanımına bağlı olduğu varsayımına dayanarak beton ve sargı donatısının şekildeğiştirme enerjilerini kullanarak Denklem (3) ile elde etmişlerdir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3)$$

Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesapta SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyecektir. Akma durumu için yer değiştirmiş plastik mafsall akma dönmesi (θ_y) Denklem (4) ile hesaplanmıştır. Kolonlarda $\eta = 1$ alınacaktır. Denklem (4)'te; φ_u göçme öncesi eğrilik, φ_y akma eğriliği, L_s kesme açıklığı, L_p , plastik mafsall boyu, d_b boyuna donatı çapı, f_{ywe} ve f_{ce} beton ve donatı çeliği için beklenen dayanımdır (TBDY, 2018).

$$\theta_y = \frac{\varphi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\varphi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (4)$$

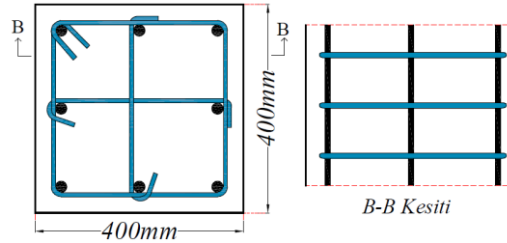
Çalışma kapsamında tasarlanan betonarme kolon modellerinde yapılan performans değerlendirmesinde; GÖ, KH ve SH için oluşan şekil değıştirme sınır değerleri, farklı sargı donatı oranına göre hesaplanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri, farklı eksenel yük seviyelerinde plastik mafsall akma dönmesi ve plastik dönmele hesaplanarak kolon kesitlerinin performans düzeyleri araştırılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada betonarme yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için TBDY (2018)'de verilen kurallara göre farklı parametrelere sahip betonarme kolon modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan betonarme kolon modellerinin kesit görünüşü ve donatı yerleşim planı Şekil 1'de ve kolon modellerine ait kesit özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Tasarlanan betonarme kolon kesitlerinde gerçek malzeme davranışları esas alınarak farklı parametrelere göre (sargı donatı oranı ve eksenel yük seviyesi) analizlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden akma eğriliği (φ_y), akma momenti (M_y), göçme öncesi eğrilik (φ_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 parametrele için moment-eğrilik ilişkileri SAP2000 (v.20.2.0) programı ile elde edilmiştir. Moment-eğrilik analizlerinde, kabuk betonu için Mander sargısız beton modeli, çekirdek betonu için Mander sargılı beton modeli (Mander vd., 1988) ve donatı çeliği için Şekil 2 ve Tablo 4'te verilen pekleşmeli model kullanılmıştır. 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 (φ_u) akma eğriliğine (φ_y) oranı olarak hesaplanır ($\mu = \varphi_u / \varphi_y$).

Yönetmelikte (TBDY, 2018) verilen hasar sınırlarını tanımlayan birim şekil değiştirme değerleri kare enkesitli 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 Tablo 1'de verilen denklemlerden hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme kolonların moment-eğrilik

ilişkilerinden elde edilen φ_y ve φ_u değerlerine göre plastik mafsal dönme değerleri hesaplanmıştır. Plastik mafsal dönmeleri Tablo 2'de verilen denklemlere göre hesaplanmıştır. Betonarme kolon kesit hesabı ve tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, elde edilen kesitteki boyuna donatı oranının, TS500 (2000)'e göre %1 ile %4 arasında olmasını sağlamaktır. Betonarme kolonlarda sünek davranışın sağlanabilmesi için bu koşul yönetmeliklerce zorunlu olduğu için bu çalışmada TS500 (2000)'de verilen sınır değerler dikkate alınmıştır. Her betonarme kolon modeli için beş farklı eksenel yük seviyesi ($N_1=0$, $N_1=480\text{kN}$, $N_2=960\text{kN}$, $N_3=1440\text{kN}$, $N_4=1920\text{kN}$), beş farklı sargı donatı aralığı (50mm, 75mm, 100mm, 125mm ve 150mm) kullanılmıştır. Boyuna donatı çapı (8 Φ 22) ve sargı donatı çapı (Φ 8mm) sabit olarak dikkate alınmaktadır. Tüm betonarme kolon modeller için, beton sınıfı olarak C30 ve donatı çeliği olarak B420C seçilmiştir. Yapılan analitik çalışmada TBDY (2018)'de beton ve donatı için verilen malzeme özellikleri kullanılmıştır (Tablo 4). Bileşik eğilme altındaki bir kesitin moment-eğrilik ilişkileri, eksenel yük seviyelerine bağlıdır. Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, $A_c \geq N_{dmax}/0.40f_{ck}$ koşulu sağlanmalıdır (TBDY, 2018). Betonarme kolon kesitlerinde, $N_{max} = A_c \times f_{ck}$ olmak üzere N/N_{max} oranının 0.0, 0.10, 0.20, 0.30 ve 0.40 değerleri için moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir.



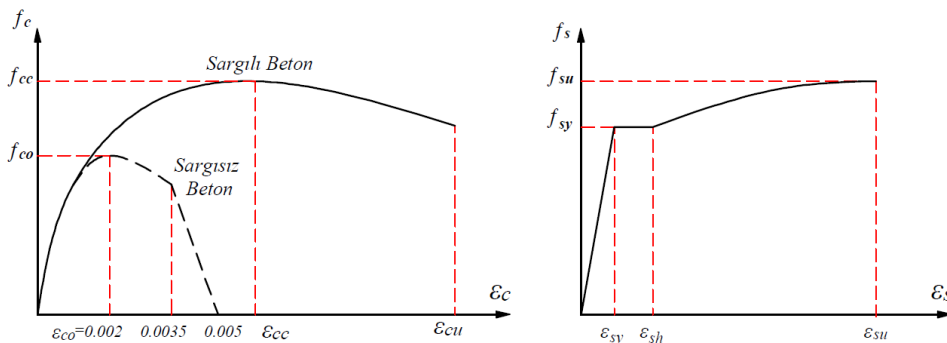
Şekil 1. Tasarlanan kolon modellerinin enkesit boyutları ve donatı yerleşim planı (Cross-section dimensions of the designed column models and reinforcement layout plan)

Tablo 3. Tasarlanan kolon modellerine ait parametreler (Parameters for the designed column models)

Kesit Tip	Beton Sınıfı	Boyuna donatı	Eksenel yük	Sargı donatısı
Tip-1	C30	8 Φ 22mm	0.0	Φ 8/50mm
Tip-2			$0.1N_d$	Φ 8/75mm
Tip-3			$0.2N_d$	Φ 8/100mm
Tip-4			$0.3N_d$	Φ 8/125mm
Tip-5			$0.4N_d$	Φ 8/150mm

Tablo 4. Beton ve donatı çeliği için malzeme parametreleri (Material parameters for concrete and reinforcement) (TBDY, 2018)

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

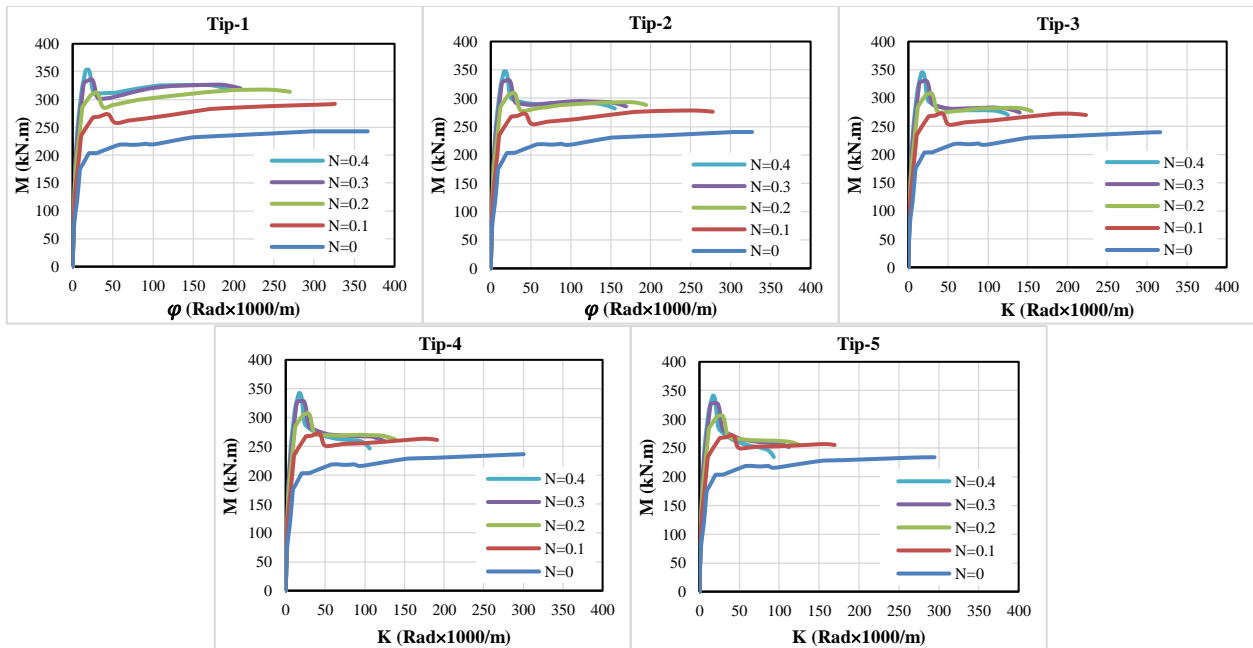


Şekil 2. Beton ve donatı çeliği için gerilme-şekil değıştirme ilişkileri (Stress-strain relationships for concrete and reinforcement) (TBDY, 2018)

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

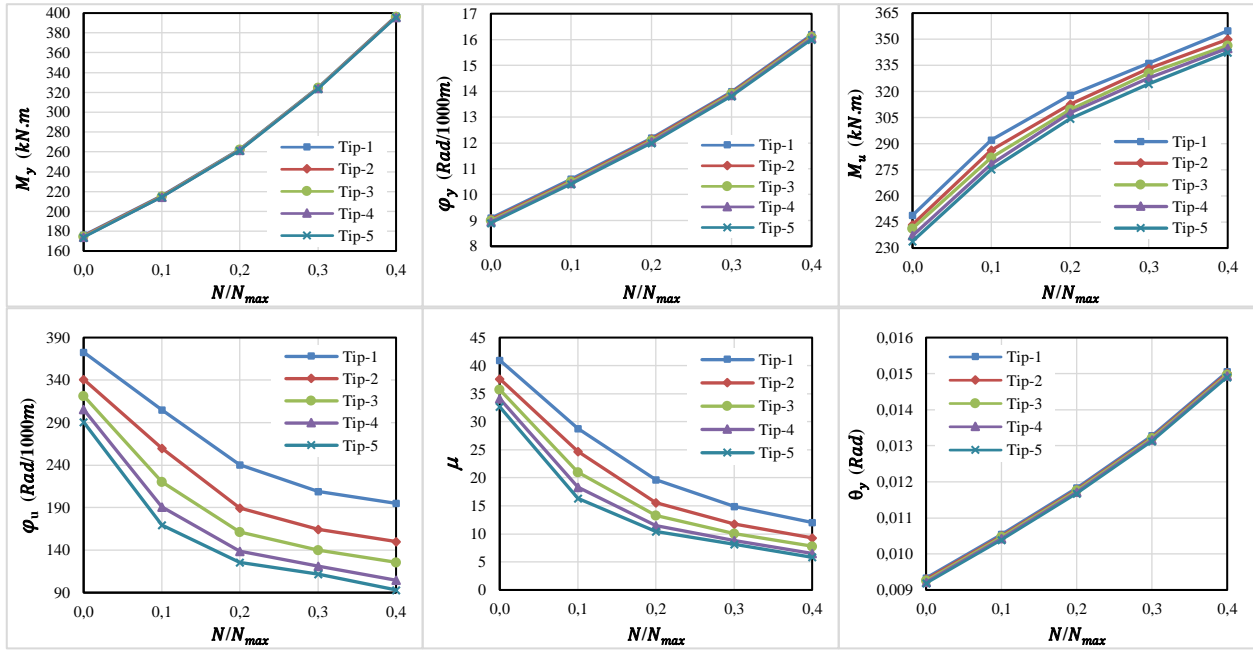
Analizleri yapılan betonarme kare enkesitli kolonların moment-eğrilik ilişkileri sargı donatısının oranı ve eksenel yük seviyesi değiştirilerek elde edilmiştir. Kare enkesitli betonarme kolonlar için elde edilen moment-eğrilik ilişkileri karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir. Moment-eğrilik ilişkileri malzemelerin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak farklı parametreler için SAP2000 programı ile elde edilmiştir. Kolon modelleri için farklı parametrelere göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon modelleri için φ_y , M_y , φ_u , M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Betonarme kolon modellerinin moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen veriler kullanılarak kolon kesitlerinin davranışları incelenmiştir. Yığılı plastik davranışına göre modellenen kare enkesitli betonarme kolonların farklı parametrelere göre akma durumu için θ_y değerleri Denklem (4) ile hesaplanmıştır. Kare enkesitli betonarme kolon modelleri için elde edilen φ_y , M_y , φ_u , M_u , μ ve θ_y farklı eksenel yük seviyelerine göre ilişkileri sırasıyla Şekil 4'te özetlenmiştir. Betonarme kolon modellerinde yapılan performans değerlendirmesinde; GÖ, KH ve SH için oluşan şekil değiştirme sınır değerleri, farklı sargı donatı oranına göre beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri ve farklı eksenel yük seviyelerinde plastik mafsallık dönme değerleri hesaplanmıştır. Betonarme kolonların farklı performans düzeyleri için farklı parametrelere göre $N/N_{max} - \varepsilon_c$, $N/N_{max} - \varepsilon_s$ ve $N/N_{max} - \theta_p$ ilişkileri Şekil 5'te verilmiştir. Tasarlanan betonarme kolonlar için elde edilen $\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$ değerlerinin N/N_{max} oranına göre değişimi Şekil 6'da verilmiştir.

Betonarme kolon kesitlerinde farklı parametreler için farklı performans düzeylerine göre hesaplanan $\varepsilon_s^{(GÖ)}$, $\varepsilon_s^{(KH)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)}$ değerleri sabittir. Bunun nedeni yönetmelikte (TBDY, 2018) donatı çeliği için verilen hasar sınırları; donatı çeliğinin kopma dayanımının farklı hasar seviyeleri için sabit katsayılar ile çarpılarak bulunmasıdır. Farklı performans düzeyi için $\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.032$, $\varepsilon_s^{(KH)} = 0.024$ ve $\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$ olarak sabit değerler hesaplanmaktadır. 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 ($\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$). Farklı performans düzeyi için verilen plastik dönme hasar sınırları (θ_p); φ_y , φ_u , L_p , L_s ve d_p 'nin fonksiyonudur. Dolayısıyla eksenel yük seviyesi, sargı donatı oranı, boyuna donatı oranı, kesit geometrisi ve sargı donatısının konfigürasyonu gibi φ_y ve φ_u değerlerini etkileyen parametreler θ_p değerlerini de etkilemektedir. SH performans düzeyinde taşıyıcı sistemlerde plastik mafsallık oluşmasına izin verilmediği için farklı parametrelere göre betonarme kolon kesitlerinde $\theta_p^{(SH)} = 0$ elde edilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan kolon modellerine ait karşılaştırmalı moment-eğrilik ilişkileri (Comparative moment-curvature relationships of designed column models.)

Analiz sonuçları incelendiğinde, eksenel yük ve sargı donatısının varyasyonunun, betonarme kesitlerin moment-eğrilik davranışı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, sargı donatı aralığı ve eksenel yük seviyesinin artışı her bir betonarme kolon için elemanların akma ve kırılma durumları için moment ve eğrilik değerlerini etkilemektedir.

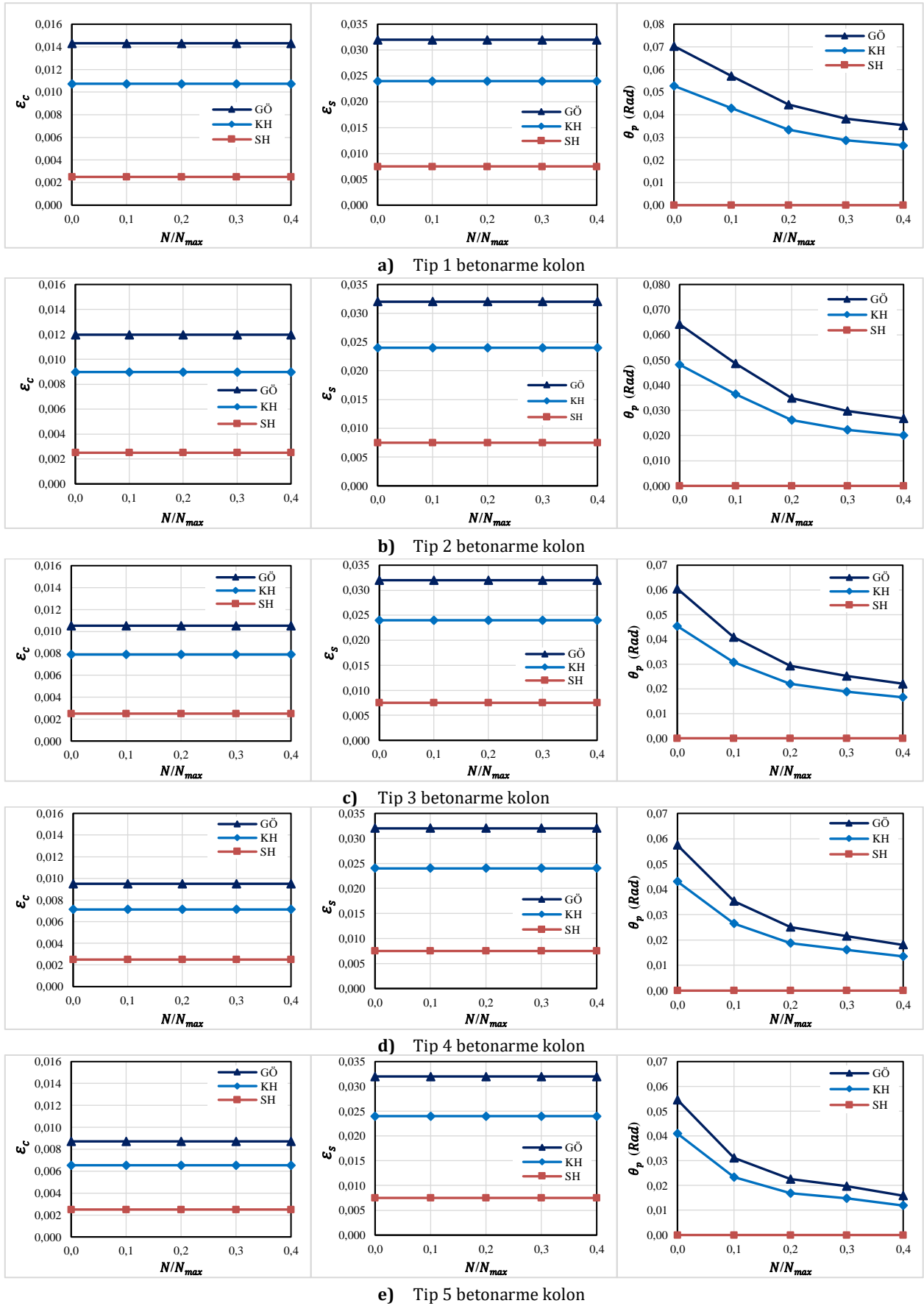


Şekil 4. Betonarme kolonların farklı parametrelere göre hesaplanan k_y , M_y , k_u , M_u , μ ve θ_y değerlerinin N/N_{max} oranına göre ilişkileri (Relationships of k_y , M_y , k_u , M_u , μ and θ_y calculated values according to N/N_{max} ratio of reinforced concrete columns)

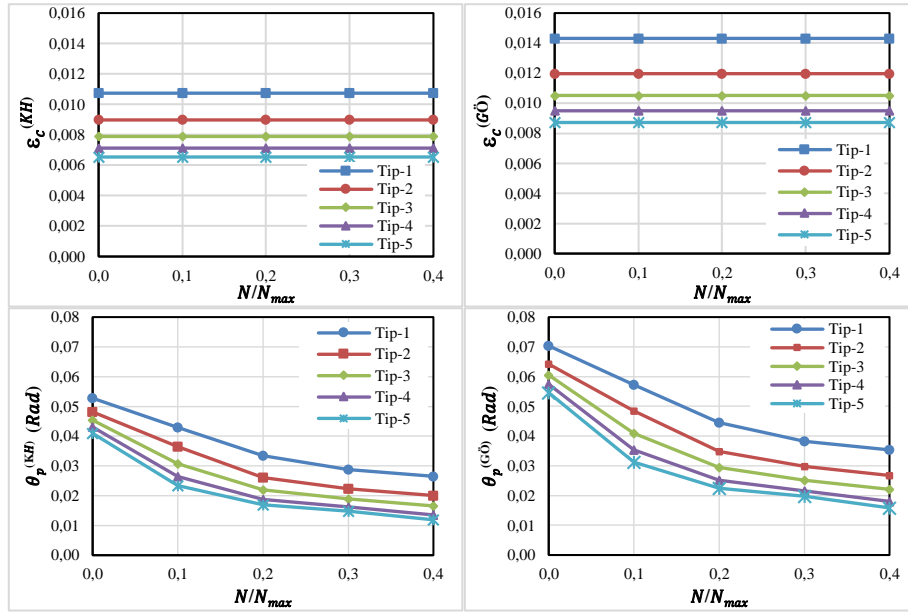
Betonarme kolonların davranışı, malzemelerin doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınarak elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden; eksenel yük değerinin artışıyla birlikte betonarme kolon kesitlerinin M_y , ϕ_y ve M_u değerlerinde artış ve ϕ_u değerlerinde azalma görülmektedir. Sargı donatısı aralığının artmasıyla M_y ve ϕ_y değerleri sabit kalmakta, M_u ve ϕ_u değerleri azalmaktadır. Sabit eksenel yük seviyesi için sargı donatı aralığının azaltılması ile kesit sünekliğinin arttığı, moment taşıma kapasiteleri ve eğriliğin önemli ölçüde arttığı gözlenmektedir. Sabit sargı donatısı oranı için eksenel yük ($N/N_{max} \geq 0$) oranının artmasıyla kolonların sünekliği azalmaktadır. Bununla birlikte, aynı sabit sargı donatısı oranları için eksenel yük seviyesi küçük olduğunda, kolonlarda yüksek süneklik değerleri elde edilmektedir. Sabit sargı donatı aralığı için eksenel yük seviyesinin artması ile TBDY (2018)'e göre hesaplanan plastik mafsal akma dönmesi (θ_y) artmaktadır. Sabit eksenel yük seviyesi için artan sargı donatı aralığına göre hesaplanan θ_y değerleri az farkla azalmaktadır.

Sargılı beton için verilen hasar sınırları ($\epsilon_c^{(G\ddot{O})}$, $\epsilon_c^{(KH)}$), beton ve donatı çeliğinin ortalama dayanımı (f_{ce} , f_{ye}), $\rho_{sh,min}$ ve sargı donatısının konfigürasyonuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Sargılı betonun SH performans düzeyi için hasar sınırı ise sabit değer olarak verilmektedir ($\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$). Betonarme kolonlarda sargı donatı çapı ve aralığı için eksenel yük seviyesinin artması ile analizlerden elde edilen sonuçlara göre GÖ ve KH performans seviyelerinde beton ve donatı çeliğinin birim deformasyon değerleri sabit kalmaktadır. 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. $\epsilon_c^{(G\ddot{O})}$ ve $\epsilon_c^{(KH)}$ hasar sınırları sargı donatı aralığına göre değişmektedir. Sargı donatı aralığının artması ile $\epsilon_c^{(G\ddot{O})}$ ve $\epsilon_c^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır.

Farklı performans düzeyi için verilen θ_p sınırları ϕ_y , ϕ_u , L_p , L_s ve d_b 'nin fonksiyonudur. Dolayısıyla eksenel yük seviyesi ve sargı donatı oranı gibi ϕ_y ve ϕ_u değerlerini etkileyen parametreler θ_p değerlerini de etkilemektedir. $\theta_p^{(G\ddot{O})}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ hasar sınırları, moment-eğrilik ilişkisi ve eksenel yük seviyelerine göre değişmektedir. Sabit eksenel yük seviyesi için sargı donatı aralığının artması ile $\theta_p^{(G\ddot{O})}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır. Sabit sargı donatı aralığı için eksenel yük seviyesinin artması ile $\theta_p^{(G\ddot{O})}$ ve $\theta_p^{(KH)}$ değerleri azalmaktadır.



Şekil 5. Betonarme kolonların farklı parametrelere göre karşılaştırmalı $\varepsilon_c - N/N_{max}$, $\varepsilon_s - N/N_{max}$, $\theta_p - N/N_{max}$ ilişkileri (Comparative relations of $\varepsilon_c - N/N_{max}$, $\varepsilon_s - N/N_{max}$, $\theta_p - N/N_{max}$ in reinforced concrete columns according to different parameters)



Şekil 6. Tasarlanan betonarme kolonlar için elde edilen $\varepsilon_c^{(KH)}$, $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, θ_p^{KH} ve $\theta_p^{GÖ}$ değerlerinin N/N_{max} oranına göre değişimi (Variation of $\varepsilon_c^{(KH)}$, $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, θ_p^{KH} and $\theta_p^{GÖ}$ values obtained for designed reinforced concrete columns according to N/N_{max} ratio).

Betonarme kolonların TBDY (2018)'e göre hesaplanan $\varepsilon_c^{(KH)}$, $\varepsilon_c^{(GÖ)}$, θ_p^{KH} ve $\theta_p^{GÖ}$ değerleri farklı parametrelere göre değişimi oran olarak incelenerek karşılaştırılmıştır. KH için hesaplanan sınır değerleri (θ_p ve ε_c) GÖ için hesaplanan değerlerin sabit bir katsayı (0.75) ile çarpılarak elde edildiği için KH ve GÖ için oranlar sabit olarak değişmektedir. Bu yüzden Tablo 5, 6 ve 7'de farklı tasarım parametrelerine göre hesaplanan GÖ sınır değerleri için oran değişimlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Farklı tasarım parametrelerine göre hesaplanan performans düzeyi değerleri arasındaki farklar oran olarak Denklem (5, 6 ve 7) kullanılarak elde edilmiştir. Tip 1 analiz sonuçlarına göre Tip i (Tip 2 - Tip5) analiz sonuçlarının değişim oranı (%D) Denklem (5)'de olduğu gibi hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

$$D\% = \left[\frac{(\theta_p^{GÖ})_{Tip1} - (\theta_p^{GÖ})_{Tip i}}{(\theta_p^{GÖ})_{Tip1}} \right] \quad (5)$$

Tablo 5. Farklı tasarım parametreleri için hesaplanan performans seviyesi değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of calculated performance level values for different design parameters)

Kesit Tip	$N/N_{max} = 0$		$N/N_{max} = 0.1$		$N/N_{max} = 0.2$		$N/N_{max} = 0.3$		$N/N_{max} = 0.4$	
	$\theta_p^{GÖ}$	D (%)	$\theta_p^{GÖ}$	D (%)	$\theta_p^{GÖ}$	D (%)	$\theta_p^{GÖ}$	D (%)	$\theta_p^{GÖ}$	D (%)
Tip 1	0,0703	0,0	0,0572	0,0	0,0445	0,0	0,0383	0,0	0,0353	0,0
Tip 2	0,0642	8,7	0,0485	15,1	0,0348	21,8	0,0297	22,3	0,0267	24,3
Tip 3	0,0605	14,0	0,0409	28,4	0,0294	34,0	0,0252	34,3	0,0221	37,6
Tip 4	0,0574	18,3	0,0353	38,2	0,0251	43,6	0,0216	43,7	0,0180	49,0
Tip 5	0,0546	22,4	0,0312	45,5	0,0225	49,4	0,0197	48,5	0,0159	55,1

$N/N_{max} = 0$ analiz sonuçlarına göre $N/N_{max} = i$ (0.1 – 0.4) analiz sonuçlarının değişim oranı Denklem (6)'da olduğu gibi hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

$$D\% = \left[\frac{(\theta_p^{GÖ})_{N/N_{max}=0} - (\theta_p^{GÖ})_{N/N_{max}=i}}{(\theta_p^{GÖ})_{N/N_{max}=0}} \right] \quad (6)$$

Tablo 6. Farklı N/N_{max} oranı için hesaplanan performans seviyesi değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of calculated performance level values for different ratio of N/N_{max})

N/N_{max}	Tip 1		Tip 2		Tip 3		Tip 4		Tip 5	
	$\theta_p^{G\ddot{O}}$	D (%)	$\theta_p^{G\ddot{O}}$	D (%)	$\theta_p^{G\ddot{O}}$	D (%)	$\theta_p^{G\ddot{O}}$	D (%)	$\theta_p^{G\ddot{O}}$	D (%)
0	0,0703	0	0,0642	0	0,0605	0	0,0574	0	0,0546	0
0.1	0,0572	18,7	0,0485	24,4	0,0409	32,3	0,0353	38,5	0,0312	42,9
0.2	0,0445	36,7	0,0348	45,8	0,0294	51,4	0,0251	56,3	0,0225	58,7
0.3	0,0383	45,6	0,0297	53,7	0,0252	58,4	0,0216	62,5	0,0197	63,9
0.4	0,0353	49,7	0,0267	58,3	0,0221	63,5	0,0180	68,6	0,0159	71,0

GÖ performans seviyesi için hesaplanan beton birim kısalması, Tip1 analiz sonuçlarına göre Tipi analiz sonuçlarının değişim oranı Denklem (7)'den hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

$$D\% = \left[\frac{(\varepsilon_c^{G\ddot{O}})_{Tip1} - (\varepsilon_c^{G\ddot{O}})_{Tip i}}{(\varepsilon_c^{G\ddot{O}})_{Tip1}} \right] \quad (7)$$

Tablo 7. Farklı tasarım parametrelerine göre analiz sonuçlarından elde edilen beton birim şekil değiştirme değerleri (Concrete unit deformation value obtained from analysis results according to different design parameters)

Kesit Tip	$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$	D (%)
Tip 1	0,0143	0,0
Tip 2	0,0120	16,4
Tip 3	0,0105	26,5
Tip 4	0,0095	33,6
Tip 5	0,0065	39,1

5. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Araştırma Bulguları bölümünde betonarme kolonlar için elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

TBDY (2018)'de donatının maksimum uzama şekil değiştirme değerine (ε_{su}) bağlı olarak donatı çeliği şekil değiştirme üst sınırları değişmektedir. Aksel yük seviyesindeki artışın hem eleman sünekliğini hem de kesit hasar sınırlarını önemli derecede azaltmaktadır. Sargı donatı aralığı maksimum olduğunda ($\Phi 8/150\text{mm}$) tüm analizlerde TBDY (2018)'e göre hesaplanan eleman hasar sınırlamaları düşük mertebelerde kalmıştır. Sargı donatısının minimum ($\Phi 8/50\text{mm}$) ve maksimum ($\Phi 8/150\text{mm}$) olduğu kolon modellerinde TBDY (2018)'e göre elde edilen eleman hasar sınırları aksel yük seviyesinden etkilenmektedir. Kolon modellerinde aksel yük seviyesinin düşük olduğu durumlarda sargı donatısı aralığının minimum ve maksimum olması durumunda elde edilen eleman hasar sınırlamalarının önemli derecede etkilendiği görülmektedir. Aksel yük seviyesinin artmasıyla, sargılamının etkisinin daha belirgin olarak ortaya çıktığı, sargı donatı aralığının artmasıyla eleman hasar sınırlamalarının önemli derecede azaldığı analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Aksel yük seviyesi artmasıyla kesitin hasar sınırına karşı gelen eğrilik değeri azalmaktadır. Dolayısı ile aksel yük seviyesi arttıkça kolon kesitlerinin hasar sınırları düşük şekil değiştirme değerinde oluşacağı söylenebilir. Sargı donatısı aralığı azaldıkça beklendiği gibi kesitin moment kapasitesi artmaktadır. Betonarme kolon modellerinde aksel yük seviyesinin artmasıyla hasar sınır değerlerinin azaldığı, aynı aksel yük seviyelerinde sargı donatı miktarının daha da önem kazandığı ve yönetmeliğin öngördüğü hasar sınırlarının son derece etkili olduğu sonuçları elde edilmektedir.

Farklı tasarım parametrelerine göre hesaplanan hasar sınır değerleri arasındaki farklar elde edilmiş ve oransal olarak sunulmuştur (Tablo 5, 6 ve 7). Hesaplanan hasar sınır değerleri arasındaki farklar tasarım parametrelerine göre incelenmiş ve aşağıdaki yorumlar elde edilmiştir. Tablo 5'de özetlenen analiz sonuçlarının incelenmesinden; betonarme kolonlarda sargı donatı aralığının artması ile (Tip 1- Tip 5) $N/N_{max} = 0$ için hesaplanan θ_p değerinin maksimum değişimi %22,4, $N/N_{max} = 0.1$ için %45,5, $N/N_{max} = 0.2$ için %49,4, $N/N_{max} = 0.3$ için %48,5 ve $N/N_{max} = 0.4$ için %55,1 olarak azalmaktadır. Tablo 6'da özetlenen sonuçlarının incelenmesinden; aksel yük seviyesinin artması ile ($N/N_{max} = 0 - 0.4$) Tip 1 kolon için hesaplanan θ_p değerinin maksimum değişimi %49,7, Tip 2 kolon için %58,3, Tip 3 kolon için %63,5, Tip 4 kolon için %68,6 ve Tip 5 kolon için %71 olarak azalmaktadır. Tablo 7'de analiz sonuçlarından elde edilen beton birim kısalması; artan sargı donatı aralığına göre ε_c değeri

maksimum %39.1 olarak azalmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, zaman ayırdıkları, kıymetli yorum ve önerilerde buldukları için makaleyi değerlendiren hakemlere teşekkür etmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Acun, B., Sucuoğlu, H., 2011. Betonarme Kolonların Şekildeğiştirme Performans Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle Değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, 22 (108), 5523-5541.
- Aydemir, C., Kırçıl, M. S., Hancıoğlu, B., Zorbozan, M., 2011. Betonarme Kolonların Hasar Sınır Eğriliklerinin Belirlenmesi. İMO Teknik Dergi, 22 (109), 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 Yapınoğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Performansının Belirlenmesi. International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015), 7-9 May 2015, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye, 233-241.
- Elçi, H., Göker, K. A., 2018. Comparison of Earthquake Codes (TEC 2007 and TBEC 2018) In Terms of Seismic Performance of RC Columns. International Journal of Scientific and Technological Research, 4 (6), 9-21.
- Foroughi, S., Yüksel, S. B., 2019. Betonarme Kolonların Şekil Değiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Araştırılması. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11 (2), 584-601.
- Hasgöl, U., Yavaş, A., Türker, K., Terzi, M., Birol, T., 2016. Dbybhy-2007'de Tanımlanan Hasar Kriterlerinin Betonarme Kolon Elemanlar İçin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21 (2), 499-514.
- 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.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., Kowalsky, M. J., 2007. Displacement-based seismic design of structures. IUSS Press, Pavia, Italy.
- 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.
- Ulutaş, H., 2019. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 351-359.
- Ulutaş, H., Tekeli, H., Demir, D., 2015. Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesinde Sargılama Durumunun Etkisi. International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015), 7-9 May 2015, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur-Türkiye.
- Ucar, T., Merter, O., Duzgun, M., 2015. Determination of lateral strength and ductility characteristics of existing mid-rise RC buildings in Turkey, Computers and Concrete, 16 (3), 467-485.