

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki Performans Düzeylerinin Betonarme Kolonlar için Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Kaan TÜRKER¹
Cengiz GÜLTEKİN²

ÖZ

Çalışmada, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) plastik dönme açısını esas alan performans düzeyleri, ASCE/SEI 41-17'deki aşılma olasılığı esaslı kolon hasar sınırları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bunun için enkesit boyutu, eksenel kuvvet düzeyi, kesme etkisi, sargı/boyuna donatı oranı ve beton dayanımı bakımından farklı özelliklerde 4725 kolon örneğine ait karakteristik plastik dönme açıları için sayısal karşılaştırmalar yapılmıştır. Enkesit boyutu, eksenel kuvvet düzeyi ve sargı oranı, TBDY ve ASCE yaklaşımları arasında önemli farkların oluşmasına sebep olan parametreler olmuştur. TBDY'ye göre elde edilen performans düzeyleri, incelenen elemanların büyük bölümü için ASCE'de öngörülen olasılıksal risk düzeylerini sağlamıştır. Ancak, özellikle TBDY-2018 koşullarını sağlamayan elemanlar için ASCE'deki sınırların çok aşılabildiği ve belirli özellikteki elemanlarda aşırı güvenli sonuçlar elde edilebildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kolon, deprem performans düzeyi, plastik dönme açısı, olasılık esaslı hasar sınırı.

ABSTRACT

Comparatively Evaluation of Performance Levels at Building Earthquake Code of Turkey for Columns

In the study, the performance levels based on the plastic rotation angle in the 2018 Building Earthquake Code of Turkey (BECT) were evaluated in comparison with the ASCE/SEI 41-17 column damage limits based on the probability of exceedance concept. For this purpose, numerical comparisons were carried out for the characteristic plastic rotation angles of 4725 column samples in terms of cross-section size, axial force level, shear force level confinement

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 12 Ekim 2022 günü ulaşmıştır. 14 Nisan 2023 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Temmuz 2023 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tjce.1285845>

1 Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye
kturker@balikesir.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-3106-4627>

2 FAB Teknik Mühendislik Yazılım Tic. A.Ş., Balıkesir, Türkiye
cengizgultekin0@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-0396-7562>

ratio, longitudinal reinforcement ratio and concrete strength. Cross-section size, axial load ratio and confinement ratio were the parameters that caused significant differences between the BECT and the ASCE approaches. The performance levels obtained from the BECT fulfilled the probabilistic risk levels stipulated in the ASCE for the majority of the investigated elements. However, it has been determined that the risk limits in the ASCE can be exceeded especially for the elements non-compliant with the BECT-2018 and extremely safe results can be obtained for certain elements.

Keywords: RC column, seismic performance level, plastic rotation angle, probability based damage limit.

1. GİRİŞ

Yaklaşık 25 yıl önce geliştirilmeye başlanan performans esaslı deprem mühendisliği yaklaşımı günümüzde oldukça yaygınlaşmış ve birçok ülkenin deprem yönetmeliklerinde geniş yer bulmaya başlamıştır. İlk dönemlerde mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirme ihtiyaçlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bu yaklaşım bugün tasarım amacıyla da kullanılmaktadır. Özellikle Türkiye’de yüksek binaların ve deprem riski yüksek bölgelerdeki özel öneme sahip binaların tasarımında performans esaslı yaklaşımların kullanılması zorunlu hale gelmiştir [1]. Performans esaslı yaklaşımlar temel olarak belirli bir deprem etkisi altındaki binada şekildeğiştirme taleplerinin belirlenmesine ve bunların çeşitli hasar düzeylerini temsil eden sınır değerleri ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır [2-4]. Bu yaklaşımda, deprem taleplerinin ve performans düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılacak ve hasar düzeyini temsil edecek şekildeğiştirme parametresi çok büyük önem arz etmektedir. Bugün bu konuda yürürlükte olan standartlarda hasar düzeylerini değerlendirmede eleman uçlarındaki beton/donatı birim şekildeğiştirmeleri, teğet-kiriş (chord) dönme açısı ve plastik dönme açısı gibi büyüklüklerin kullanıldığı görülmektedir [1,5,6]. Bu büyüklükler genel olarak birbiriyle ilişkili ve temel mekanik prensipleri çerçevesinde belirlenebilen büyüklüklerdir. Ancak betonarme elemanların deprem davranışının çok sayıda parametreye göre değişkenlik göstermesi nedeniyle söz konusu büyüklüklerin deneysel çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir. Eurocode 8 [5]’de esas alınan teğet-kiriş açısı ve ASCE standartlarında [6-8] esas alınan plastik dönme açısı, deneysel çalışmalardan elde edilebilen büyüklükler olduğu için bunlar oldukça geniş kapsamlı deneysel veri tabanlarına dayandırılmıştır. Buna karşılık, beton ve donatı birim şekildeğiştirmelerinin deneysel çalışmalardan elde edilmesindeki zorluklar nedeniyle, bu parametrelere ait kriterler yeterli deneysel veritabanı ile doğrulanması yapılamadan daha çok mekanik prensiplerine dayandırılmaktadır.

Türkiye’de ilk olarak 2007 deprem yönetmeliğinde (TDY-2007 [9]), mevcut betonarme binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi amacıyla yer verilen performans esaslı yöntemlerde, hasar düzeyi kontrol parametresi olarak beton ve çelik(donatı) birim şekildeğiştirme değerlerinin kullanılması öngörülmüştür. Hasar düzeylerinin birim şekildeğiştirme talepleri üzerinden değerlendirilmesi yaklaşımı için Priestley ve Calvi [10] ile Priestley ve Kowalsky [11] tarafından direkt deplasman esaslı tasarım çerçevesinde önerilen sınır durumlarından yararlanılmıştır. TDY-2007’deki yaklaşımda, yığılı plastisite (plastik mafsallı veya doğrusal olmayan yay gibi) kabulü ile yapılan analizlerden elde edilen plastik dönme talepleri, enkesit moment-eğrilik ilişkilerinden yararlanarak birim

şekildeğiştirme taleplerine dönüştürülmektedir. Bu aşamada enkesit analizleri için detaylı malzeme (sargılı/sargsız beton ve pekleşmeli donatı modeli) modelleri ve belirli bir plastik mafsalsal boyu kabulü kullanılmaktadır [9]. Esasen birim şekildeğiştirme talepleri yayılı plastisite yaklaşımları ile enkesit analizine gerek kalmadan doğrudan belirlenebilse de bu analizlerin zorluğu ve ilgili araçların yetersizliği nedeniyle TDY’de yığılı plastisite yaklaşımı öne çıkarılmıştır. Öngörülen prosedürde aksel kuvvet ve sargılama durumunun hasar sınırları üzerindeki etkileri moment-eğrilik ilişkileri ile büyük ölçüde gözönüne alınmakla birlikte, donatı burkulması ve histeretik etkiler (dayanım ve rijitlik azalması vb.) birim şekildeğiştirme kapasitelerinde getirilen kısıtlamalar ile dolaylı olarak dikkate alınmaya çalışılmıştır [11]. Ancak kesme kuvvetinin ve donatı detaylarındaki çeşitli yetersizliklerin hasar düzeylerine etkileri ihmal edilmiştir. Sucuoğlu ve Acun [12], TDY-2007’de öngörülen hasar sınırlarını, düşük aksel kuvvet ve kesme kuvveti etkisindeki betonarme kolonlar üzerinde gerçekleştirilen deneysel gözlemlerle karşılaştırarak değerlendirmiştir. Sargı donatısı bakımından yönetmelik ile uyumlu ve yetersiz iki grup üzerinde yapılan karşılaştırmalar sonucu, yönetmelikte öngörülen hasar sınırlarının güvenli tarafta kaldığı ve deney sonuçları ile uyumlu olduğu gösterilmiştir [12]. Kazaz ve Gülkan [13], sünek perde elemanlar için gerçekleştirdiği çalışmada, deneysel sonuçlara göre kalibre edilen sonlu eleman modelleri kullanarak belirlenen birim şekildeğiştirme talepleri ile enkesit analizinden elde edilen birim şekildeğiştirme kapasitelerini karşılaştırmıştır. Donatı birim şekildeğiştirmelerinde benzer sonuçlar elde edilirken, beton birim şekildeğiştirmelerinde sonuçların çok değişebildiği gösterilmiştir. Aynı çalışmada, incelenen perde elemanlarda yönetmelikteki sargı koşulları sağlanmasına rağmen TDY-2007’deki birim şekil değıştirme kapasitelerinin özellikle kesme kuvveti düzeyi arttıkça oldukça güvensiz tarafta kalan sonuçlar verdiği rapor edilmiş ve birim şekildeğiştirme sınırlarının kesme kuvveti düzeyine bağlı olarak güncellemesi önerilmiştir [13]. Sonlu eleman modelleri ile enkesit analizi sonuçlarının benzer çerçevede karşılaştırıldığı bir diğer çalışma Özdemir vd. [14] tarafından kolonlar üzerinde yapılmıştır. Çalışmada, plastik mafsalsal bölgelerindeki ortalama beton ve donatı birim şekildeğiştirmelerinin belirlenmesinde iki yaklaşımın birbiriyle oldukça uyumlu sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ancak özellikle yüksek aksel kuvvet etkisindeki kolonlarda TDY-2007’deki beton birim şekildeğiştirme sınırlarının güvensiz sonuçlar verebildiği rapor edilmiştir [14].

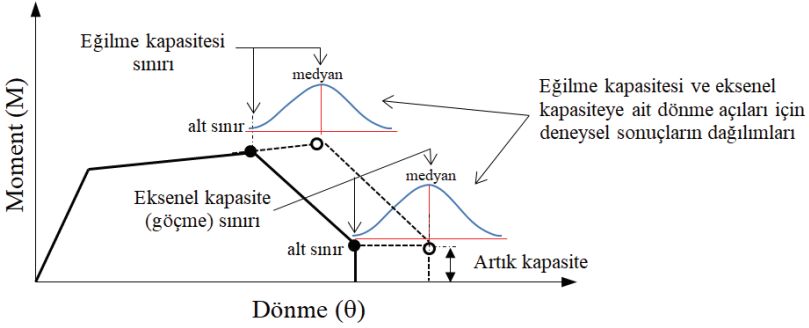
2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018 [1]) önemli bir değişikliğe gidilerek hasar kontrol parametresi ile ilgili büyüklük, taleplerin belirlenmesinde kullanılan analiz yaklaşımına bağlanmıştır. Buna göre, hasar sınırlarının birim şekildeğiştirmelerle ölçülebilmesi için taleplerin de fiber model veya sonlu eleman modeli analizi gibi doğrudan birim şekildeğiştirmelerin belirlenebildiği yayılı plastisite yaklaşımlarının kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Buna alternatif olarak da enkesit analizine dayalı yığılı plastisite yaklaşımları (plastik mafsalsal vb.) ile hasar değerlendirmelerinin plastik dönme açısı üzerinden yapılması öngörülmüştür. Her iki durumda da performans düzeylerine ait hasar sınırları için TDY-2007’de olduğu gibi beton ve donatı birim şekildeğiştirme sınırları referans alınmıştır. Yeni getirilen plastik dönme açısı ile değerlendirmede, plastik mafsalsal hipotezi ve kesit moment-eğrilik ilişkilerinin kullanıldığı mekanik prensiplerine dayanan yaklaşım benimsenmiştir. Ancak plastik dönme kapasitelerinin hesabında donatı sıyrılmasından kaynaklanan dönme değerlerini de gözönüne almak amacıyla Biskinis [15] ve Fardis [16]’de önerilen amprik ifadelerden yararlanılmıştır. TBDY-2018’de ayrıca, mevcut binalarda karşılaşılabilecek donatı detay yetersizliklerinin

ve yüksek kesme kuvvetinin hasar düzeyleri üzerindeki etkileri de basitleştirilmiş şekilde gözönüne alınmaya başlanmıştır [1]. Cansız vd.[17] kolonlar üzerinde gerçekleştirilen deneysel bir çalışma kapsamında, TBDY-2018'de plastik dönme kapasitesi için öngörülen yaklaşımı değerlendirmiştir. Donatı burkulması ve sargılı beton ezilmesi gibi dayanım azalmasına sebep olan hasarlar referans alınarak yapılan değerlendirmelerde, TBDY-2018'de öngörülen plastik dönme kapasitelerinin genel olarak güvenli olduğu, ancak eksenel yük düzeyi yönetmelik üst sınırına yaklaştığında güvensiz durum oluşabildiği rapor edilmiştir [17]. Değer ve Başdoğan [18], TBDY-2018'deki yığılı plastisite yaklaşımının belirli özellikteki betonarme perde elemanlarda kullanımına yönelik olarak, geniş kapsamlı deneysel veri tabanına dayanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Perdelerin deneysel iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının istatistiksel olarak değerlendirildiği çalışmada, eksenel yük ve kesme kuvveti düzeyine bağlı olarak karakteristik modelleme parametreleri ve performans düzeyleri için hasar sınırları önerilmiştir [18].

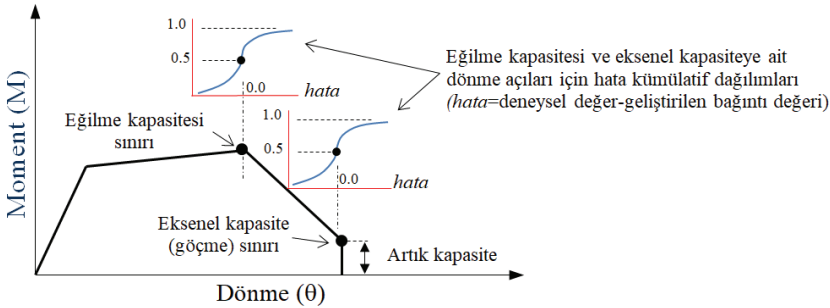
ABD sismik değerlendirme standartlarında diğer standartlardan farklı olarak, yapısal eleman türleri (kolon, kiriş vb.) için tersinir tekrarlı yükler altındaki iç kuvvet-şekildeğiştirme davranışını temsil eden karakteristik modelleme parametreleri önerilmekte ve performans düzeylerini temsil eden hasar sınırları bu parametreler üzerinden tanımlanmaktadır [6-8]. Kolonlar için Şekil 1'de şematik olarak gösterildiği gibi, eğilme ve eksenel kuvvet taşıma kapasitelerine ait karakteristik sınırlar esas alınarak tanımlanan moment-dönme (M- θ) bağıntıları kullanılmakta ve bu sınırlar mevcut deneysel veri tabanlarından istatistiksel olarak belirlenmektedir. ABD standartlarının 2017'den önceki versiyonlarında [7,8], M- θ bağıntılarına ait karakteristik dönme açıları için deneysel sonuçlara ait dağılımlardan elde edilen alt sınır değerlerinin esas alınması benimsenmiştir (Şekil 1a). Böylece medyan değerlere göre oluşabilecek en büyük sapmaların göz önüne alınması ve güvenli tarafta kalınması amaçlanmıştır. Çeşitli deneysel ve sayısal çalışmalarda, ASCE 41-06 [7] ve ASCE 41-13[8] versiyonlarına göre elde edilen kolon modelleme parametrelerinin oldukça güvenli sonuçlar verdiği gösterilmiştir [12,14,19]. Ancak, söz konusu parametrelere göre belirlenen performans düzeylerinin gerçekleşme olasılıklarının çok değişken olması ve birçok durumda aşırı güvenli sonuçlar vererek olumsuz güçlendirme kararlarına sebep olması nedeniyle, ASCE 41-17'deki yaklaşım geliştirilerek kolonlar için belirli aşılma olasılıklarının esas alındığı modelleme parametreleri ve performans düzeylerinin kullanımına geçilmiştir [6,20-22]. Yeni yaklaşımda, modelleme parametreleri için deneysel verilere dayanan regresyon bağıntıları geliştirilmiş ve bu bağıntı değerleri ile deneysel sonuçlar arasında oluşan hataların (farkların) kümülatif dağılımları esas alınarak, hedeflenen aşılma olasılıklarına bağlı modelleme parametreleri ve performans düzeyleri geliştirilmiştir (Şekil 1b). Pratikte, deneysel sonuçlara göre güvensiz durum oluşma olasılığını ifade eden aşılma olasılıklarının kullanımı ile hem performans değerlendirmelerinde aşırı güvenli sonuçlardan kaçınılması hem de sınırlı sayıda test sonuçlarına dayanan durumlar için riskin kontrol altında tutulması hedeflenmiştir. Eytayo ve Elwood [23]'da, ASCE'deki eski ve yeni yaklaşım, ACI 369 [24] veri tabanındaki sünekliği yetersiz kolonlar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmada [23], ASCE 41-17'de önerilen yeni yaklaşım ile önceki versiyonlarda özellikle yüksek kesme kuvveti etkisindeki elemanlarda karşılaşılan aşırı güvenli sonuçların daha makul düzeye geldiği ve modelleme parametrelerinin beklendiği gibi, test sonuçlarının medyan değerleri ile oldukça uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Yapısal elemanlarla ilgili deneysel veri tabanlarının zenginleşmesiyle, hasar kontrolü amacıyla kullanılan büyüklükler için çok parametrelili regresyon bağıntılarının kullanımı

yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte önerilen bağıntıların halen deneysel sonuçlarla korelasyonlarının çok düşük olduğu ve bu nedenle bazı durumlarda güvensiz sonuçlar elde etme olasılığının yüksek olabildiği görülmektedir [15,22,25]. Bu bağlamda, TBDY 2018’de yer alan ve diğer standartlardan önemli ölçüde farklılıklar içeren yeni yaklaşımların da doğrudan deneysel veri tabanları ile veya veri tabanlarına dayanan sayısal yaklaşımlarla değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.



(a) ASCE 41-17 öncesi versiyonlarda esas alınan yaklaşım



(b) ASCE 41-17 versiyonunda esas alınan yaklaşım

Şekil 1 - ASCE’de kolonlar için kullanılan karakteristik modelleme parametreleri

Bu çalışmada, TBDY-2018’de plastik dönme açısını referans alan performans düzeylerinin (hasar sınırlarının), ASCE/SEI 41-17’de kolonlar için önerilen aşılma olasılığı eşası performans kriterleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, enkesit boyutları, eksenel kuvvet düzeyi, kesme etkisi, sargı donatısı oranı, boyuna donatı oranı ve beton dayanımı bakımından farklı özelliklerdeki kolon örnekleri üzerinde TBDY ve ASCE yaklaşımlarından elde edilen karakteristik plastik dönme açıları karşılaştırılmıştır. İki standarttan elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklara yol açan parametreler ortaya konmuştur. Ayrıca, deneysel verilere dayanan ASCE yaklaşımında, çeşitli hasar düzeyleri için verilen olasılıksal sınırlar referans alınarak, TBDY’deki performans kriterlerinin risk düzeyleri değerlendirilmiştir.

2. TBDY-2018 PERFORMANS DÜZEYLERİ

TBDY-2018'e göre mevcut ve yeni yapılacak yapıların performans değerlendirmesinde önemli farklılıklar bulunmakla birlikte, genel olarak üç temel performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar *Sınırlı Hasar* (SH), *Kontrollü Hasar* (KH) ve *Göçmenin Önlenmesi* (GÖ) performans düzeyleridir. Bu performans düzeyleri, taleplerin belirlenmesinde kullanılan analiz yöntemine bağlı olarak doğrudan beton ve donatı birim şekildeğiştirmelerine göre veya eleman ucundaki plastik dönme açılarına göre belirlenebilmektedir. Bu büyüklükler için yönetmelikte öngörülen performans düzeyi sınırları Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada, plastik dönme açılarına ait sınırların değerlendirilmesi amaçlandığından sadece onlara ait açıklamalara yer verilmiştir.

Tablo 1 - TBDY performans düzeylerine ait birim şekildeğiştirme ve plastik dönme sınırları

Hasar kontrol parametresi		Performans düzeyleri		
		<i>Sınırlı Hasar</i> (SH) P. düzeyi ($\epsilon_c^{SH} / \epsilon_s^{SH} / \theta_p^{SH}$)	<i>Kontrollü Hasar</i> (KH) P. düzeyi ($\epsilon_c^{KH} / \epsilon_s^{KH} / \theta_p^{KH}$)	<i>Göçmenin Önlenmesi</i> (GÖ) P. düzeyi ($\epsilon_c^{GÖ} / \epsilon_s^{GÖ} / \theta_p^{GÖ}$)
Birim şekildeğiştirme	Beton (ϵ_c)	0.0025	$0.75 * \epsilon_c^{GÖ}$	$0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$ (Dikdörtgen kesit) $0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$ (Dairesel kesit)
	Donatı (ϵ_s)	0.0075	$0.75 * \epsilon_s^{GÖ}$	$0.40 * \epsilon_{su}$
Plastik dönme (θ_p) (rad)		0	$0.75 * \theta_p^{GÖ}$	$\frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right]$

Tablo 1'de; ϵ_{su} boyuna donatı kopma birim uzamasını, L_p enkesitin eğilmeye çalışan yüksekliğinin yarısı olarak alınan plastik mafsalsal boyunu, L_s kesme açıklığını, d_b kesitteki ortalama donatı çapını, ϕ_y kesitin akma eğriliğini, ϕ_u GÖ sınır durumuna ait beton veya donatı sınır birim şekildeğiştirmesine göre belirlenen maksimum eğriliği ifade etmektedir. ω_{we} betondaki sargı etkisini ifade eden katsayıdır ve (1) bağıntısı ile belirlenmektedir.

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

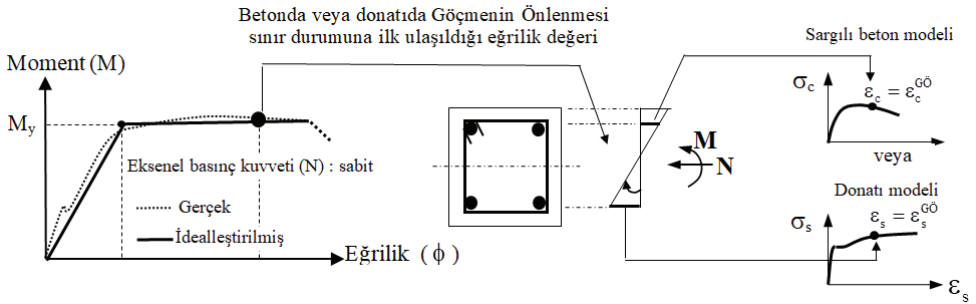
Burada, α_{se} (2) bağıntısı ile belirlenen sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh, \min}$ dikdörtgen enkesit için (3) bağıntısı ile belirlenen iki yatay doğrultudaki hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{yw} enine donatının akma dayanımını, f_c sargısız beton basınç dayanımını göstermektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_0} \right) \quad (2)$$

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

(2) ve (3) bağıntılarında; s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, A_{sh} enine donatı alanını ve b_k enine donatıya dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık) göstermektedir.

TBDY'ye göre SH performans düzeyinin sağlanabilmesi için eleman ucunda plastik dönme oluşmaması şartı bulunmaktadır. KH performans düzeyi, GÖ performans düzeyine ait plastik dönmenin $\frac{3}{4}$ 'ü alınarak belirlenmekte, böylece ileri plastik şekildeğiştirmelerin sınırlanması ve elemanların onarılabilir kalması amaçlanmaktadır. GÖ performans düzeyi ise elemanın eğilme kapasitesinde önemli bir azalmanın oluşmasını engellemek amacıyla kesiti oluşturan malzemelerin birim şekildeğiştirme kapasitelerine göre belirlenen bir sınırı ifade etmektedir. Bu sınır plastik dönme değeri, detaylı malzeme modelleri ile hazırlanmış kesit moment-eğrilik bağıntısı üzerinden sınır birim şekildeğiştirme değerlerine ($\epsilon_c^{GÖ}$, $\epsilon_s^{GÖ}$) bağlı olarak belirlenir. Beton ve donatı birim şekildeğiştirmelerinden GÖ sınırını tanımlayan ϕ_u eğrilğine geçiş Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.



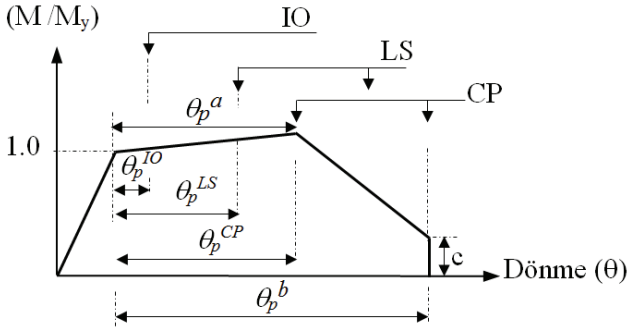
Şekil 2 - TBDY-2018'de Göçmenin Önlenmesi (GÖ) sınırına ait eğrilğin belirlenmesi

Şekil 2'de M_y enkesit akma momentini, N kolondaki eksenel basınç yükünü, σ_c ve σ_s sırasıyla beton ve donatıdaki gerilmeleri ifade etmektedir. M_y akma momentini için TBDY'deki tanım esas alınmıştır. Buna göre 0.0035'lik beton birim kısalması veya 0.01'lik donatı uzamasına karşılık gelen moment değeri kullanılmıştır. (ϕ_u) eğrilğinden plastik dönme açısına ($\theta_p^{GÖ}$) geçiş için plastik mafsal hipotezi çerçevesinde temel mekanik prensipleri kullanılmaktadır. Ancak tersinir tekrarlı yüklerden kaynaklanan donatı sıyrılmasının etkisi de amprik bir ifade ile plastik dönme açısına eklenmektedir (Tablo 1). TBDY-2018'de, mevcut yapıların performans değerlendirmesinde yeni yapılacak yapılardan farklı olarak, kesme kuvvetinin belirli düzeyi aştığı durumlarda Tablo 1'de verilen plastik dönme açısı sınırlarında belirli oranda azaltma uygulanmaktadır.

3. ASCE/SEI 41-17 KOLON MODELLEME PARAMETRELERİ VE PERFORMANS DÜZEYLERİ

ASCE'de kolonların tersinir tekrarlı yükler etkisindeki davranışı için Şekil 3'deki karakteristik θ_p^a , θ_p^b ve c modelleme parametreleri ile tanımlanan moment-dönme bağıntıları kullanılmakta ve performans düzeylerine ait sınırlar bu bağıntı esas alınarak verilmektedir

[6]. Bu bağtıında, θ_p^a elemanın eğilme (yatay yük) kapasitesinde önemli azalmaların başladığı plastik dönme açısını, θ_p^b elemanın düşey yük taşıma kapasitesini kaybettiği (eksenel göçme) plastik dönme açısını, c ise aksnel göçme kapasitesine ulaşmış elemandaki kalan (artık) eğilme kapasitesi oranını ifade etmektedir. ASCE'deki bu parametreler, aksnel kuvvet düzeyi, kesme kuvveti düzeyi, sargı donatısı oranı ve malzeme özellikleri bakımından farklılık gösteren dikdörtgen ve dairesel enkesitli kolonlara ait deneysel veri tabanına dayanarak belirlenmiştir [20,21,24,26]. İlgili çalışmada, deneysel yatay yük-yatay yerdeğıştirme verilerinden plastik dönme açısına geçmek için plastik mafsal yaklaşımı esas alınmıştır [20]. θ_p^a açısı için kolonun maksimum eğilme (yatay yük) dayanımı sonrası %20 azalmaya karşılık gelen plastik dönme değeri ve θ_p^b açısı için ise kolonun aksnel kuvvet (yük) taşıma kapasitesinin sonlandığı plastik dönme değeri esas alınmıştır. Mevcut test verileri içinde aksnel kuvvet taşıma kapasitesinin rapor edilmediği veya deneyin daha erken sonlandırıldığı durumlarda, maksimum eğilme dayanımı sonrası %75 azalmaya karşılık gelen plastik dönme açıları aksnel göçmenin başlangıcı olarak kabul edilmiştir [20].



Şekil 3 - ASCE 41-17 kolon moment-dönme bağıntısı için modelleme parametreleri ve performans düzeylerine ait plastik dönme açıları [6]

Tablo 2 - ASCE 41-17 modelleme parametreleri ve performans düzeyi sınırları [2]

Moment-Dönme bağıntısına ait karakteristik değerler (modelleme parametreleri) (Aderans yetersizliği bulunmayan dikdörtgen enkesitli elemanlar için)		Performans düzeylerine ait plastik dönme açıları (rad)		
		Hemen Kullanım p. düzeyi (θ_p^{IO})	Can Güvenliği p. düzeyi (θ_p^{LS})	Göçme Önleme p. düzeyi (θ_p^{CP})
θ_p^a (rad)	$0.042 - 0.043 \frac{N}{A_c f_c} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_y}{V_r} \geq 0.0$	$0.15 * \theta_p^a$ ≤ 0.005	$0.5 * \theta_p^b$	$0.7 * \theta_p^b$
θ_p^b (rad)	$\frac{N}{A_c f_c} \leq 0.5$ ise $0.5 / (5 + \frac{N}{0.8 A_c f_c \rho_t f_{yw}} \frac{f_c}{f_{yw}}) - 0.01$			
	$0.5 < \frac{N}{A_c f_c} < 0.7$ ise lineer interpolasyon			
	$\frac{N}{A_c f_c} = 0.7$ ise 0			
c	$0.24 - 0.40 \frac{N}{A_c f_c} \geq 0.0$			
$\frac{V_y}{V_r} \geq 0.2$; $\frac{N}{A_c f_c} \geq 0.1$; $0.0005 \leq \rho_t \leq 0.0175$ ve $\theta_p^b \geq \theta_p^a$ olmalıdır				

İlgili çalışmada [20], testlerden elde edilen θ_p^a ve θ_p^b değerleri için sargı, eksenel kuvvet, kesme kuvveti oranı ve malzeme özelliklerini içeren lineer regresyon bağıntıları elde edilmiştir. Regresyon bağıntıları ile deneysel sonuçların farkı için hazırlanan kümülatif dağılımlar esas alınarak, θ_p^a ve θ_p^b parametrelerinin deneysel değerlere göre aşılma (güvensiz durum oluşma) olasılıkları %50 ile sınırlandırılmıştır (Şekil 1b). ASCE 41-17’de dikdörtgen enkesitler için öngörülen modelleme parametreleri ve performans düzeylerine ait plastik dönme açıları Tablo 2’de verilmiştir. Bu bağıntılar donatı detayları nedeniyle aderans yetersizliği bulunmayan elemanlara ait olup, aderans yetersizlikleri bulunan elemanlar ve dairesel olan enkesitler için farklı bağıntılar öngörülmüştür [6].

Tablo 2’de; A_c brüt enkesit alanını, V_y akma (plastikleşme) momentine karşılık gelen kesme kuvvetini göstermekte ve kesit akma momentinin (M_y) kesme açıklığı L_s ’ye bölünmesi ile belirlenmektedir. Akma momenti için TBDY-2018’deki tanım kullanılmıştır. ρ_t gözönüne alınan doğrultudaki enine donatı oranını göstermekte ve b enkesit genişliği olmak üzere (4) bağıntısı ile belirlenmektedir.

$$\rho_t = A_{sh}/bs \quad (4)$$

V_r kesitin kesme kuvveti taşıma kapasitesini göstermekte ve (5) bağıntısı ile belirlenmektedir.

$$V_r = k_{nl} \left[\alpha_{col} \left(\frac{A_{sh} f_y d}{s} \right) + \lambda \left(\frac{0.5 \sqrt{f_c}}{M/Vd} \sqrt{1 + \frac{N}{0.5 A_c \sqrt{f_c}}} \right) 0.8 A_c \right] \quad (5)$$

Burada k_{nl} deplasman sünekliği talebine bağlı katsayıdır, çalışmada 1.0 alınmıştır. d enkesit faydalı yüksekliğini, α_{col} enine donatının etkinliğini ifade eden katsayıdır ($s/d \leq 0.75$ ise 1.0, $s/d \geq 1.0$ ise 0 alınır, ara değerler için doğrusal interpolasyon uygulanır). λ beton özelliğini ifade eden katsayıdır, hafif beton için 0.75, normal beton için 1.0 alınmaktadır. M/Vd , kesite etkiyen momentin, kesme kuvveti faydalı yükseklik çarpımına oranını göstermektedir (ASCE’ye göre $2 \leq M/Vd \leq 4$ olmalıdır) [6].

Eğilme dayanımında önemli azalmanın başladığı karakteristik sınırı ifade eden θ_p^a açısının, malzeme özellikleri ile birlikte eksenel kuvvet düzeyi, sargı oranı ve kesme kuvveti düzeyine bağlı olduğu, eksenel göçmeye karşılık gelen θ_p^b açısının ise malzeme özellikleri ile birlikte eksenel kuvvet düzeyi ve sargı oranına bağlı olduğu görülmektedir (Tablo 2). ASCE’de %50’lik aşılma olasılığına karşılık gelen modelleme parametrelerinin yanı sıra θ_p^a ve θ_p^b dönme açılarının %10, %25 ve %40’lık aşılma olasılıklarını sağlamaları için bu parametrelere uygulanması gereken katsayılar da verilmiştir (Tablo 3)[6]. Bu katsayılar ile farklı risk düzeyleri için değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlanmıştır.

Tablo 3 - Farklı aşılma olasılıkları için modelleme parametresi katsayıları

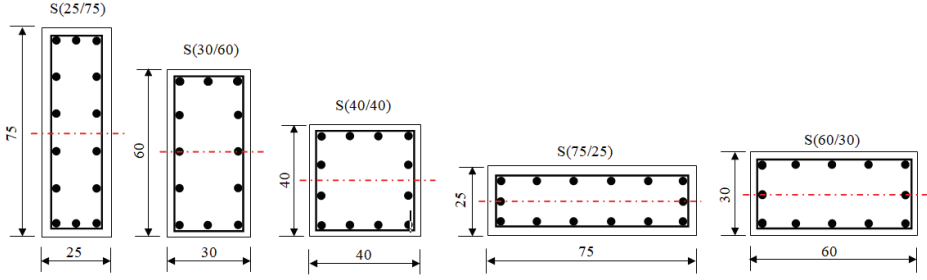
Modelleme parametresi	Aşılma olasılığı katsayısı		
	% 40 aşılma olasılığı	%25 aşılma olasılığı	%10 aşılma olasılığı
θ_p^a (rad)	0.80	0.62	0.47
θ_p^b (rad)	0.80	0.70	0.50

ASCE 41-17’de, *Hemen Kullanım (Immediate Occupancy-IO)*, *Can Güvenliği (Life Safety-LS)* ve *Göçme Önleme (Collapse Prevention-CP)* olmak üzere üç performans düzeyi tanımlanmıştır (Şekil 3) [6]. IO ile deprem sonrası yapının kullanımını engellemeyecek düzeydeki hasar düzeyi ifade edilmektedir. Bu sınır plastik dönme açısı θ_p^a değerinin %15’i alınarak belirlenmekte ve 0.005 rad ile sınırlanmaktadır. LS ile kısmi veya toptan göçmenin başlangıcına göre belirli bir güvenliği içeren hasar düzeyi öngörülmektedir. CP ile ise düşey yüklerin taşınmaya devam ettiği ancak göçmeye karşı güvenliğin kalmadığı hasar düzeyi ifade edilmektedir. LS ve CP düzeylerine ait sınırlar, kolonun eksenel göçme sınırını ifade eden θ_p^b değerinin sırasıyla % 50’si ve % 70’i alınarak belirlenmektedir. LS düzeyine ait oran, θ_p^b açısının %10’luk, CP düzeyine ait oran θ_p^b açısının %25’lik aşılma olasılığı esas alınarak belirlenmiştir [6]. Bu aşılma olasılıkları ile tüm elemanlarda eksenel göçmeye karşı risklerin kontrol altında tutulması hedeflenmiştir. Yüksek eksenel kuvvet/kesme kuvveti, çok düşük sargı düzeyi vb. durumlarda eksenel kapasite ve eğilme kapasitesi birlikte sonlanabilmekte, bu durumda söz konusu aşılma olasılıkları aynı zamanda eğilme kapasitesi için de geçerli olmaktadır.

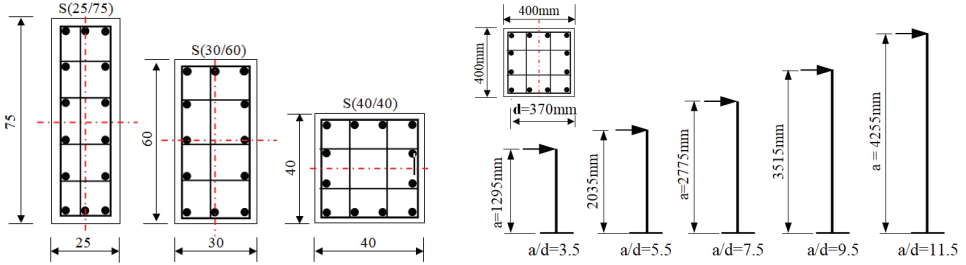
4. PARAMETRİK SAYISAL İNCELEME

Çalışmada, kolon hasar düzeyleri üzerinde etkili olması beklenen enkesit boyutu, eksenel kuvvet (yük) düzeyi, boyuna ve enine donatı (sargı) oranı, kesme etkisi ve beton dayanımı için parametrik incelemeler yapılmıştır. Parametrelere ait değişkenler hem mevcut yapılarda karşılaşılan bazı yetersizlikleri hem de TBDY-2018’e uygun tasarımları temsil edecek şekilde seçilmiştir. Enkesit boyutlarının etkisini gözlemek için alanları yaklaşık aynı, boyutları 1/1, 1/2 ve 1/3 oranında olan enkesitler seçilmiş ve dikdörtgen kesitlerin hem zayıf ve hem güçlü eksenlerdeki eğilmelerini içerecek şekilde beş farklı enkesit boyutu incelenmiştir (Şekil 4). Beton basınç dayanımı için 14, 20 ve 30 MPa olmak üzere üç farklı beton kalitesi gözönüne alınmıştır. Boyuna donatı için kolon minimum ve maksimum donatı oranlarının arasını temsil edecek şekilde $\rho_1=0.011$, $\rho_2=0.023$, $\rho_3=0.039$ olmak üzere üç farklı alternatif incelenmiştir (Şekil 4, Tablo 4). Sargı etkisinin incelenmesi amacıyla, 3 farklı enine donatı uygulaması yapılmıştır. Uygulamaların birincisinde, sadece seyrek yerleştirilmiş dış etriye kullanılarak düşük düzeyde sargı durumu temsil edilmiş, diğer iki uygulamada ise çiroz kullanımı ve etriye özellikleri değiştirilerek orta ve yüksek düzeyde sargılama oluşturulmuştur (Şekil 4, Tablo 4).

Düşük ve orta düzeyde sargı durumları TBDY-2018’e göre yetersiz kalırken, yüksek düzeyde sargı tüm yönetmelik koşullarını sağlamaktadır. $(N/f_c A_c)$ oranının 0.10-0.70 arasında değişen yedi farklı değeri için eksenel kuvvet etkisi incelenmiştir. Kesme kuvveti etkisinin incelenmesi amacıyla kesme açıklığı/faydalı yükseklik (a/d) oranı 3.5 ile 11.5 arasında değişen beş farklı durum gözönüne alınmıştır. Bunun için kolonların tekil yük etkisinde konsol sistem olduğu kabul edilerek her bir enkesit boyutu için sabit birer a/d değeri elde edilecek şekilde kolon boyları kullanılmıştır. S(40/40)’lık enkesit için kullanılan kolon boyları Şekil 4’de gösterilmiştir. Böylece her bir eleman boyutu için farklı düzeyde kesme etkinliklerinin incelenmesine ve farklı özelliklerdeki elemanların aynı düzeyde kesme etkisi altında karşılaştırılabilmesine olanak sağlanmıştır.



a) Düşük düzeyde sargı durumu (ρ_1) için donatı detayları



b) Orta ve yüksek düzeyde sargı durumu (ρ_2, ρ_3) için donatı detayları

c) S(40/40)'lık enkesitte farklı a/d değerleri için kullanılan kolon boyları

Şekil 4. Enkesit boyutları, donatı detayları ve S(40/40)'lık enkesit için kolon boyları

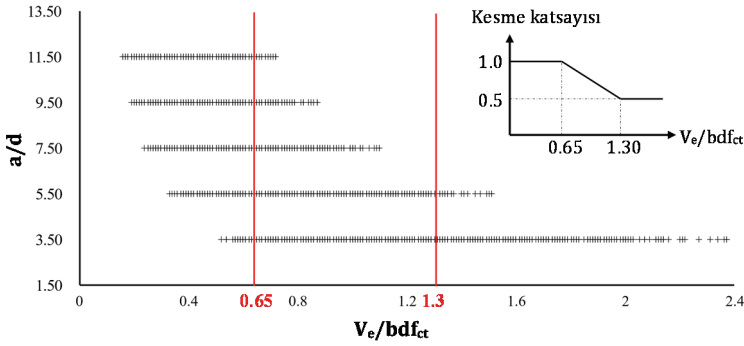
Tablo 4 - Kullanılan boyuna ve enine donatılar

Kesitler	Boyuna donatı			Enine donatı					
	1	2	3	1		2		3	
				Etriye	Çiroz	Etriye	Çiroz	Etriye	Çiroz
S(25/75)/S(75/25)	14 ϕ 14	14 ϕ 20	14 ϕ 26	ϕ 8/200	-	ϕ 8/120	5 ϕ 8	ϕ 10/60	5 ϕ 10
S(30/60)/S(60/30)	12 ϕ 14	12 ϕ 20	12 ϕ 26				4 ϕ 8		4 ϕ 10
S(40/40)	12 ϕ 14	12 ϕ 20	12 ϕ 26				4 ϕ 8		4 ϕ 10
Donatı oranı (%) ($\rho = A_s/bh$) ($\rho_c = A_{st}/bs$)	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_{t1}		ρ_{t2}		ρ_{t3}	
	1.10	2.30	3.90	0.07-0.20		0.33-0.50		0.98-1.57	

TBDY-2018'e göre kesme kuvvetinin hasar sınırına etkisi sadece mevcut yapıların değerlendirilmesinde gözönüne alınmakta, yeni yapılacak yapılarda bu konuda bir madde bulunmamaktadır. Mevcut yapılarda (6) bağıntısı ile tanımlanan elemandaki kesme kuvveti oranı %65'i aştığında plastik dönme açlarına ait sınırlar bir kesme katsayısı ile azaltılmaktadır.

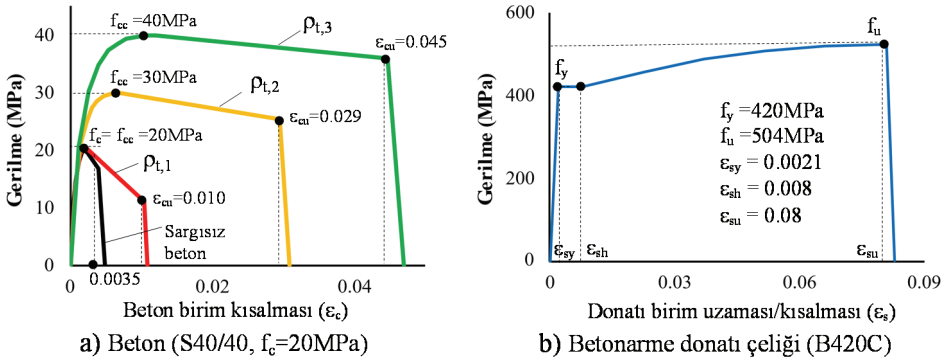
$$V_e/bdf_{ct} \quad (6)$$

Burada V_e elemanın kesme tasarım dayanımını, f_{ct} betonun çekme dayanımını ifade etmektedir. Çalışmada V_e elemanın moment taşıma kapasitesinin (M_u) kesme açıklığına (L_s) oranı alınarak hesaplanmış, çekme dayanımı f_{ct} ise karakteristik basınç dayanımına bağlı olarak TS500 [27]'den belirlenmiştir. Elemandaki kesme kuvveti oranına göre hesaplanan kesme katsayısı Şekil 5'de gösterildiği gibi 0.5 ile 1.0 arasında lineer olarak değişmektedir. Çalışmada incelenen elemanlardaki kesme kuvveti oranları (a/d)'ye bağlı olarak Şekil 5'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi, a/d oranının küçülmesiyle TBDY'deki kesme katsayısının etkinliği ve uygulandığı eleman sayısı önemli ölçüde artmıştır (Şekil 5). Yeni yapılacak yapılarda kesme katsayısı uygulaması bulunmaması nedeniyle TBDY-2018 tasarım koşullarını sağlayan elemanlarda, kesme katsayısı içermeyen hasar sınırları da belirlenerek ASCE ile ayrıca karşılaştırılmıştır.



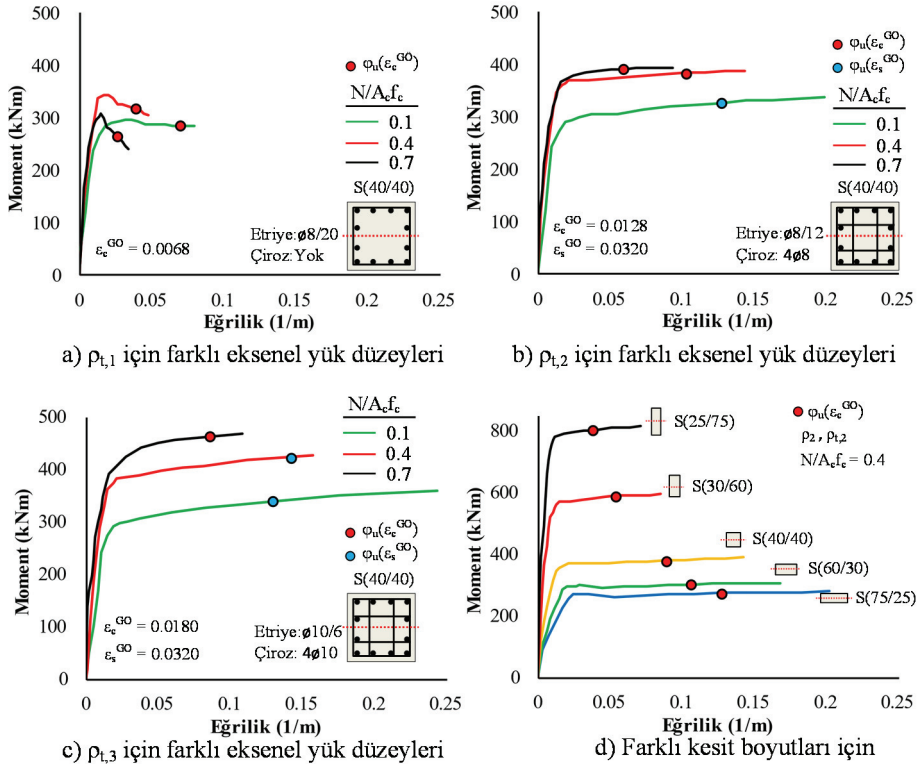
Şekil 5 - İncelenen elemanlarda TBDY-2018'e göre kesme kuvveti düzeyinin ve kesme katsayısının değişimi

TBDY-2018'e göre hasar sınırlarının hesabı için gerekli moment-eğrilik analizlerinde beton ve donatı için yönetmelikte önerilen modeller kullanılmıştır [1]. Çalışmada incelenen üç farklı sargı durumu için S(40/40) enkesitinde elde edilen sargılı beton hesap modelleri ile sargısız beton modeli ve boyuna donatı modeli Şekil 6'da örnek olarak gösterilmiştir.



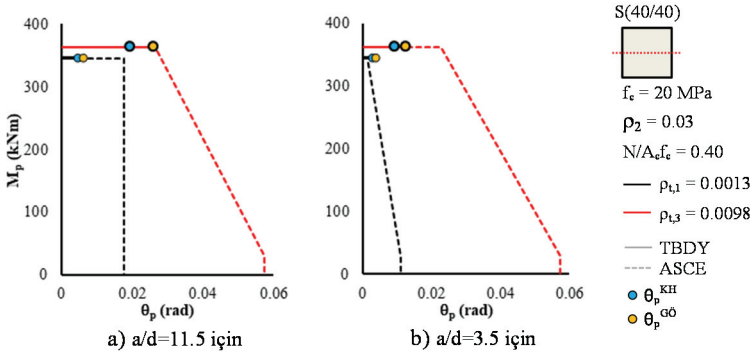
Şekil 6 - S(40/40) enkesiti için kullanılan beton ve boyuna donatı hesap modelleri

Çalışma kapsamında 5 farklı enkesit, 7 eksenel kuvvet düzeyi, 5 kesme kuvveti düzeyi, 3 sargı oranı, 3 boyuna donatı oranı ve 3 farklı beton dayanımı için yapılan kombinasyonlar sonucunda 4725 kolon elemanı oluşturulmuş ve ilgili beton/donatı modelleri kullanılarak moment-eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Kesit analizleri için çalışma kapsamında geliştirilen excel tabanlı yazılım kullanılmıştır. $\rho_2=0.023$ 'lük boyuna donatı oranına sahip S(40/40) kesiti üzerinde üç farklı sargı durumu ve üç farklı eksenel kuvvet düzeyi için elde edilen moment-eğrilik bağıntıları Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca beş farklı enkesit boyutu için $N/f_c A_c=0.40$ 'lık eksenel kuvvet düzeyinde elde edilen moment-eğrilik bağıntıları Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Her bir grafikte TBDY'deki *Göçmenin Önlenmesi* (GÖ) sınırına ait eğrilik değeri (ϕ_u) işaretlenmiş ve söz konusu eğrilik belirlenmesinde etkili olan malzeme birim şekildeğiştirmesi ($\epsilon_c^{GÖ}$ veya $\epsilon_s^{GÖ}$) de belirtilmiştir.

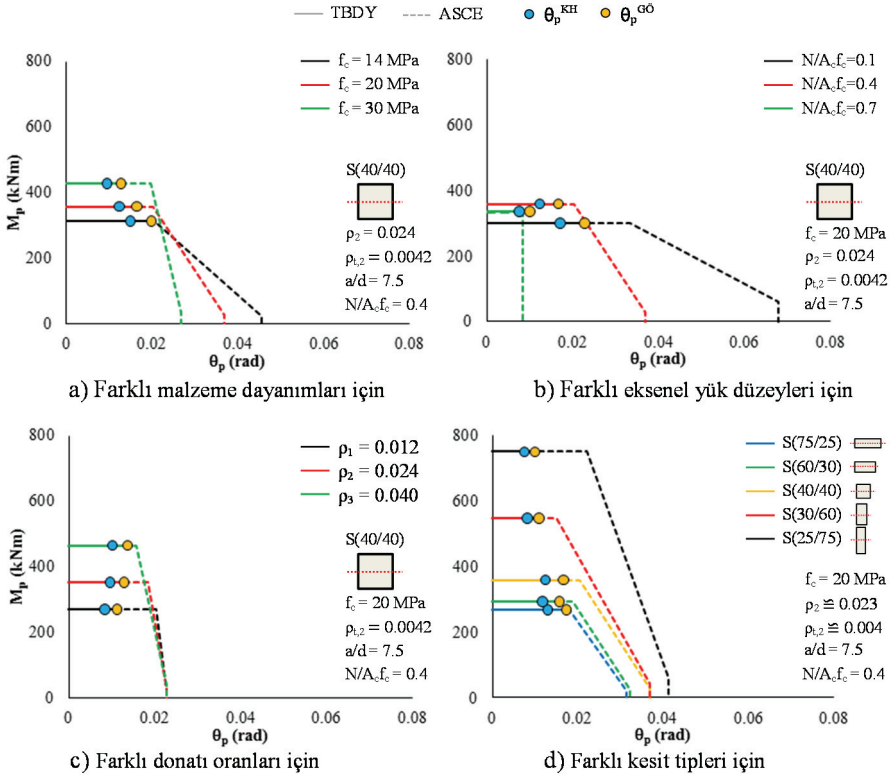


Şekil 7 - Farklı sargı düzeyi, eksenel kuvvet düzeyi ve enkesit boyutları için moment-eğrilik bağıntıları ve TBDY-2018'e göre Göçmenin Önlenmesi sınır eğrilikleri ($f_c=20$ MPa, $a/s=7.5$, ρ_2 için)

ASCE modelleme parametreleri kullanılarak çeşitli kolon elemanları için moment-plastik dönme bağıntıları (ideal-plastik kabulü ile) oluşturulmuş ve bunlar üzerinde TBDY'den elde edilen KH ve GÖ performans düzeyi sınırları işaretlenerek Şekil 8-10'da gösterilmiştir. Bu grafiklerde, her bir parametrenin (enkesit boyutu, eksenel kuvvet düzeyi vb.) ve parametreler

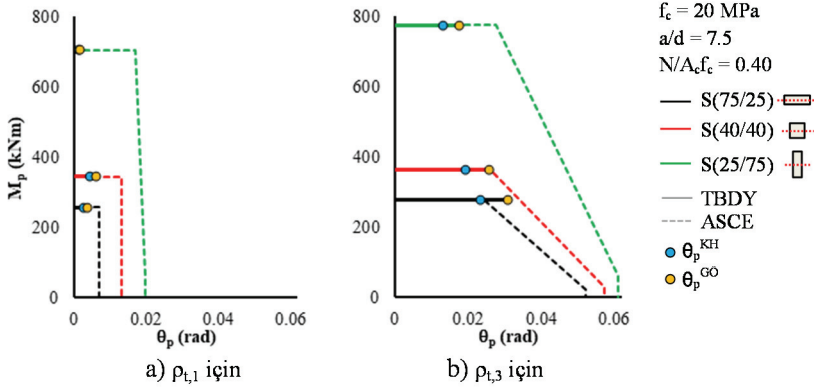


Şekil 8 - Kesme kuvveti düzeyi (a/d) ve sargı oranının ASCE modelleme parametreleri ve TBDY θ_p^{KH} , θ_p^{GO} değerleri üzerindeki etkisi



Şekil 9 - Beton dayanımı, eksenel kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ve kesit boyutunun ASCE modelleme parametreleri ve TBDY θ_p^{KH} , θ_p^{GO} değerleri üzerindeki etkisi

için seçilen değişkenlerin moment-plastik dönme davranışına etkileri gözlenebilmektedir. ASCE’de aksel göçmeye karşılık gelen karakteristik sınırın referans alınması nedeniyle, yeterli sargı donatısı bulunan ve düşük aksel kuvvete maruz elemanlarda, dayanım azalmalarına rağmen eğilme kapasitesi sınırının ötesinde önemli bir dönme kapasitesi artışı sağlandığı, buna karşılık düşük düzeyde sargılı ve yüksek aksel kuvvete maruz elemanlarda eğilme kapasitesi ile birlikte aksel kapasitenin de sonlandığı görülmektedir (Şekil 8-10).



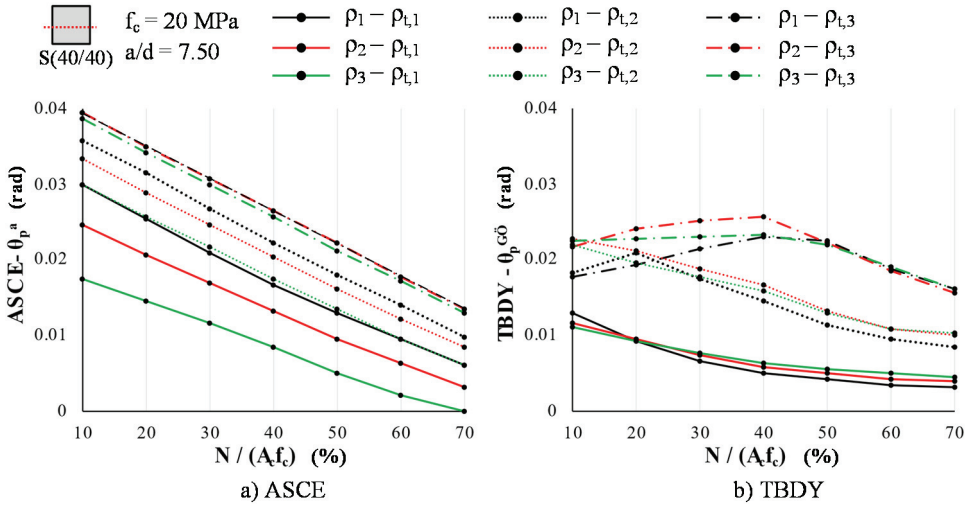
Şekil 10 - Sargı oranı ve kesit boyutunun ASCE modelleme parametreleri ve TBDY θ_p^{KH} , θ_p^{GO} değerleri üzerindeki etkisi

4.1. TBDY θ_p^{GO} ve ASCE θ_p^a Dönme Açılarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, gözönüne alınan parametrelerin ASCE ve TBDY’den elde edilen dönme açıları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve iki yaklaşım arasında önemli farklılığa sebep olan parametreler ortaya konmuştur. ASCE ve TBDY’de esas alınan performans düzeyi (hasar sınırı) tanımlarında önemli farklılıklar bulunması nedeniyle karşılaştırmalar, her iki yaklaşımda da benzer karakteristik sınırı ifade eden TBDY θ_p^{GO} ve ASCE θ_p^a dönme açıları için yapılmıştır.

4.1.1. Aksel Kuvvet Etkisi

TBDY θ_p^{GO} ve ASCE θ_p^a dönme açılarının aksel kuvvet düzeyine göre değişimleri, $f_c=20\text{MPa}$, $a/d=7.5$ ve S(40/40) özelliklerindeki kolon elemanları için Şekil 11’de karşılaştırılmıştır. Grafiklerde her bir aksel kuvvet düzeyi için üç farklı enine donatı (sargı) ve boyuna donatı oranına ait sonuçlar gösterilmiştir. Genel olarak aksel kuvvet değişiminin plastik dönme açıları üzerindeki etkisi ASCE’de TBDY’ye göre çok daha belirgin olmuştur. ASCE θ_p^a dönme açısı aksel kuvvet etkisi ile hemen hemen lineer değişim göstermiş ve beklendiği gibi aksel kuvvet oranı arttıkça azalmıştır (Şekil 11). Kesit boyutu ve diğer parametreler bu eğilimi değiştirmemiştir.



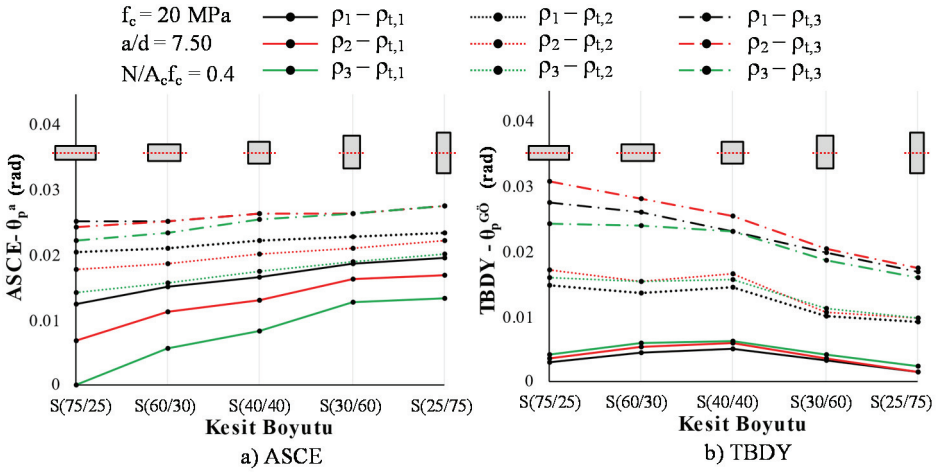
Şekil 11 - Eksenel kuvvet düzeyinin θ_p^a ve θ_p^{G0} üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

TBDY θ_p^{G0} açısının eksenel kuvvet düzeyi ile değişimi ise, orta ve düşük düzeyde sargı durumunda ASCE ile benzer eğilim göstermiştir. Ancak yüksek sargı durumunda ve 0.40'lık eksenel kuvvet düzeyinin altında eğilim önemli ölçüde değişmiştir (Şekil 11b). Düşük eksenel kuvvet düzeylerinde *Göçmenin Önlenmesi* sınırına ait eğrilikte, yüksek sargı nedeniyle beton yerine donatı birim şekildeğiştirme sınırı (ϵ_s^{G0}) belirleyici olmuş, bu da TBDY θ_p^{G0} açısını azaltmıştır. Bu nedenle bu özellikteki elemanlarda TBDY ve ASCE dönme açıları arasındaki fark önemli ölçüde artmıştır.

Boyuna donatı oranının dönme açıları üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde; her iki yaklaşımda da sargı düzeyi belirleyici olmuş, ancak ASCE'de sargı oranı arttıkça boyuna donatının dönme açıları üzerindeki etkinliği önemli ölçüde azalırken, TBDY'de genel olarak bunun tersi eğilim gerçekleşmiştir (Şekil 11). Bu eğilim farkı diğer tüm parametrelere ait sonuçlarda da benzer şekilde gözlenmiştir.

4.1.2. Enkesit Boyutunun Etkisi

TBDY θ_p^{G0} ve ASCE θ_p^a dönme açılarının enkesit boyutlarına göre değişimleri, $f_c=20\text{MPa}$, $a/d=7.5$ ve $N/A_c F_c=0.40$ özelliklerindeki kolonlar için Şekil 12'de karşılaştırılmıştır. Grafiklerde her bir enkesit boyutu için üç farklı boyuna donatı ve enine donatı (sargı) oranına ait sonuçlar gösterilmiştir. ASCE ve TBDY arasındaki önemli farklardan birisi enkesit değişiminde görülmektedir. Eğilme doğrultusundaki enkesit yüksekliğinin artması ASCE'de θ_p^a açısını genel olarak artırırken, TBDY'deki θ_p^{G0} açısında azalışa sebep olmuştur. Ancak bu eğilimler üzerinde sargı düzeyi oldukça etkili olmuştur (Şekil 12).



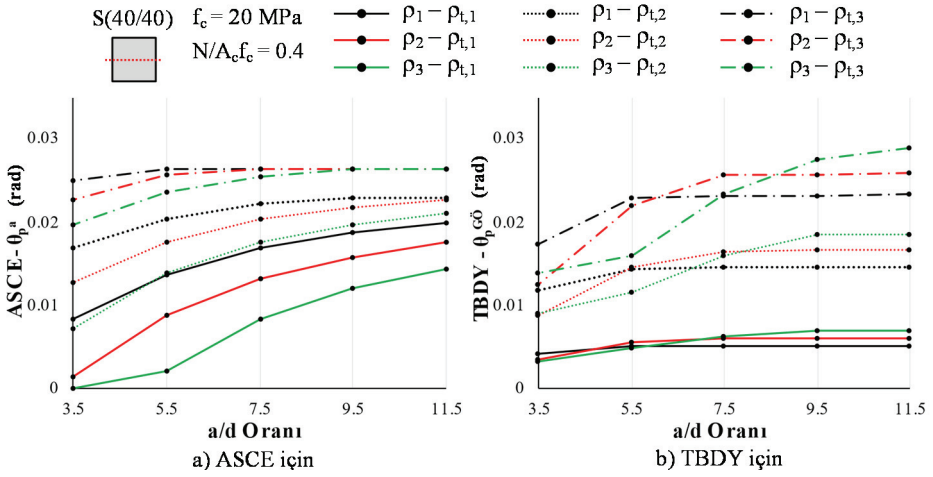
Şekil 12 - Enkesit boyutlarının θ_p^a ve θ_p^{G0} üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

ASCE’de sargı düzeyinin artması enkesit değişiminin etkisini azaltmış, hatta en yüksek sargı durumunda hemen hemen değişim olmamıştır (Şekil 12a). ASCE yaklaşımında bu eğilimin oluşmasında kesme düzeyini temsil eden (V_y/V_t) oranı belirleyici olmuştur. TBDY’de ise kesit yüksekliği ile θ_p^{G0} değerindeki değişim, özellikle en düşük sargı durumunda farklılık göstermiştir (Şekil 12b). TBDY yaklaşımındaki eğilimin oluşmasında donatı sıyrılması nedeniyle ilave edilen dönme açısı belirleyici olmuştur. Bu amaçla kullanılan ampririk bağıntıdaki enkesit eğriliği (ϕ_u), kesit yüksekliği artışına bağlı olarak azalmış, bu da plastik dönme açısını özellikle yüksek sargılı durumda önemli ölçüde azaltmıştır.

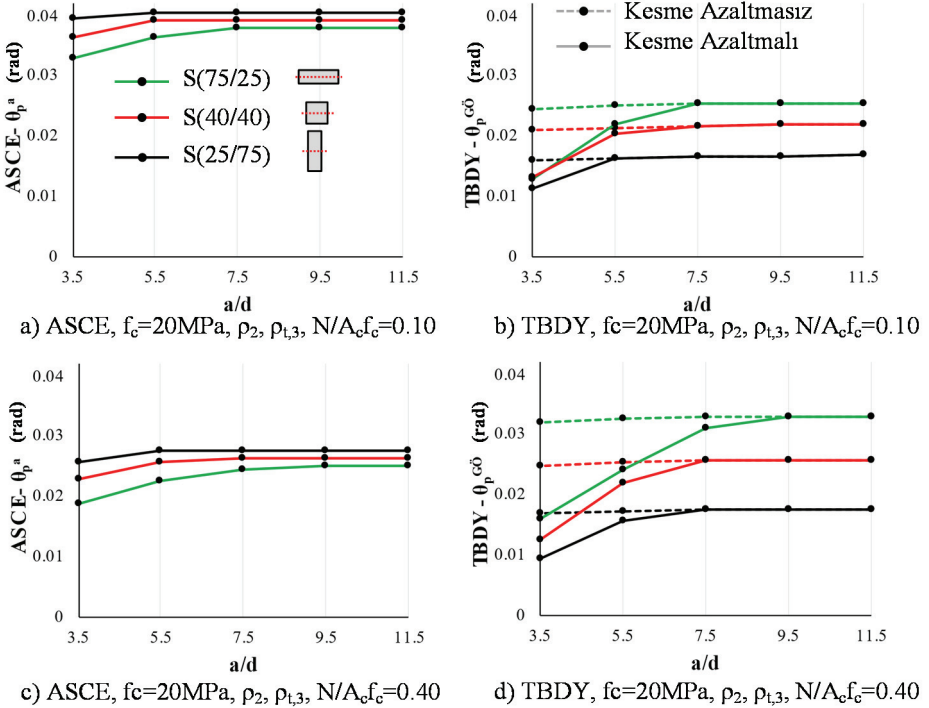
4.1.3. Kesme Kuvveti Etkisi

Kesme kuvveti düzeyinin etkisini gözlemek amacıyla, $f_c=20\text{MPa}$, $N/A_c f_c=0.40$, S(40/40) özelliklerindeki elemanlarda TBDY θ_p^{G0} ve ASCE θ_p^a açılarının a/d oranına göre değişimleri Şekil 13’de karşılaştırılmıştır. θ_p^{G0} değerleri, TBDY’de mevcut yapılar için öngörülen kesme katsayısı uygulanarak elde edilmiştir. ASCE’deki θ_p^a dönme açısı kesme kuvveti düzeyini içeren bir denklem ile belirlendiğinden, a/d değeri büyüdükçe genel olarak θ_p^a değeri de artmaktadır (Şekil 13a). Ancak bu değişimin önemli ölçüde sargı düzeyine bağlı olduğu görülmektedir. Yüksek düzeyde sargı durumunda kesmenin daha az etkili olduğu, sargı düzeyi azaldıkça kesmenin θ_p^a üzerindeki etkisinin önemli ölçüde arttığı gözlenmektedir. TBDY’deki kesme katsayısı, a/d oranının 9.5’den küçük değerleri için etkili olarak θ_p^{G0} değerini azaltmış, ancak ASCE’dekinin tersine, sargı düzeyi yüksek olan kesitlerde dönme açısı kesme katsayısı ile daha fazla azalırken, sargı düzeyi azaldıkça dönme kapasitesindeki değişim oranı düşmüştür.

TBDY-2018’e göre tasarlanan yeni bina elemanlarında kesme katsayısı uygulaması bulunmaması nedeniyle, çalışma kapsamında incelenen kolon elemanlarda beton dayanımı,



Şekil 13 - Kesme kuvveti düzeyinin θ_p^{G0} ve θ_p^a üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

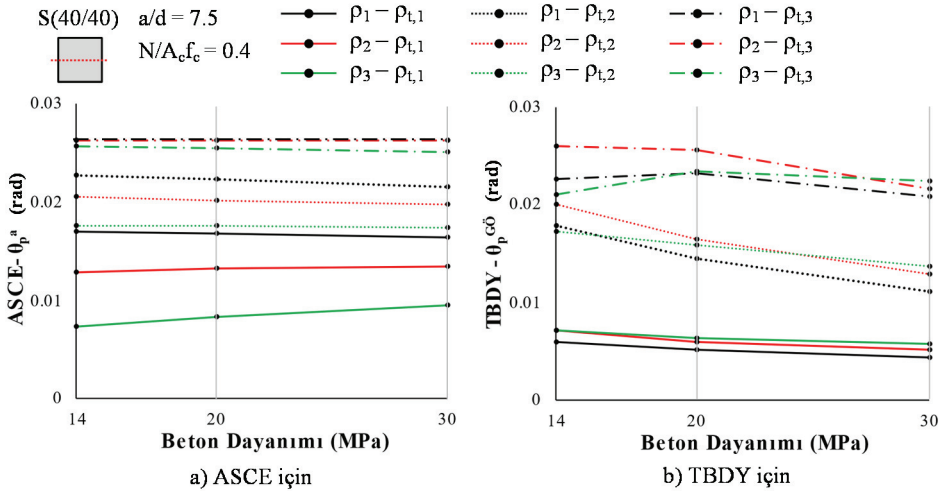


Şekil 14 - TBDY-2018 tasarım koşullarını sağlayan elemanlarda kesmenin θ_p^{G0} ve θ_p^a üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

sargı oranı ve eksenel yük düzeyi bakımından TBDY-2018 tasarım koşullarını sağlayan elemanlar için kesme etkisi ayrıca değerlendirilmiştir. Bunun için örnek olarak üç farklı enkesit boyutu ve iki farklı eksenel yük düzeyi için kesme katsayısı uygulanarak ve uygulanmaksızın elde edilen $\theta_p^{G\ddot{O}}$ değerleri ASCE ile karşılaştırılmıştır (Şekil 14). TBDY-2018 ile uyumlu elemanlarda dahi yüksek kesme kuvveti oranları için ($a/d \leq 5.5$) ASCE plastik dönme açıları azalma olduğu ve eksenel kuvvet düzeyine bağlı olarak kesmenin etkinliğinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 14). TBDY’de mevcut binalar için kullanılan kesme katsayısının tasarım koşullarını sağlayan elemanlarda uygulanması durumunda ise dönme açılarındaki azalmanın ASCE’dekine oranla çok daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 14).

4.1.4. Beton Dayanımının Etkisi

Çalışmada göz önüne alınan üç farklı beton dayanımı için elde edilen sonuçlar, S(40/40) $N/A_c f_c = 0.40$ ve $a/d = 7.5$ özelliklerindeki elemanlar için Şekil 15’de karşılaştırılmıştır. Beton dayanımı değişiminin ASCE θ_p^a plastik dönme açısı üzerinde önemli bir etki yapmadığı, buna karşılık TBDY $\theta_p^{G\ddot{O}}$ dönme açısı üzerinde sargı düzeyine de bağlı olarak etkili olabildiği görülmektedir (Şekil 15). Özellikle orta düzeyli sargı durumunda, beton dayanımı artışına bağlı olarak TBDY $\theta_p^{G\ddot{O}}$ dönme açılarındaki önemli azalma gerçekleşmiştir.



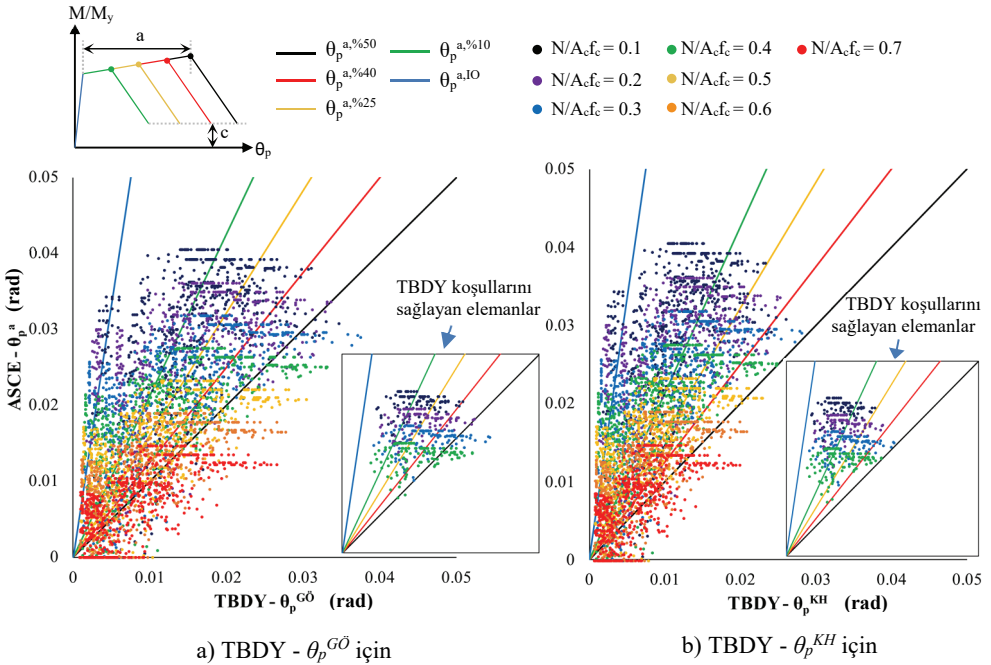
Şekil 15 - Beton dayanımının $\theta_p^{G\ddot{O}}$ ve θ_p^a üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

4.2. ASCE41-17 Referans Alınarak TBDY Performans Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, farklı özelliklerdeki 4725 kolon elemanı için elde edilen TBDY $\theta_p^{G\ddot{O}}$ ve θ_p^{KH} değerleri, ASCE’de karakteristik dönme açıları için verilen aşılma olasılığı sınırları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde, ASCE’ye göre %50’lik aşılma olasılığı için verilen modelleme parametrelerinin (θ_p^a ve θ_p^b) yanı sıra Tablo 3’deki katsayılar

kullanılarak belirlenen %10, %25 ve %40'lık aşılma olasılıklarına karşılık gelen sınırlar ($\theta_p^{a,\%10}$, $\theta_p^{a,\%25}$, $\theta_p^{a,\%40}$ ve $\theta_p^{b,\%10}$, $\theta_p^{b,\%25}$, $\theta_p^{b,\%40}$) ve ASCE'de en düşük hasar düzeyini temsil eden *Hemen Kullanım* (IO) performans düzeyine karşılık gelen sınır da gözönüne alınmıştır.

ASCE'de eğilme kapasitesine ait karakteristik sınırı ifade eden plastik dönme açısı θ_p^a ile TBDY'deki $\theta_p^{G\ddot{O}}$ ve θ_p^{KH} dönme açılarının karşılaştırılması Şekil 16'da verilmiştir. Bu grafiğe göre, %50'lik sınırın (siyah çizgi) üzerindeki noktaların temsil ettiği elemanlarda TBDY ve ASCE değerlerinin eşit olduğu, bu sınırın altında kalan elemanlarda ise TBDY $\theta_p^{G\ddot{O}}$ değerlerinin, ASCE'de öngörülen %50'lik aşılma olasılığı düzeyini sağlayamayacağı ifade edilebilmektedir. TBDY'ye göre hesaplanan $\theta_p^{G\ddot{O}}$ değerlerinin %83'ü ve θ_p^{KH} değerlerinin %93'ü, % 50'lik aşılma olasılığını sağlamıştır (Şekil 16a,b). TBDY ile belirlenen her iki dönme açısı için de %50'lik olasılığı sağlamayan elemanların çok büyük bir bölümünü eksenel yük düzeyi $N/A_c f_c = 0.60-0.70$ olan ve zayıf ekseninde eğilmeye maruz dikdörtgen enkesitli (60/30 ve 75/25) elemanlar oluşturmuştur (Şekil 16a,b). İncelenen elemanların, $\theta_p^{G\ddot{O}}$ değerleri için %33'ünde ve θ_p^{KH} değerleri için %53'ünde, ASCE'deki %10'luk aşılma olasılığı sınırının da altında kaldığı görülmektedir. Hatta sınırlı sayıda (%4) elemanda, TBDY'ye göre ileri hasar düzeylerini tanımlayan $\theta_p^{G\ddot{O}}$ ve θ_p^{KH} dönme açılarının, ASCE'deki en düşük hasar düzeyi olan *Hemen Kullanım* sınırının (θ_p^{IO}) da altında olduğu görülmektedir (Şekil 16a,b). Bu elemanların da büyük bölümünü düşük eksenel yüke ve güçlü ekseninde eğilmeye maruz elemanlar oluşturmuştur (Şekil 16a,b).

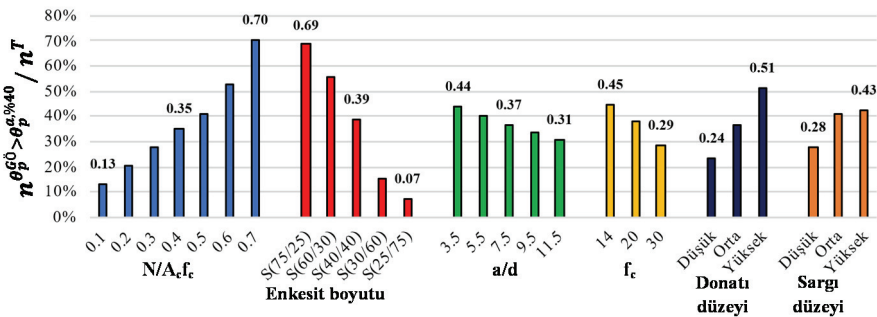


Şekil 16 - Tüm kesitler için TBDY $\theta_p^{G\ddot{O}}$ ve θ_p^{KH} ile ASCE θ_p^a değerlerinin karşılaştırılması

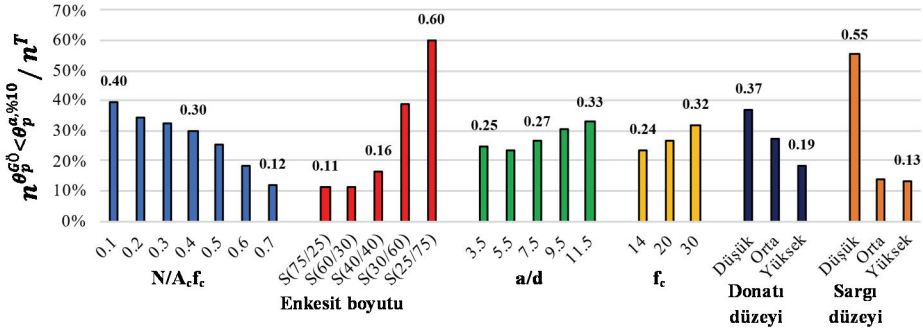
Tüm elemanların karşılaştırıldığı grafiklerde, aksel yük düzeyi, sargı donatısı detayları ve beton dayanımı bakımından TBDY-2018'e uygun olmayan elemanlar çıkarılarak, sadece güncel tasarım koşullarını sağlayan 600 elemanın karşılaştırması grafik içinde ayrıca gösterilmiştir (Şekil 16). Bu tür elemanlar için TBDY'deki θ_p^{G0} dönme açısının genel olarak, ASCE θ_p^a plastik dönme açısına göre daha düşük elde edildiği, sadece zayıf ekseninde eğilmeye maruz S(75/25) ve S(60/30) boyutlarındaki 51(%8) elemanda %50'lik aşılma olasılığının sağlanamadığı görülmektedir. TBDY'deki θ_p^{KH} dönme açısı için ise 35(%6) elemanda %40'lık sınırın aşıldığı görülmektedir. θ_p^{G0} açısı için incelenen elemanların yaklaşık yarısında, θ_p^{KH} açısı için yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünde ASCE'deki % 25'lik aşılma olasılığı sınırının sağlandığı görülmektedir (Şekil 16).

ASCE olasılıksal sınırlarına göre risk düzeyi yüksek ve aşırı güvenli elemanların özelliklerini ortaya koymak amacıyla her bir parametreye ait değişkenler için ASCE'deki $\theta_p^{a, \%40}$ sınırını aşan ve $\theta_p^{a, \%10}$ sınırının altında kalan eleman sayıları ($n_{\theta_p^{G0} > \theta_p^{a, \%40}}$, $n_{\theta_p^{G0} < \theta_p^{a, \%10}}$) ilgili parametreye/değişkene ait toplam eleman sayılarına (n^T) oranlanarak Şekil 17-18'de gösterilmiştir. Örneğin, $N/A_c f_c = 0.10$ 'luk aksel yük düzeyine maruz toplam 675 eleman içinde %40'lık aşılma olasılığını sağlamayan eleman oranı %13 (88/675) elde edilirken, 0.70'lik aksel yük düzeyi için bu oran %70 (473/675) olarak elde edilmiştir. Bu grafiklerden, her bir parametrenin birbirine göre etkinlikleri ve gözönüne alınan değişkenlerin etkisi gözlenebilmektedir. Buna göre, tüm parametrelerdeki değişimin etkili olduğu görülmekle birlikte, enkesit boyutu ve aksel yük düzeyi en belirleyici parametreler olmuştur (Şekil 17-18).

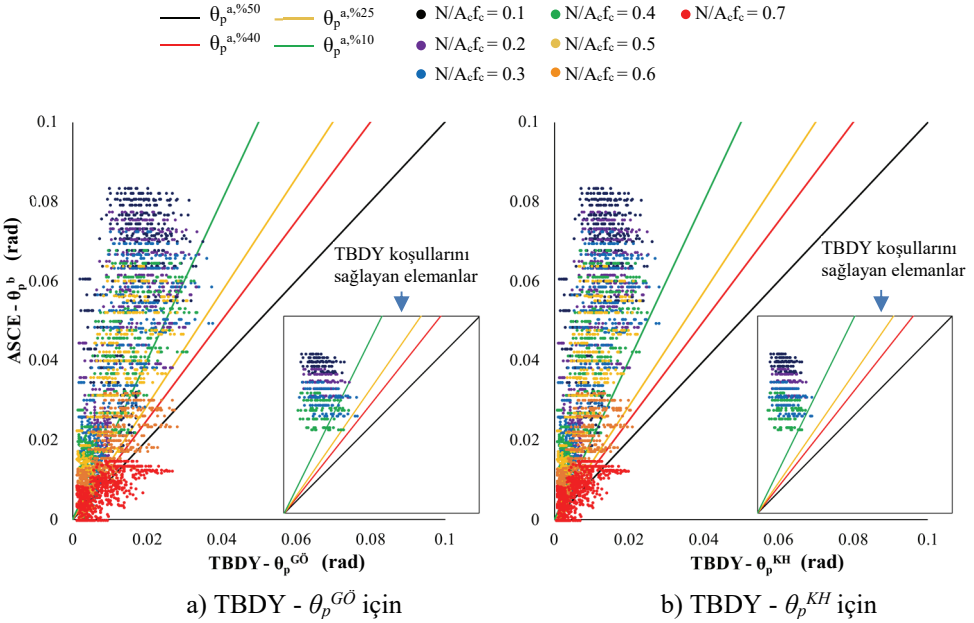
Eğilme doğrultusundaki enkesit yüksekliği azaldıkça %40'lık aşılma olasılığını sağlamayan eleman sayısının arttığı, buna paralel olarak %10'luk olasılığı aşmayan aşırı güvenli eleman sayısının azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde aksel yük düzeyi arttıkça %40'lık aşılma olasılığını sağlamayan eleman sayısı artmış, %10'luk olasılığı aşmayan eleman sayısı azalmıştır (Şekil 17-18). Kesme kuvveti düzeyi artışı, beton dayanımının azalışı ve boyuna donatı oranının artışı da yüksek riskli eleman sayısını belirli ölçüde artırıcı etki yapmıştır. Sargı oranı bakımından ise düşük düzeyli sargının belirgin olarak aşırı güvenli eleman sayısında artışa sebep olduğu görülmüştür (Şekil 17-18).



Şekil 17 - ASCE olasılıksal sınırlarına göre yüksek riskli ($\theta_p^{G0} > \theta_p^{a, \%40}$) eleman sayılarının oransal karşılaştırılması



Şekil 18 - ASCE olasılıksal sınırlarına göre aşırı güvenli ($\theta_p^{G0} < \theta_p^{a, \%10}$) eleman sayılarının oransal karşılaştırılması



Şekil 19 - Tüm kesitler için TBDY θ_p^{G0} ve θ_p^{KH} ile ASCE θ_p^b değerlerinin karşılaştırılması

ASCE’de aksenal yük taşıma kapasitesinin sonlandığı (aksenal göçme) sınırı ifade eden θ_p^b değerleri ile TBDY’deki θ_p^{G0} ve θ_p^{KH} sınırları tüm kesitler için Şekil 19’da karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile ASCE sınırları referans alınarak TBDY’deki *Kontrollü Hasar (KH)* ve *Göçmenin Önlenmesi (GÖ)* sınırlarının aksenal göçmeye göre güvenilirlikleri

değerlendirilmiştir. TBDY θ_p^{G0} ve θ_p^{KH} dönme açıları için %50'lik aşılma olasılığının sağlanmadığı elemanların sayısı sırasıyla 378 ve 204 olarak belirlenmiştir. Bu elemanların hemen hemen tamamının $N/A_c f_c = 0.70$ 'lik eksenel yük düzeyinde olduğu görülmektedir (Şekil 19). θ_p^{G0} açısı için elde edilen değerlerin %85'i, %25'lik aşılma olasılığını sağlamıştır. Bu sınırın aynı zamanda ASCE'deki *Göçme Önlenme* (CP) performans düzeyini ifade ettiği gözönünde bulundurulduğunda, TBDY'deki GÖ sınırının büyük ölçüde olasılıksal ASCE CP şartını da sağladığı ifade edilebilmektedir. Bununla birlikte, özellikle yüksek eksenel yüke maruz %8 oranında eleman için %50'lik olasılıksal sınırın dahi sağlanmadığı belirlenmiştir.

ASCE 41-17'de *Can Güvenliği* (LS) performans düzeyi için tanımlanan plastik dönme açısı (θ_p^{LS}), eksenel göçmeye göre %10'luk aşılma olasılığı öngörülerek belirlenmektedir. Buna göre TBDY'deki KH sınırı ile ASCE'deki LS sınırı (Şekil 19b yeşil çizgi) karşılaştırıldığında; incelenen elemanların %83'ünde, TBDY'de öngörülen *Kontrollü Hasar* sınırının eksenel göçmeye göre %10'luk aşılma olasılığını sağladığı görülmektedir. Ancak yüksek eksenel yüke maruz %4 oranında elemanda, %50'lik olasılıksal sınırın dahi sağlanmadığı belirlenmiştir.

TBDY-2018 tasarım koşullarını sağlayan elemanlar bakımından değerlendirildiğinde; TBDY'deki θ_p^{G0} dönme açısı için hemen hemen tüm elemanlarda eksenel göçmeye göre %25'lik aşılma olasılığının sağlandığı, TBDY'deki θ_p^{KH} dönme açısı için ise eksenel göçmeye göre %10'luk aşılma olasılığının sağlandığı görülmektedir (Şekil 19). Buna göre TBDY-2018 uyumlu elemanlarda TBDY'deki KH sınırının, ASCE'de LS sınırı için öngörülen risk düzeyini sağladığı ifade edilebilmektedir. Bununla birlikte, TBDY'deki θ_p^{KH} ve θ_p^{G0} dönme açılarının çok büyük bölümünün %10'luk aşılma olasılığından çok daha güvenli olduğu görülmektedir. Aşırı güvenli olan bu elemanların çoğunluğunu düşük eksenel yüke ve güçlü eksenel eğilmeye maruz kolonlar oluşturmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TBDY-2018'de plastik dönme açısını esas alan performans düzeyleri (hasar sınırları), ASCE/SEI 41-17'deki aşılma olasılığı esaslı kolon performans kriterleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada enkesit boyutu, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti düzeyi, sargı donatısı oranı, boyuna donatı oranı ve beton dayanımı bakımından farklı özelliklerdeki kolon örneklerine ait karakteristik plastik dönme açıları üzerinde sayısal karşılaştırmalar yapılmıştır.

Her iki standartta da eğilme kapasitesine ait karakteristik sınırı ifade eden TBDY θ_p^{G0} ve ASCE θ_p^a dönme açılarının karşılaştırmasından aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Çalışma kapsamında incelenen elemanların çok büyük bölümü (%83) için TBDY plastik dönme açıları (θ_p^{G0}), ASCE'dekilere (θ_p^a) göre daha düşük elde edilmiştir.
- İncelenen tüm parametreler dönme açıları üzerinde farklı düzeylerde etkili olmakla birlikte, iki standart arasındaki önemli farkların oluşmasında enkesit boyutunun ve eksenel yük düzeyinin etkisi belirleyici olmuştur. Genel olarak, düşük eksenel yük ve güçlü eksenel eğilmeye maruz elemanlarda TBDY, ASCE'ye göre çok daha düşük dönme açıları verirken,

yüksek eksenel yüke ve zayıf ekseninde eğilmeye maruz elemanlarda daha büyük dönme açıları vermiştir.

- Sargı düzeyinin ve boyuna donatı oranının dönme açıları üzerindeki etkinliği bakımından TBDY ve ASCE sonuçları arasında önemli eğilim farkları gözlenmiştir. ASCE’de sargı oranı arttıkça boyuna donatı oranının dönme açıları üzerindeki etkinliği önemli ölçüde azalırken, TBDY’de genel bunun tersi eğilim gerçekleşmiştir.
- TBDY ve ASCE yaklaşımları arasındaki farkların oluşmasında, TBDY’de donatı sıyrılmasını temsil eden amprik ifadenin, ASCE’de ise kesme düzeyini temsil eden ifadenin önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Diğer bir etken de, yüksek düzeyde sargılı ve düşük eksenel yüke maruz elemanlarda, TBDY dönme açılarının belirlenmesinde beton kısalması yerine donatı uzamasının etkili olarak dönme açılarını azaltmış olmasıdır. Bu tür elemanlarda, ASCE’de gözönüne alınan bağıntı gereği eksenel yük azalmasıyla orantılı olarak dönme kapasitelerinde artış görülürken, TBDY’ye göre elde edilen dönme açılarında ise azalma görülmüştür.
- TBDY’de mevcut yapılar için yüksek kesme kuvveti durumunda uygulanması öngörülen kesme katsayısı yaklaşımı, dönme açıları üzerinde ASCE ile benzer eğilimleri sağlamakla birlikte, sargı etkisini içermemesi nedeniyle, dönme açılarındaki kesme etkisinin mertebesi bakımından iki yaklaşım arasında önemli farklılıklara sebep olmuştur. Ayrıca TBDY-2018’e göre, yeni yapılacak bina elemanlarında kesme etkisinin gözönüne alınmamasına karşın, ASCE’ye göre, yüksek kesme etkisi altındaki elemanlarda TBDY-2018 tasarım koşulları sağlansa dahi dönme kapasitelerinin azaldığı belirlenmiştir.

TBDY performans düzeyleri için ASCE’deki aşılma olasılıkları referans alınarak yapılan değerlendirmelerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ASCE’de, eğilme kapasitesine ait karakteristik sınırı ifade eden plastik dönme açısına (θ_p^a) göre yapılan değerlendirmelerde; TBDY’ye göre elde edilen performans düzeylerinin, özellikle düşük eksenel yüke ve güçlü ekseninde eğilmeye maruz elemanların büyük bölümünde ASCE’deki risk düzeylerinin çok altında, aşırı güvenli olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, özellikle yüksek eksenel yüke ve zayıf ekseninde eğilmeye maruz elemanlar için yüksek riskli durumlar oluşabildiği görülmüştür. Güncel tasarım koşullarını sağlayan elemanlar için ise yüksek riskli elemanların oranı büyük ölçüde azalarak %8’e düşmüştür.
- ASCE’deki eksenel göçme kriterine (θ_p^b) göre yapılan değerlendirmelerde; TBDY’ye göre elde edilen performans düzeylerinin, TBDY-2018 tasarım koşullarına uygun elemanlar için ASCE’de öngörülen risk düzeyi sınırlarını sağladığı, hatta bu elemanların büyük bölümünün aşırı güvenli olduğu belirlenmiştir. Ancak, güncel tasarım koşullarını sağlamayan özellikle yüksek eksenel yüke ve zayıf ekseninde eğilmeye maruz elemanlarda ASCE’de öngörülen risk düzeyinin önemli ölçüde aşılabildiği görülmüştür.

ASCE yaklaşımının geniş kapsamlı deneysel veri tabanına dayandığı gözönünde bulundurulduğunda; TBDY’deki plastik dönme açısını esas alan yaklaşımın, aşırı güvenli sonuçlar doğurabileceği gibi, aynı zamanda riskli sonuçlara da sebep olabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, TBDY’deki performans düzeylerinin özellikle bu çalışmada öne çıkan sonuçlar doğrultusunda, mevcut deneysel veri tabanları ile doğrudan karşılaştırmalar yapılarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bununla birlikte kolon elemanlar ölçeğinde ve dönme kapasiteleri çerçevesinde yapılan bu tür değerlendirmelerin, deprem

dönme taleplerini ve genel bina performansını da içerecek şekilde bina ölçeğine genişletilmesi gerekmektedir. Ayrıca çeşitli sebeplerle aderans yetersizliği bulunan ve/veya düz yüzeyli donatılar içeren betonarme elemanlar için benzer çalışmaların yapılması, yönetmeliğin mevcut yapılarla ilgili bölümüne önemli katkılar sağlayacaktır.

Semboller

$a ; L_s$: Kesme açıklığı
a_i	: Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
A_c	: Brüt enkesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
A_{sh}	: Enine donatı alanı
b	: Enkesit genişliği
b_0	: Göbek betonu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
b_k	: Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)
c	: Eksenel göçme kapasitesine ulaşmış elemandaki artık eğilme kapasitesi oranı
d	: Enkesit faydalı yüksekliği
d_b	: Boyuna donatı çapı
f_c	: Sargısız beton basınç dayanımı
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
f_{ct}	: Beton çekme dayanımı
f_y	: Boyuna donatı akma dayanımı
f_u	: Donatı kopma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
h_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
k_{nl}	: Deplasman sünekliği talebine bağlı katsayı
L_p	: Plastik mafsal boyu
M_y	: Enkesit akma momenti
M_u	: Moment taşıma kapasitesi
N	: Kolondaki aksenal basınç kuvveti

- s : Sargı donatısı aralığı
- V_c : Kesme tasarım dayanımı
- V_r : Kesme kuvveti taşıma kapasitesi
- V_y : Akma momentine karşılık gelen kesme kuvveti
- W_{we} : Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
- α_{col} : Donatı etkinlik katsayısı
- α_{sh} : Sargı donatısının etkinlik katsayısı
- ϵ_c : Beton birim kısalması
- ϵ_{cu} : Sargılı beton maksimum birim kısalması
- $\epsilon_c^{SH}, \epsilon_c^{KH}, \epsilon_c^{GÖ}$: TBDY Performans düzeylerine karşılık gelen sargılı beton birim kısaltmaları
- ϵ_s : Donatı birim uzaması
- ϵ_{su} : Maksimum dayanıma karşılık gelen donatı birim uzaması
- $\epsilon_s^{SH}, \epsilon_s^{KH}, \epsilon_s^{GÖ}$: TBDY Performans düzeylerine karşılık gelen donatı birim uzamaları
- θ_p : Plastik dönme
- $\theta_p^{SH}; \theta_p^{KH}; \theta_p^{KH}$: TBDY-2018 performans düzeylerine karşılık gelen plastik dönme açıları
- $\theta_p^{IO}; \theta_p^{LS}; \theta_p^{CP}$: ASCE/SEI 41-17 performans düzeylerine karşılık gelen plastik dönme açıları
- $\theta_p^a; \theta_p^b$: ASCE 41-17 kolon davranışını temsil eden karakteristik plastik dönme açıları
- $\theta_p^{a, \%10}; \theta_p^{a, \%40}$: ASCE θ_p^a dönme açısının %10 ve %40'lık aşılma olasılıklarına karşılık gelen değerleri
- λ : Beton özelliğini ifade eden katsayı
- ρ : Boyuna donatı oranı
- ρ_t : ASCE 41-17'ye göre kesitin eğilme doğrultusundaki enine donatı oranı
- ρ_{sh} : TBDY-2018'e göre enine donatı oranı
- σ_c : Beton basınç gerilmesi
- φ_y : Akma eğriliği
- φ_u : *Göçmenin Önlenmesi* performans düzeyini tanımlayan eğrilik

Kaynaklar

- [1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [2] Structural Engineers Association of California (SEOAC), Performance Based Seismic Engineering of Buildings: Vision 2000, USA, 1995.
- [3] Applied Technology Council (ATC), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings: ATC 40, Vol. 1, Washington DC., USA, 1996.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings: FEMA 273, Washington, D.C., USA, 1997.
- [5] Comité Européen de Normalisation (CEN), European Standard EN 1998-3 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance–Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, Bruxelles, 2005.
- [6] American Society of Civil Engineers, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings: ASCE Standard ASCE/SEI 41-17, Reston, VA, USA, 2017.
- [7] American Society of Civil Engineers, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings: ASCE Standard ASCE/SEI 41-06, Reston, VA, USA, 2006.
- [8] American Society of Civil Engineers, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings: ASCE Standard ASCE/SEI 41-13, Reston, VA, USA, 2013.
- [9] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.
- [10] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M., Concepts and Procedures for Direct Displacement Based Design and Assessment, Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Proceedings of International Conference at Bled, Slovenia, A.A. Balkema, Rotterdam, 1997.
- [11] Priestley, M.J.N., Kowalsky, M.J. Direct Displacement-Based Seismic Design of Concrete Buildings, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 33(4), 421-444, 2000.
- [12] Acun, B, Sucuoğlu, H., Betonarme Kolonların Şekildeğiştirme Performans Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi, 22(108), 5523-5541, 2011.
- [13] Kazaz İ., Gülkan P., Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdelerdeki Hasar Sınırları. Teknik Dergi, 23(114), 6113-6140, 2012.
- [14] Özdemir, M.A., Kazaz İ., Özkaya, S. G., Evaluation of Deformation Limits in Codes for Reinforced Concrete (RC) Columns, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2017.
- [15] Fardis, M. N., Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings: Based on EN-Eurocode 8 (Vol. 8), Berlin, Springer, 2009.

- [16] Biskinis, D.E., Resistance and Deformation Capacity of Concrete Members With or Without Retrofitting, Doctoral Thesis, Civil Engineering Department, University of Patras, Patras, 2007.
- [17] Cansız, S., Aydemir, C., Arslan, G., Comparison of displacement capacity of reinforced concrete columns with seismic codes, *Advances in Concrete Construction*, 8(4), 295-304, 2019.
- [18] Değer, Z.T, Başdoğan, Ç., Nonlinear modeling and damage limits of reinforced concrete shear walls based on lumped plasticity behavior, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(2), 641-653, 2021.
- [19] Li, Y., Elwood, K.J., Hwang, S., Assessment of ASCE/SEI 41 Concrete Column Provisions using Shaking Table Tests. *ACI Special Publication*, 297, 1-22, 2014.
- [20] Ghannoum, W.M., Matamoros, A.B., Nonlinear Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Concrete Columns. *ACI Special Publication*, 1, 1-24, 2014.
- [21] Ghannoum, W.M., Updates to Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Non-Ductile and Splice-Deficient Concrete Columns, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, No:1010, 2017.
- [22] Applied Technology Council, Recommended Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Analysis in Support of Seismic Evaluation, Retrofit, and Design: NIST GCR 17-917-45, Applied Technology Council, Redwood City, CA, USA, 2017.
- [23] Eyitayo, O., Elwood K.J., Comparative Study on Acceptance Criteria for Non-Ductile Reinforced Concrete Columns. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 51 (4), 2018.
- [24] Ghannoum, W.M. and B. Sivaramakrishnan, *ACI 369 Rectangular Column Database, Network for Earthquake Engineering Simulation (database)*.
- [25] Haselton, C. B., Liel, A. B., Lange, S. T., Deierlein, G. G., *Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings*. Berkeley, California: Pacific Earthquake Engineering Research Center, USA, 2008.
- [26] Ghannoum, W.M., B. Sivaramakrishnan, *ACI 369 Circular Column Database, Network for Earthquake Engineering Simulation (database)*, 2012.
- [27] Türk Standartları Enstitüsü, *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları :TS 500*, Bakanlıklar, Ankara, 2000.