

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Esas Alınarak Boyutlandırılan MÇÇÇ'lerin Deprem Performanslarının Karşılaştırılması

Mehmet Bakır BOZKURT¹
Barış SERİN²

ÖZ

Bu çalışmada, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) esaslarına göre tasarlanmış 3, 6 ve 9 katlı toplam altı adet ters-V ve parçalı-X tipi merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin (MÇÇÇ'lerin) dinamik performansları karşılaştırılmıştır. DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'de tanımlanan 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan en büyük deprem yer hareketine göre ölçeklendirilen uzak alan kayıtlı 44 adet deprem yer hareketi altında Opensees yazılımı kullanılarak toplam 1056 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hem ters-V hem de parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan yapıların daha güvenilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: DBYBHY-2007, TBDY-2018, merkezi çelik çaprazlı çerçeve, ters-V tipi çapraz, parçalı-X tipi çapraz, dengelenmemiş kuvvet.

ABSTRACT

Comparison on Dynamic Performance of CBFs Designed as per TEC2007 and TEC2018

In this study, dynamic performance of six chevron and split-X braced concentrically braced frames (CBFs) having 3, 6 and 9 number of stories designed as per Turkish Seismic Code 2007 (TSC-2007) and Turkish Seismic Code for Buildings 2018 (TSCB-2018) were compared. By using Opensees software, a total of 1056 nonlinear time history analyses was conducted under 44 far-field ground motions scaled based on TSC-2007 and TSCB-2018 by considering maximum considered earthquake having a 2% probability of being exceeded in

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 16 Eylül 2019 günü ulaşmıştır. 20 Nisan 2020 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2021 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tekderg.620816>

1 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa - mehmet.bozkurt@cbu.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-1213-3092>

2 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa - baris.sern@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1918-2786>

50 years. The results indicate that the archetypes designed as per TSCB-2018 are more reliable in CBFs employing both chevron and split-X brace configuration.

Keywords: TSC-2007, TSCB-2018, concentrically braced frame, chevron brace, split-X brace, unbalanced force.

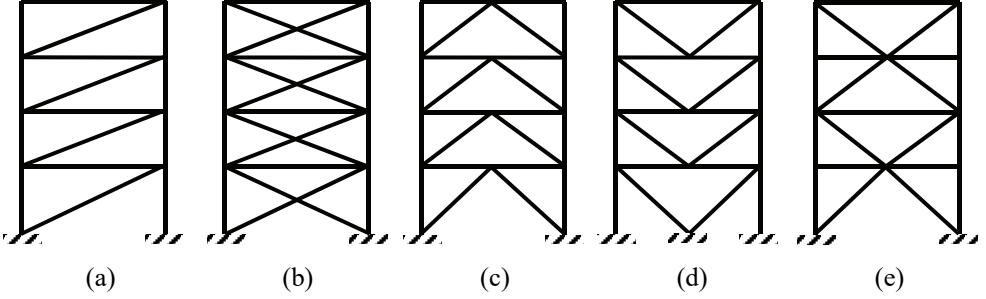
1. GİRİŞ

Çelik yapıların rüzgâr ve deprem yüklerine karşı dayanım gösterebilmesi için farklı yatay yük taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden beklenen temel özellikler yatay yükler altında yapının ihtiyaç duyduğu yeterli yatay rijitliği sağlayabilmesi ve deprem esnasında ortaya çıkan enerjiyi toptan veya münferit göçme gerçekleştirilmeden istenilen elemanlarda plastik deformasyonlar gerçekleştirilerek absorbe etmesidir. Moment aktaran çerçeveler (MAC'ler), merkezi çaprazlı çelik çerçeveler (MÇÇÇ'ler), dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler (DÇÇÇ'ler) ve burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler (BÖÇÇÇ'ler) yatay yük taşıyıcı sistemlerinden bazılarıdır. Tasarımcılar yatay yük taşıyıcı sistemlerinin deprem esnasında istenilen deprem performanslarını sağlayabilmeleri için yönetmelik olarak isimlendirilen bir dizi tasarım kurallarını içeren referans dokümanlara ihtiyaç duyarlar. Günümüzdeki güncel deprem yönetmeliklerinden bazıları, "American Institute of Steel Construction, Seismic provisions for structural steel buildings" ANSI/AISC 341-16 [1], "Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance - part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings" EN 1998-1 [2], "National Research Council of Canada, national building code of Canada" NBCC-2015 [3]'dir. Ülkemizde ise binalar, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY-2007 [4]'in yerine gelen Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) tarafından 2018 yılında yayınlanmış ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği TBDY-2018 [5]'e uygun olarak tasarlanır.

MÇÇÇ'ler kolon, giriş ve çapraz elemanlardan teşkil edilir. Çapraz elemanlar kolon ve giriş elemanlarının birleşim noktalarına veya giriş elemanlarının ortasına mafsallı veya düğüm noktası levhalı olarak bağlanır. Yatay yük altında yapısal rijitliği ve sünek davranışı çapraz elemanlar sağlar. Çapraz elemanların aksel rijitliği, yapıya yüksek elastik rijitlik kazandırır. Bu elemanlar deprem yükleri altında tersinir aksel çekme ve basınç yüklerine maruz kalırlar. Çekme yükü altında akıp, basınç yükü altında burkulanan çapraz elemanların çok narin seçilmesi bu elemanların burkulma sonrası aksel basınç yükü taşıma kapasitelerini çok düşürür. Bu durum düşük süneklik kapasitesini gösteren en belirgin dezavantajlarıdır [6]. Tersinir yüklemeler, aynı zamanda çapraz elemanların mekanik özelliklerinin değişmesine ve böylece çapraz elemanların yine burkulma yükünün düşmesine neden olur [7]. En çok tercih edilen çapraz örgüleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

1923 yılında Tokyo'da ve 1925 yılında Santa Barbara'da gerçekleşen yıkıcı depremler yapısal tasarımda sismik yüklerin belirli kurallar içerisinde göz önüne alınmasına neden olan ilk depremlerdir. MÇÇÇ'lerin sismik performansları ile ilgili ilk çalışmalar 1970'li yıllarda Japonya'da [8-11] ve Amerika'da [6, 12,13] başlamıştır. 1980'li yıllarda Amerika'da yapılan çalışmalar [14-20] MÇÇÇ'lerin sismik davranışı ile ilgili ciddi bulgular içerdiği için tasarım kriterlerinin güncellenerek değişmesine neden olmuştur. 1994 yılında Northridge ve 1995 yılında Kobe depremleri sonrasında hasar gören birçok yapı incelenmiş ve deprem yönetmeliklerinde ciddi revizyonlar gerçekleştirilerek yapıların sünek tasarım

yaklaşımlarının temelleri atılmıştır. Bu yıllardan sonra deprem yönetmelikleri özellikle deneysel [21-34] ve analitik çalışmaların [34-46] bulguları ışığında belirli periyotlar ile güncellenerek sürekli geliştirilmiştir.



Şekil 1 - Çapraz örgüleri: (a) diyagonal çapraz, (b) X çapraz, (c) ters-V çapraz, (d) V çapraz, (e) parçalı-X çapraz

Ülkemizde ise 1999 yılında art arda meydana gelen Gölcük ve Düzce depremleri 2007 yılında yürürlüğe giren ve günümüze kadar kullandığımız (12 yıl) DBYBHY-2007'nin hazırlanmasına olanak sağlamıştır. Bu yönetmelik sayesinde ilk defa çelik yapıların sismik tasarım kriterleri oluşturulmuştur. 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY-2018 deprem bölgeleri kavramını ortadan kaldırarak yeni yapılacak her yapı için özel tasarım spektrumları sunmaktadır. Revize olan deprem yükleri ve güncellenen tasarım ilkeleri tasarımda farklı enkesitlerin kullanılmasına neden olmaktadır. TBDY-2018'deki bu yeniliklerin yapıların sismik performanslarına olan etkileri deneysel ve analitik olarak araştırılmalı ve elde edilen bulgular bundan sonra güncellenecek yeni deprem yönetmeliklerine ışık tutmalıdır.

Bu çalışmada, enlemi 38.352924° ve boylamı 27.128006° olan İzmir'in Gaziemir ilçesinde yer alan 3, 6 ve 9 katlı 6 farklı prototip bina önce DBYBHY-2007 sonra TBDY-2018 esaslarına göre tasarlanmıştır. Yatay yük taşıyıcı sistemi olarak süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tercih edilmiştir. Prototip binaların x doğrultusundaki çapraz düzeni ters-V ve y doğrultusundaki çapraz düzeni parçalı-X örgüsünden teşkil edilmiştir. Bu örgü sistemlerinin tercih edilmesindeki amaç, çapraz elemanların burkulması sonucu kiriş elemanlarında ortaya çıkan dengelenmemiş kuvvetlerin TBDY-2018'e göre tasarımda göz önüne alınmasının sismik davranışa olan etkilerinin araştırılması ve sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. Tasarlanan prototip binaların dinamik performanslarının karşılaştırılabilmesi için Opensees [47] programı kullanılarak toplam 12 adet doğrusal olmayan statik itme analizleri ve FEMA P695 [48]'de tanımlanmış 44 adet uzak alan kayıtlı deprem yer hareketleri altında toplam 1056 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, deprem kayıtları hem DBYBHY-2007 hem de TBDY-2018 esaslarına göre 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan çok seyrek deprem yer hareketinin tanımlandığı göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketine göre ayrı ayrı ölçeklendirilmiştir. Analizler sonucunda maksimum ve kalıcı görel kat ötelenme oranları, çapraz elemanların süneklik talepleri ve

çapraz elemanların maksimum düzlem içi burkulma deplasmanları raporlanarak yapıların sismik performansları karşılaştırılmıştır.

2. TASARIM YÖNTEMLERİ

2018 yılında yayınlanan ve 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY-2018'in getirdiği yenilikler deprem yükü hesabı ve tasarım ilkeleri olmak üzere iki temel grupta incelenecektir. İki yönetmeliğin tasarım ilkeleri arasındaki farklar süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler özelinde bahsedilecektir.

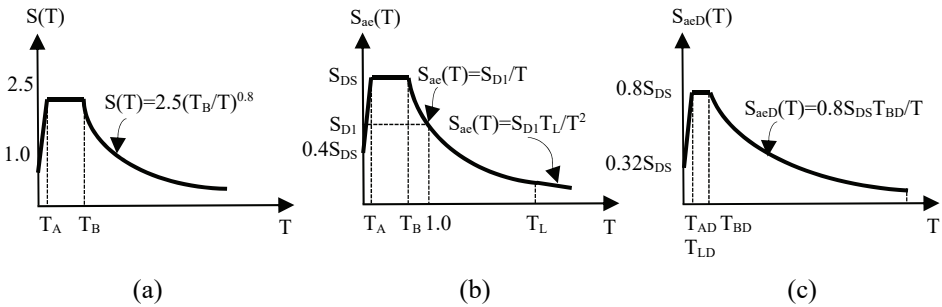
2.1. Deprem Yükü Hesabı

TBDY-2018'in deprem yükü hesabında getirdiği en önemli yenilik yatay elastik tasarım spektrumunun yenilenmesi ve DBYBHY-2007'de olmayan düşey elastik tasarım spektrumunun da eklenmesidir. Elastik tasarım spektrumunun elde edilmesinde ihtiyaç duyulan kısa periyot (S_S) ve 1.0 saniye periyot (S_I) için harita spektral ivme katsayıları bu yönetmelik için hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) ile tanımlanmıştır. 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan seyrek deprem yer hareketinin tanımlandığı standart tasarım deprem yer hareketi için kullanılacak tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} katsayıları aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (1)$$

$$S_{D1} = S_I F_I \quad (2)$$

Burada, S_{DS} ve S_{D1} , kısa periyot ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayıları, S_S ve S_I , harita spektral ivme katsayıları, F_S ve F_I , yerel zemin etki katsayılarıdır.



Şekil 2 - (a) Yatay elastik tasarım spektrumu DBYBHY-2007, (b) Yatay elastik tasarım spektrumu TBDY-2018, (c) Düşey elastik tasarım spektrumu TBDY-2018

Benzer formüllerin kullanıldığı, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" ASCE 7 [49]'de harita spektral katsayıları olan S_S ve S_I değerleri, 50 yılda aşılma

olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan çok seyrek deprem yer hareketinin tanımlandığı göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi için verilmiştir. Dolayısıyla, tasarım spektral ivme katsayıları için elde edilen değer 2/3 oranı ile azaltılarak elastik tasarım spektrumunda kullanılır. TBDY-2018’de ise harita spektral katsayıları olan S_S ve S_I değerleri direkt olarak standart tasarım deprem yer hareketi için verildiğinden 2/3 oranı kullanılmaz. DBYBHY-2007’de tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumu ve TBDY-2018’de tanımlanan yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu Şekil 2’de gösterilmiştir.

Toplam eşdeğer deprem yükü değeri, V_{tE} her iki yönetmeliğe göre Denklem (3)’de belirtilen dönüştürülmüş formül ile hesaplanabilir.

$$V_{tE} = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} m_t \geq C_{tE} I m_t g \quad (3)$$

Burada, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivme, $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı, m_t deprem kütleli, C_{tE} spektral ivmesine bağlı bir katsayı, I bina önem katsayısı ve g yerçekimi ivmesidir. C_{tE} katsayısı DBYBHY-2007 için Denklem (4) ve TBDY-2018 için Denklem (5) kullanılarak hesaplanır.

$$C_{tE} = 0.10A_0 \quad (DBYBHY-2007) \quad (4)$$

$$C_{tE} = 0.04S_{DS} \quad (TBDY-2018) \quad (5)$$

Burada, A_0 değeri etkin yer ivmesi katsayısıdır ve 1., 2., 3. ve 4. deprem bölgelerine göre sırasıyla 0.40, 0.30, 0.20 ve 0.1 değerlerini alır. S_{DS} ise kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısıdır ve TDTH kullanılarak elde edilen katsayılar ile Denklem (1)’e göre hesaplanır. Denklem (3)’de yer alan elastik spektral ivme katsayısı $S_{ae}(T)$ ve deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ değerleri aşağıdaki formüller ile elde edilir.

$$S_{ae}(T) = A_0 S(T) g \quad (DBYBHY-2007) \quad (6)$$

$$S_{ae}(T) = S_{ae}(T) g \quad (TBDY-2018) \quad (7)$$

$$R_a(T) = \begin{cases} \frac{1.5}{I} + \left(\frac{R-1.5}{I}\right) \frac{T}{T_A} & 0 \leq T \leq T_A \\ \frac{R}{I} & T_A < T \end{cases} \quad (DBYBHY-2007) \quad (8)$$

$$R_a(T) = \begin{cases} D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} & 0 \leq T \leq T_B \\ \frac{R}{I} & T_B < T \end{cases} \quad (TBDY-2018) \quad (9)$$

Burada, D dayanım fazlalığı katsayısı, R taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır. Spektrum katsayıları olan $S_{ae}(T)$ ve $S(T)$ değerleri Şekil 2’de gösterilen grafiklerden elde edilir. Her iki yönetmeliğe göre süneklilik düzeyi yüksek MÇÇÇ’ler için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=5$ ve dayanım fazlalığı katsayısı $D=2$ ’dir.

2.2. Tasarım İlkeleri

Tasarım kriterleri prototip binaların tasarımında yatay yük taşıyıcı sistemi olarak tercih edilen süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'ler özelinde irdelenecektir. Tasarımda göz önüne alınacak kurallar karşılaştırmalı olarak sırasıyla alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.2.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'leri oluşturan kiriş, kolon ve çapraz elemanların enkesit parçalarında meydana gelebilecek yerel burkulma davranışını engellemek için yönetmeliklerde kompaktlık koşulları tanımlanmıştır. Ülkemizde çelik yapıların boyutlandırılması için kullanılan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2018 (ÇYTHYE-2018) [50]'de yapısal elemanların enkesit parçaları için kompaktlık koşulları verilmiştir. Fakat DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 süneklik koşullarına bağlı olarak yapısal enkesit parçalarında ek kompaktlık koşulları tanımlanmaktadır ve daha sınırlayıcıdır. Tasarımı yapılan prototip binalarda, kolon ve kiriş elemanlar için I enkesitli profiller ve çapraz elemanlar için kutu enkesitli profiller tercih edilmiştir. Dolayısıyla, her iki yönetmelikte de bu enkesitlere sahip elemanların kompaktlık koşulları karşılaştırılacaktır. I enkesitli kolon ve kiriş elemanlar, çaprazlı çerçeveler içinde hem eğilme momenti hem de aksenal basınç kuvveti etkisindedir. Kutu enkesitli çapraz elemanlar ise sadece aksenal basınç etkisi altındadır. Her iki yönetmeliğe ait enkesit kompaktlık sınırları ve ÇYTHYE-2018'de tanımlanan kompaktlık sınırları karşılaştırmalı olarak Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1 - Enkesit kompaktlık koşulları

Eleman tanımı	Enkesit parçacığı	Narinlik oranı	Süneklik düzeyi yüksek sistemler için sınır değerler		
			DBYBHY 2007	TBDY 2018	ÇYTHYE 2018
Kolonlar ve kirişler eğilme ve aksenal basınç etkisindeki I enkesitli profiller	Başlık	$b/2t$	$0.3 \sqrt{E/F_y}$		$0.38 \sqrt{E/F_y}$
	Gövde	h/t_w	$\alpha \sqrt{E/F_y}(1 - \beta C_a) \quad C_a \leq \theta$		$3.76 \sqrt{E/F_y}$
			$\gamma \sqrt{E/F_y}(\delta - C_a) \geq \varepsilon \quad C_a > \theta$		
Çaprazlar aksenal basınç etkisindeki dikdörtgen kutu enkesitli profiller	Tüm parçalar	b/t	$0.7 \sqrt{E/F_y}$	$0.55 \sqrt{E/F_y}$	$1.40 \sqrt{E/F_y}$

b : başlık genişliği, h : gövde yüksekliği, t : başlık kalınlığı, t_w : gövde kalınlığı, E : elastisite modülü, F_y : akma dayanımı, C_a , α , β , θ , γ , δ , ε Çizelge 2'de açıklanmış katsayılardır.

Eksenel kuvvet ve eğilme momentine eş zamanlı olarak maruz kalacak olan kolon ve kiriş elemanlarını oluşturan I enkesitlerinin başlık elemanları için her iki yönetmelikte de benzer sınır değerler sunmasına rağmen, gövde elemanları için TBDY-2018 sınır değerleri küçültürken daha kalın gövde levhalarının seçilmesini sağlamıştır. Benzer şekilde, sadece basınç yüküne maruz kalacak kutu enkesitler için de sınır değer TBDY-2018'de yaklaşık %20 azaltılarak daha kalın et kalınlıklı kutu enkesitlerin seçilmesini zorunlu hale getirmiştir.

Deprem yükü taşıyan süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'lerde çaprazlı çerçeveleri oluşturan tüm kolon, kiriş ve çapraz elemanlarında DBYBHY-2007'e göre $4.0\sqrt{E/F_y}$ olan narinlik oranı, TBDY-2018'de kolonlar ve kirişler için kaldırılmış ve sadece çapraz elemanlar için bu oran 200 olarak güncellenmiştir. DBYBHY-2007'e göre S235, S275 ve S355 için sırasıyla 117, 108 ve 95 olan narinlik sınırlarının TBDY-2018 ile 200'e yükselmesi özellikle düşük eksenel yüklere maruz kalan çapraz elemanlar için sadece narinlik sınırından dolayı daha büyük enkesitlerin kullanılma zorunluluğunu ortadan kaldırmıştır. Narinlik sınırına takılmadan daha küçük enkesitlerin seçilmesine olanak sağlayan TBDY-2018'in zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda yapısal sistemin sismik davranışına nasıl etki ettiği bu çalışma sonucunda ortaya konulmuştur.

Her iki yönetmelikte de çapraz elemanların yapı sistemi boyunca simetrik yerleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bunu sağlamak için deprem yükü taşıyan çaprazların en az %30'unun ve en çok %70'inin basınca çalışacak şekilde yerleştirilmesi gerektiği ifade edilir.

Çizelge 2 - Enkesit kompaktlık koşulları için ilave katsayılar

Katsayılar	DBYBHY-2007	TBDY-2018
C_a	$1.67P_a/F_yA$ (GKT)	$P_u/0.9F_yA$ (YDKT)
α	3.2	2.45
β	1.7	0.93
θ	0.10	0.125
γ	1.33	0.77
δ	2.1	2.93
ε	-	$1.49\sqrt{E/F_y}$

2.2.2. Elemanların Boyutlandırılması

Süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'lerin çapraz elemanlarının boyutlandırılmasında her iki yönetmelikte de deprem etkisini içeren yük birleşimleri altında elde edilen iç kuvvetleri dikkate alır. TBDY-2018 ayrıca çapraz elemanların sünek davranışını garanti altına almak için çekme yükü altında kopma dayanımının, akma dayanımından daha yüksek olmasını zorunlu kılar. İç kuvvetlerin belirlenmesinde DBYBHY-2007 düşey deprem yükü etkisini göz önüne almazken, TBDY-2018 yatay deprem yükü etkileri ile beraber düşey deprem yükü etkilerini de göz önüne alır. TBDY-2018'e göre çapraz elemanların boyutlandırılmasında esas

olacak yük birleşimleri aşağı verilmiştir. Bu çalışmada, eleman kesitlerinin belirlenmesinde ÇYTHYE-2018'de tanımlanan yük ve dayanım katsayılarına göre tasarım (YDKT) ilkeleri kullanılmıştır. Dolayısıyla, deprem yüklerini içeren yük birleşim grupları sadece YDKT özelinde bahsedilecektir.

$$1.2G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (10)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (11)$$

Burada, G sabit yük etkisi, Q hareketli yük etkisi, S kar yükü etkisi, H yatay zemin etkisi, $E_d^{(H)}$ yatay deprem yükü etkisi ve $E_d^{(Z)}$ düşey deprem yükü etkisidir. Prototip binalarda, 20 metreden daha büyük açıklıklı kiriş ve 5 metreden daha uzun konsol kiriş olmadığı için ve ayrıca kirişlere oturan kolon ve eğik kolon olmadığı için $E_d^{(Z)}$ düşey deprem yükü etkisi Denklem (12)'e göre hesaplanacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (12)$$

Denklem (12)'de tanımlanan $E_d^{(Z)}$ değerinin Denklem (10) ve Denklem (11)'de yerine konulması ile TBDY-2018'e göre süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'lerin çapraz elemanların boyutlandırılmasında kullanılacak formüller elde edilmiş olur. Bu formüller, Denklem (13) ve Denklem (14) olarak aşağıda belirtilmiştir.

$$(1.2 + 0.2S_{DS})G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} \quad (13)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})G + H + E_d^{(H)} \quad (14)$$

TBDY-2018'e göre hareketli yük değeri 5.0 kPa'ın altında olması durumunda garajlar ve hastaneler, okullar, müzeler, alışveriş merkezleri spor tesisleri, sinema ve tiyatro gibi insanların yoğun olarak bulunduğu binaların dışında Denklem (13)'de yer alan Q değeri %50 oranında düşürülebilir. Bu çalışmada, araştırılan prototip binalar konut yapıları ve kat döşemelerine etki eden hareketli yük değeri 5 kPa'ın altında olduğu için Denklem (10)'da yer alan Q değeri %50 düşürülmüştür.

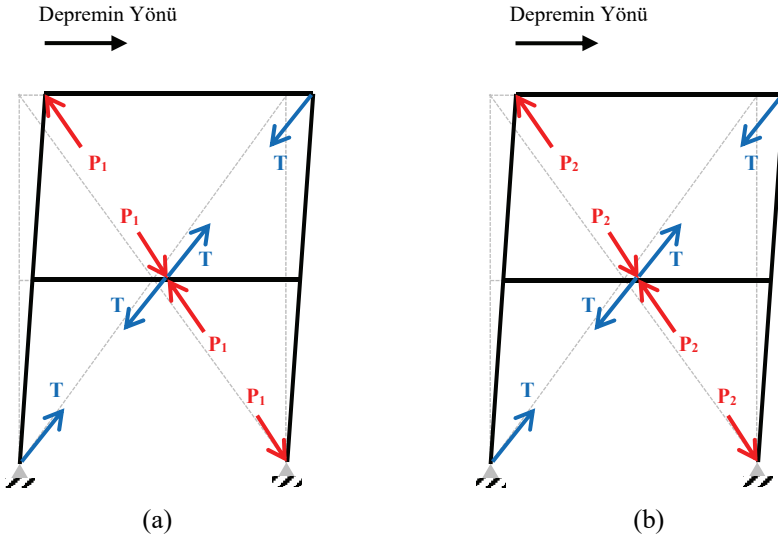
Süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'lerde kolon ve kiriş elemanlarının boyutlandırılmasında DBYBHY-2007 özel kurallar içermez. DBYBHY-2007 çapraz elemanların birleşimlerinin boyutlandırılmasında, ilgili birleşimdeki çapraz elemanların aksel çekme veya basınç kapasiteleri ile dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılmış yük birleşimleri altında elde edilen iç kuvvetlerden küçük olanının kullanılmasını belirtir. TBDY-2018'e göre süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'lerin kolon, kiriş ve birleşimlerinin boyutlandırılmasında dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülen yük birleşimleri altında elde edilen iç kuvvetler ile çapraz elemanların burkulma anına karşılık gelen mekanizma durumu sonrası elde edilecek iç kuvvetlerden küçük olanı kullanılır. Her iki yönetmelikte de kullanılacak dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülen yük birleşimleri Denklem (15) ve Denklem (16)'da

verilmiştir. DBYBHY-2007 düşey depremi ifade eden $E_d^{(Z)}$ yi göz ardı eder. Dolayısıyla, DBYBHY-2007 için $0.2DS_{DS} = 0$ değerine eşit alınır.

$$(1.2 + 0.2DS_{DS})G + Q + 0.2S + (D)E_d^{(H)} \quad (15)$$

$$(0.9 - 0.2DS_{DS})G + H + (D)E_d^{(H)} \quad (16)$$

TBDY-2018 tasarımında göz önüne alınacak çapraz elemanların burkulma anına karşılık gelen mekanizma durumları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3 - Eksenal basınç etkisi altında çapraz elemanların (a) burkulma anına, (b) burkulma sonrasına karşı gelen mekanizma durumları

Çapraz elemanların burkulma anına denk gelen mekanizma durumunda çapraz elemanlarda oluşan iç kuvvetler Denklem (17), Denklem (18) ve Denklem (19)’da verilmiştir.

$$T = R_y F_y A_g \quad (17)$$

$$P_1 = 1.14 F_{cre} A_g \quad (18)$$

$$P_2 = 0.30(1.14 F_{cre} A_g) \quad (19)$$

Burada, R_y olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı, F_y yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi, A_g kayıpsız enkesit alanı, F_{cre} olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesidir.

2.2.3. Ek Koşullar

Her iki yönetmelikte de V ve ters-V tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerde yer alan çaprazların bağlandığı kirişlerin sürekli olması gerekmektedir ve bu kirişlerin yanal burulmalı burkulma göçmesini engellemek için ilgili yönetmelikte belirtilen yanal destekler kullanılmalıdır. DBYBHY-2007 çaprazların yok sayılması durumunda hem ilgili kiriş elemanının hem de birleşiminin kendi üzerindeki yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılması gerektiğini belirtir. TBDY-2018 ise çapraz elemanların burkulma anına karşılık gelen mekanizma durumunda kiriş elemanlarında meydana gelen dengelememiş kuvvetleri çapraz elemanları yok sayarak ve kiriş elemanların üzerinde bulunan düşey yükleri birlikte dikkate alarak kiriş elemanların boyutlandırılması gerektiğini belirtir.

Her iki yönetmelikte de K tipi çapraz düzenine ve sadece çekmeye çalışan çaprazların kullanılmasına izin vermez.

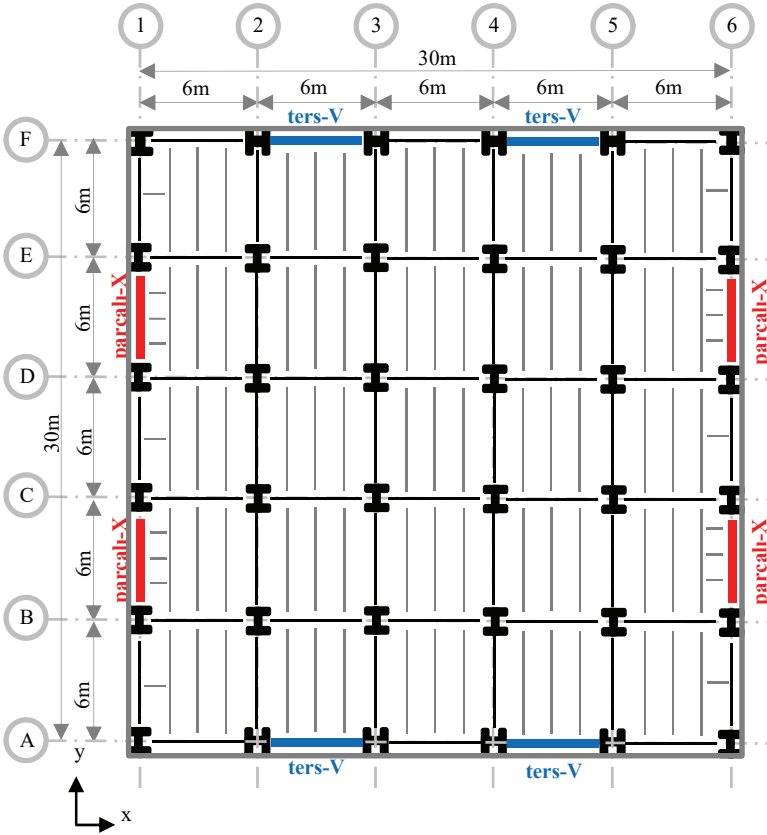
DBYBHY-2007 çapraz elemanların ucundaki düğüm noktası levhalarının düzlem dışına burkulmasını önlemek amacıyla, çapraz ucunun kiriş veya kolon yüzüne olan uzaklığının düğüm noktası levhası kalınlığının (t) iki katından daha fazla olmamasını ve buna uyulmadığı durumlarda ilave berkitme levhalarının kullanılmasını ifade eder. Hâlbuki deprem yüküne maruz kalan çapraz elemanların burkulma davranışlarında düğüm noktası levhalarının çapraz ucundan itibaren en düşük 2t en yüksek 4t'lik bir mesafe içinde plastik dönmesine izin verecek şekilde detaylandırılması gerekmektedir. Çapraz elemanların birleşim detayı ile ilgili bu koşul DBYBHY-2007'de doğru olarak ifade edilememiştir. TBDY-2018 bu koşulu revize ederek, çapraz elemanın burkulması anında düğüm noktası levhasının çapraz ucundan itibaren en düşük 2t'lik bir mesafe içinde plastik dönmesini sağlayacak detayların oluşturulmasını önermiştir (TBDY-2018 Şekil 9C.2).

3. PROTOTİP BİNALARIN BOYUTLANDIRILMASI

Bu çalışmada, enlemi 38.352924° ve boylamı 27.128006° olan İzmir'in Gaziemir ilçesinde yer alan bir konut yapısı DBYBHY-2007'ye ve TBDY-2018'a göre ayrı ayrı tasarlanmıştır. Çelik taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında ÇYTHYE-2018 [50]'de tanımlanan YDKT tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. 3, 6 ve 9 katlı olan prototip binaların plandaki boyutları 30 m'ye 30 m'dir. Ters-V tipi çaprazın kullanıldığı x doğrultusundaki aks aralığı ve parçalı-X tipi çaprazın kullanıldığı y doğrultusundaki aks aralığı 6 m'dir. Prototip binaların birinci kat yüksekliği 4.5 m ve normal kat yükseklikleri 3.5 m'dir. Prototip binaların tipik plan görünüşleri Şekil 4'de ve 9 katlı prototip binanın cephe görünüşleri Şekil 5'de verilmiştir.

Zemin sınıfları DBYBHY-2007 için Z3 ve benzer zemin özelliklerini karşılan TBDY-2018 için ZD'dir. Bina önem katsayısı (I) her iki yönetmelikte de 1.0 olarak alınmıştır. Yapı davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'lerin kullanıldığı her iki yönetmelikte de sırasıyla 5 ve 2'dir. Yapının inşa edilmesi planlanan yer DBYBHY-2007 göre 1. derece deprem bölgesindedir. Deprem bölgesi kavramının kullanılmadığı TBDY-2018'e göre ilgili bölgedeki kısa periyot ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayıları sırası ile $S_s=1.103$ ve $S_T=0.268$ 'dir. TBDY-2018'e göre deprem yükünün belirlenmesinde tasarım deprem yer hareketi DD-2 kullanılmıştır. Bu özelliklere karşılık gelen kısa periyot ve 1.0 saniye için tasarım spektral ivme katsayıları $S_{DS}=1.168$ ve $S_{D1}=0.553$ 'tür. Yatay elastik tasarım spektrumun köşe periyotları DBYBHY-

2007 için $T_A=0.15$ sn ve $T_B=0.60$ sn iken TBDY-2018 için $T_A=0.095$ sn ve $T_B=0.474$ sn'dir. Yapının her bir kat döşemesine yapı elemanlarının kendi ağırlıkları dahil 5 kPa'lık sabit yük ve 2 kPa'lık hareketli yük tanımlanmıştır. Ayrıca yapının en üst katına 0.75 kPa'lık ilave kar yükü de göz önüne alınmıştır.



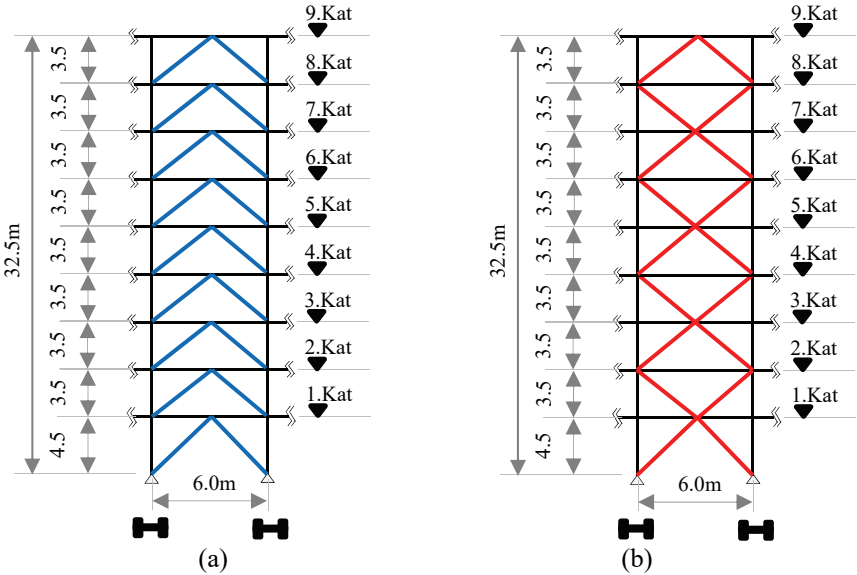
Şekil 4 - Prototip binaların tipik plan görünüşü

Deprem yükü hesabı için mod birleştirme yöntemi (MBY) tercih edilmiştir. Her iki yönetmelikte de MBY ile hesaplanan deprem yükü değeri için eşdeğer deprem yükü (EDY) değerine bağlı bir alt sınır tanımlanmıştır. MBY ile hesaplanan deprem yükü değeri, yapı sisteminde A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği düzensizliklerinden en az birinin bulunması durumunda EDY ile hesaplanan deprem yükünün en az %90'ı kadar olmalıdır. Bu düzensizliklerin hiçbirinin bulunmaması durumunda MBY ile hesaplanan deprem yükü EDY ile hesaplanan deprem yükünün en az %80'i kadar olmalıdır.

Her iki yönetmelikte de deprem yükü hesabındaki sismik ağırlık için sabit yüklerin tamamının ve konut yapıları için hareketli yük ile kar yükünün %30'unun göz önüne alınmasını ifade eder. Yapı sistemlerinin T_p doğal titreşim periyotlarının hesaplarında her iki yönetmelikte de Denklem (20)'de verilen benzer formülleri kullandırmasına rağmen, TBDY-2018 Denklem (20) ile hesaplanan periyotların Denklem (21)'de verilen ampirik formülle hesaplanan T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha büyük olmaması için bir üst sınır tanımlar.

$$T_p = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}^2} \right)^{1/2} \quad (20)$$

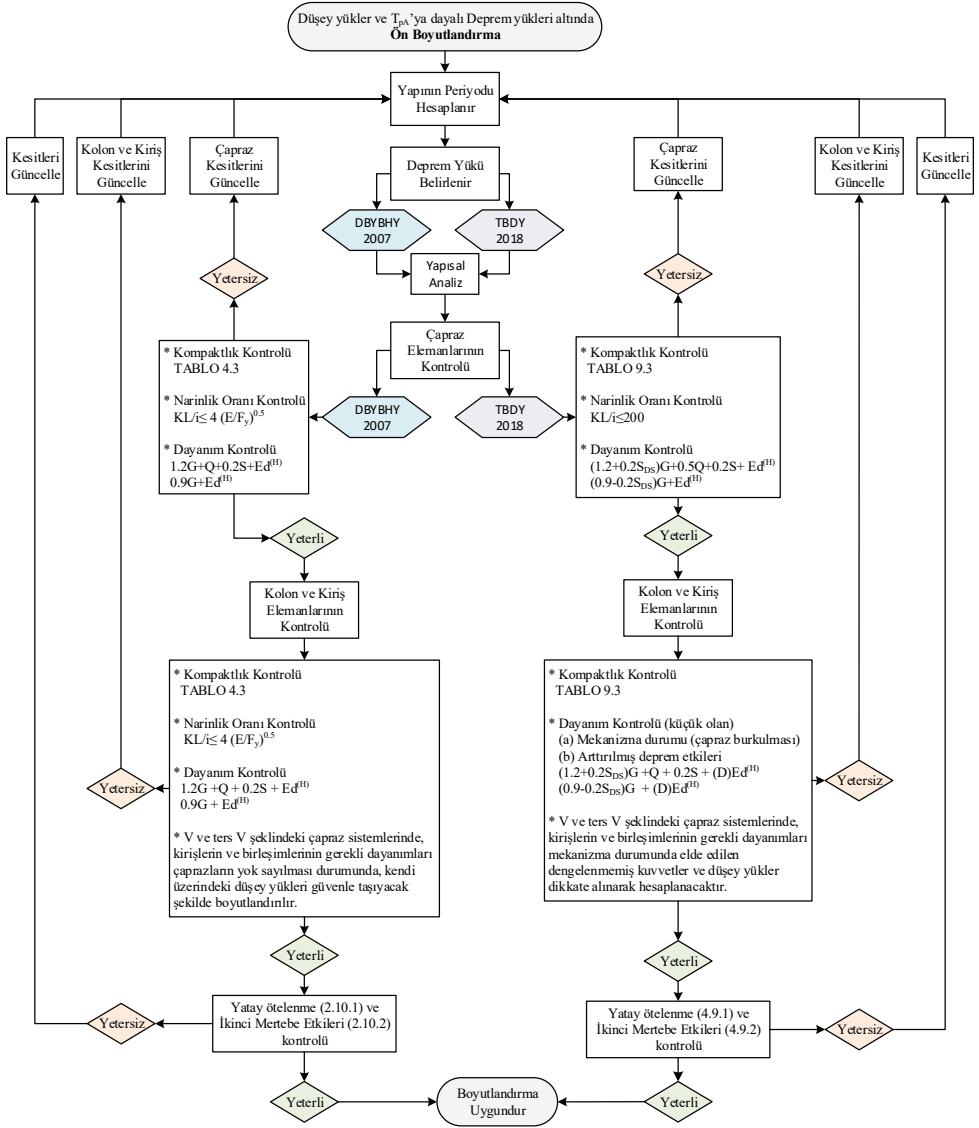
$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (TBDY-2018) \quad (21)$$



Şekil 5 - 9 Katlı prototip binanın (a) ters-V tipi, (b) parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerin cephe görünüşleri

Burada, m_i i . kata etkileyen kat kütlesi, F_{fi} fiktif yük, d_{fi} o yüke karşılık gelen deplasman, C_t betonarme çerçeveler için 0.1, çelik yapılar için 0.08 ve diğer tüm yapılar için 0.07 olan bir katsayı, H_N ise bodrum katlar hariç yapı toplam yüksekliğidir.

Yapıların doğal titreşim periyotlarını belirleyebilmek için prototip binaların eleman enkesitlerinin tanımlanması gerekmektedir. Eleman enkesitleri de yapı geometrisine, yapısal elemanların sınır durumlarına ve yapıya etki eden yüklere bağlıdır. Bu yüklerden biri olan deprem yükü hesabı için de yapının doğal titreşim periyodunun bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, yapısal eleman enkesitleri, yapının doğal titreşim periyoduna, doğal titreşim periyodu da yapısal eleman enkesitlerine bağlıdır. Her iki yönetmeliğe göre prototip binaların boyutlandırma aşamaları Şekil 6'da verilen akım şemasında gösterilmiştir.



Şekil 6 - Sünekliği yüksek MÇÇÇ'lerin DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırma akım şeması

Bu çalışmada, prototip binaların eleman enkesitlerini belirleyebilmek için öncelikli olarak TBDY-2018 Denklem (21)'de verilen T_{pa} ampirik periyot hesabı kullanılarak ön tasarımlar yapılmış ve bu ön tasarıma göre boyutlandırılan eleman enkesitlerine göre prototip binaların doğal titreşim periyotları belirlenmiştir. Birkaç iterasyon sonucu prototip binaların enkesitleri optimize edilerek nihai enkesitler ve nihai doğal titreşim periyotları belirlenmiştir.

MÇÇÇ'ler iki boyutlu olarak analiz edilmiştir. Yapısal analizde çelik elemanları modellemek için çubuk elemanlar kullanılmıştır. Çapraz elemanlar kiriş ve kolon elemanlarına ve kiriş elemanları da kolon elemanlarına mafsalı olarak bağlanmaktadır. Tüm kolon elemanlarının tabanları mafsalıdır. 6 adet prototip binanın tasarımında DBYBHY-2007'den elde edilen deprem yükleri ve tasarım kriterleri kullanılırken, geri kalan 6 prototip bina için TBDY-2018 esasları kullanılmıştır. Ayrıca, yapısal elemanların boyutlandırılmasında, ÇYTHYE 2018 [50]'de tanımlanan YDKT'ye göre tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Kiriş ve kolon elemanlarının kesitlerinde S275 malzeme sınıfından teşkil edilen IPE, ve HEB profilleri ve çapraz elemanlarının kesitlerinde S235 malzeme sınıfından teşkil edilen KUTU profilleri tercih edilmiştir. Boyutlandırılması yapılan MÇÇÇ'lerin doğal titreşim periyotları ve MBY ile hesaplanan toplam taban kesme kuvvetleri Çizelge 3'de verilmiştir. Prototip binalara ait boyutlandırılan tüm yapısal eleman kesitleri ters-V tipi çapraz düzeninin kullanıldığı MÇÇÇ'ler için Çizelge 4'de, parçalı-X tipi çapraz düzeninin kullanıldığı MÇÇÇ'ler için Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3 - Prototip binaların doğal titreşim periyotları ve EDY ile hesaplanan taban kesme kuvvetleri

Kat sayısı	DBYBHY-2007				TBDY-2018				Karşılaştırma		
	T _p Periyot (sn.)		V _{IE} Taban kes. kuv. (kN)		T _p Periyot (sn.)		1.4T _{PA} sınır periyot (sn.)	V _{IE} Taban kes. kuv. (kN)		$\frac{V_{IE}^{TBDY-18}}{V_{IE}^{DBYBHY-07}}$	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
3 Kat	0.610	0.615	643	615	0.581	0.606	0.70	634	595	0.99	0.97
6 Kat	1.329	1.377	685	666	1.219	1.285	1.14	623	609	0.94	0.91
9 Kat	2.248	2.331	727	724	1.989	2.095	1.52	661	661	0.91	0.91

Boyutlandırma sonucunda TBDY-2018'e göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri DBYBHY-2007'e kıyasla %1 ile %9 oranında daha düşüktür (Çizelge 3). Dolayısıyla çapraz elemanlara gelen eksenel kuvvetler her iki yönetmelikte de birbirine çok yakındır. DBYBHY-2007'e göre basınç etkisinde olan çapraz elemanlar için $4.0\sqrt{E/F_y}$ olan narinlik oranının TBDY-2018 ile 200'e yükselmesi ve eksenel basınç etkisindeki kutu enkesitler için $0.70\sqrt{E/F_y}$ olan kompaktlık (b/t) oranının, TBDY-2018'de $0.55\sqrt{E/F_y}$ 'e düşmesi her iki yönetmeliğe göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerde farklı çapraz enkesitlerinin seçilmesine neden olmuştur. MÇÇÇ'lerdeki kolon ve kiriş elemanlarının boyutlandırılmasında DBYBHY-2007 özel kurallar içermemesine rağmen, V veya ters-V örgü düzenine sahip MÇÇÇ'lerde çaprazların yok sayılması durumunda kiriş elemanlarının kendi üzerindeki yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılması gerektiğini belirtir. TBDY-2018 ise hem dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülen yük birleşimleri altında elde edilen iç kuvvetleri hem de çapraz elemanların burkulma anına karşılık gelen mekanizma durumu sonrası elde edilecek iç kuvvetleri göz önüne alır. Bu durum, özellikle çapraz elemanların burkulması anına karşılık gelen dengelenmemiş kuvvetlerin en yüksek olduğu ters-V tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerde TBDY-2018'e göre tasarlanan kiriş elemanlara ait tonajların yüksek oranda artmasına neden olmaktadır. Dengelenmemiş kuvvetlerin yüksek

olmadığı parçalı-X tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerde ise TBDY-2018'e göre tasarlanan kiriş elemanlara ait tonajlar ters-V tipli MÇÇÇ'ye kıyasla daha düşük oranda artmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 4 - Ters-V tipi çapraz düzeninin kullanıldığı MÇÇÇ'lerin eleman kesitleri

Pro. bina	Kat sayısı	DBYBHY-2007			TBDY-2018		
		Kolon (E/K)	Kiriş (E/K)	Çapraz (Narinlik) (E/K)	Kolon (E/K)	Kiriş (E/K)	Çapraz (Narinlik) (E/K)
01	3.Kat	HE200B (0.06)	IPE300 (0.83)	KUTU120X6.3 (100) (0.84)	HE220B (0.08)	HE500B (0.93)	KUTU100X8 (125) (0.99)
	2.Kat	HE200B (0.35)	IPE300 (0.80)	KUTU125X8 (98) (0.94)	HE220B (0.44)	HE550B (0.85)	KUTU120X8 (102) (0.99)
	1.Kat	HE200B (0.79)	IPE300 (0.80)	KUTU150X10 (97) (0.84)	HE220B (0.98)	HE700B (0.90)	KUTU140X10 (104) (0.99)
02	6.Kat	HE140B (0.25)	IPE300 (0.83)	KUTU120X6.3 (100) (0.64)	HE200B (0.09)	HE500B (0.97)	KUTU100X6.3 (121) (0.92)
	5.Kat	HE140B (0.75)	IPE300 (0.80)	KUTU120X6.3 (100) (0.92)	HE200B (0.46)	HE550B (0.93)	KUTU100X8 (125) (0.99)
	4.Kat	HE200B (0.57)	IPE300 (0.80)	KUTU125X8 (98) (0.83)	HE240B (0.58)	HE550B (0.92)	KUTU120X8 (102) (0.81)
	3.Kat	HE200B (0.84)	IPE300 (0.80)	KUTU140X8 (87) (0.77)	HE240B (0.85)	HE550B (0.89)	KUTU120X8 (102) (0.95)
	2.Kat	HE260B (0.69)	IPE300 (0.80)	KUTU140X8 (87) (0.87)	HE320B (0.72)	HE600B (0.68)	KUTU125X8 (98) (0.99)
	1.Kat	HE260B (0.97)	IPE300 (0.80)	KUTU160X10 (88) (0.79)	HE320B (0.97)	HE700B (0.95)	KUTU150X10 (97) (0.87)
03	9.Kat	HE160B (0.09)	IPE300 (0.83)	KUTU120x6.3 (100) (0.58)	HE200B (0.08)	HE450B (0.85)	KUTU100x6 (121) (0.88)
	8.Kat	HE160B (0.50)	IPE300 (0.80)	KUTU120x6.3 (100) (0.80)	HE200B (0.43)	HE500B (0.89)	KUTU100x8 (125) (0.94)
	7.Kat	HE160B (0.89)	IPE300 (0.80)	KUTU125x6.3 (96) (0.86)	HE200B (0.78)	HE550B (0.89)	KUTU120x8 (102) (0.70)
	6.Kat	HE220B (0.65)	IPE300 (0.80)	KUTU125x6.3 (96) (0.94)	HE260B (0.68)	HE550B (0.90)	KUTU120x8 (102) (0.75)
	5.Kat	HE220B (0.85)	IPE300 (0.80)	KUTU125x8 (98) (0.85)	HE260B (0.89)	HE550B (0.89)	KUTU120x8 (102) (0.84)
	4.Kat	HE260B (0.77)	IPE300 (0.80)	KUTU125x8 (98) (0.95)	HE320B (0.78)	HE550B (0.91)	KUTU120x8 (102) (0.92)
	3.Kat	HE260B (0.92)	IPE300 (0.80)	KUTU140x8 (87) (0.85)	HE320B (0.94)	HE550B (0.94)	KUTU125x8 (98) (0.96)
	2.Kat	HE340B (0.74)	IPE300 (0.80)	KUTU150x8 (81) (0.82)	HE500B (0.77)	HE600B (0.87)	KUTU140x8 (87) (0.85)
	1.Kat	HE340B (0.94)	IPE300 (0.80)	KUTU160x10 (88) (0.83)	HE500B (0.97)	HE700B (0.99)	KUTU150x10 (97) (0.92)

Pro.:Prototip bina, E/K: Etki/Kapasite oranı

Çizelge 5 - Parçalı-X tipi çapraz düzeninin kullanıldığı MÇÇÇ'lerin eleman kesitleri

Pro. bina	Kat sayısı	DBYBHY-2007			TBDY-2018		
		Kolon (E/K)	Kiriş (E/K)	Çapraz (Narinlik) (E/K)	Kolon (E/K)	Kiriş (E/K)	Çapraz (Narinlik) (E/K)
01	3.Kat	HE200B (0.06)	IPE300 (0.83)	KUTU120X6.3 (100) (0.83)	HE220B (0.09)	HE500B (0.88)	KUTU100X8 (125) (0.97)
	2.Kat	HE200B (0.56)	IPE300 (0.84)	KUTU125X8 (98) (0.93)	HE220B (0.75)	IPE360 (0.70)	KUTU120X8 (102) (0.95)
	1.Kat	HE200B (0.76)	IPE300 (0.80)	KUTU150X10 (97) (0.89)	HE220B (0.95)	HE400B (0.90)	KUTU140X10 (104) (0.99)
02	6.Kat	HE140B (0.51)	IPE300 (0.84)	KUTU120X6.3 (100) (0.55)	HE200B (0.35)	IPE360 (0.45)	KUTU100X6.3 (121) (0.73)
	5.Kat	HE140B (0.73)	IPE300 (0.80)	KUTU120X6.3 (100) (0.96)	HE200B (0.46)	IPE360 (0.99)	KUTU100X8 (125) (0.99)
	4.Kat	HE200B (0.75)	IPE300 (0.84)	KUTU125X8 (98) (0.80)	HE240B (0.79)	IPE360 (0.62)	KUTU120X8 (102) (0.72)
	3.Kat	HE200B (0.83)	IPE300 (0.80)	KUTU140X8 (87) (0.85)	HE240B (0.85)	IPE360 (0.44)	KUTU120X8 (102) (0.98)
	2.Kat	HE260B (0.79)	IPE300 (0.87)	KUTU140X8 (87) (0.95)	HE320B (0.85)	IPE360 (0.78)	KUTU125X8 (98) (0.99)
	1.Kat	HE260B (0.92)	IPE300 (0.80)	KUTU160X10 (88) (0.91)	HE320B (0.95)	HE450B (0.84)	KUTU150X10 (97) (0.92)
03	9.Kat	HE160B (0.10)	IPE300 (0.83)	KUTU120x6.3 (100) (0.59)	HE200B (0.08)	HE450B (0.83)	KUTU100x6 (121) (0.88)
	8.Kat	HE160B (0.74)	IPE300 (0.83)	KUTU120x6.3 (100) (0.77)	HE200B (0.70)	IPE360 (0.64)	KUTU100x8 (125) (0.86)
	7.Kat	HE160B (0.88)	IPE300 (0.80)	KUTU125x6.3 (96) (0.96)	HE200B (0.79)	IPE360 (0.99)	KUTU120x8 (102) (0.76)
	6.Kat	HE220B (0.78)	IPE300 (0.85)	KUTU125x6.3 (96) (0.92)	HE260B (0.86)	IPE360 (0.72)	KUTU120x8 (102) (0.71)
	5.Kat	HE220B (0.84)	IPE300 (0.80)	KUTU125x8 (98) (0.96)	HE260B (0.91)	IPE360 (0.32)	KUTU120x8 (102) (0.92)
	4.Kat	HE260B (0.88)	IPE300 (0.86)	KUTU125x8 (98) (0.97)	HE320B (0.93)	IPE360 (0.73)	KUTU120x8 (102) (0.88)
	3.Kat	HE260B (0.92)	IPE300 (0.80)	KUTU140x8 (87) (0.99)	HE320B (0.96)	IPE360 (0.55)	KUTU125x8 (98) (0.99)
	2.Kat	HE340B (0.82)	IPE300 (0.88)	KUTU150x8 (81) (0.94)	HE500B (0.88)	IPE360 (0.78)	KUTU140x8 (87) (0.89)
	1.Kat	HE340B (0.91)	IPE300 (0.80)	KUTU160x10 (88) (0.99)	HE500B (0.98)	HE400B (0.81)	KUTU150x10 (97) (0.99)

Pro.:Prototip bina, E/K: Etki/Kapasite oranı

TBDY-2018'e göre düşey yüklerin, artırılmış deprem etkilerinin ve mekanizma durumlarının göz önüne alınması ile boyutlandırılan kolon elemanlarına ait tonajlar özel kurallar içermeyen DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan kolon elemanlara kıyasla %16 ile %44 oranında daha yüksektir. Genel olarak, TBDY-2018 esasına göre boyutlandırılan ters-V ve parçalı-X tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerin toplam tonajları

DBYBHY-2007'ye kıyasla sırasıyla maksimum %116 ve %60 oranında daha yüksek elde edilmiştir.

Çizelge 6 - Kullanılan yapısal elemanların tonajları

Kat sayısı	Yapısal Eleman	Tonaj (ton)					
		Ters-V tipi MÇÇÇ			Parçalı-X tipi MÇÇÇ		
		DBYBHY 2007	TBDY 2018	Fark (%)	DBYBHY 2007	TBDY 2018	Fark (%)
3 Kat	Çapraz	0.92	0.91	-1	0.92	0.91	-1
6 Kat		1.74	1.65	-5	1.74	1.65	-5
9 Kat		2.53	2.47	-2	2.53	2.47	-2
3 Kat	Kolon	1.41	1.64	+16	1.41	1.64	+16
6 Kat		2.81	4.04	+44	2.81	4.04	+44
9 Kat		5.37	7.35	+37	5.37	7.35	+37
3 Kat	Kiriş	0.76	3.76	+395	0.76	2.40	+216
6 Kat		1.52	7.43	+493	1.52	2.74	+80
9 Kat		2.28	10.85	+376	2.28	4.36	+91
3 Kat	Toplam	3.09	6.31	+104	3.09	4.95	+60
6 Kat		6.07	13.12	+116	6.07	8.43	+39
9 Kat		10.18	20.67	+103	10.18	14.18	+39

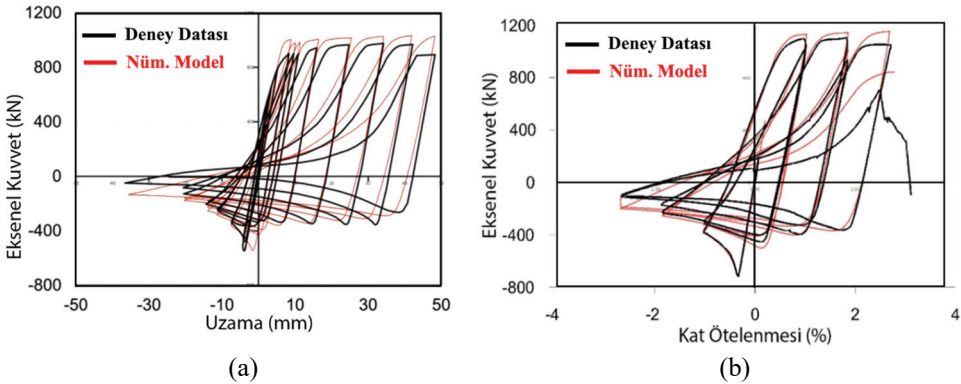
4. NÜMERİK MODELLEME

Nümerik modelleme için Opensees [47] yazılımı kullanılmıştır. 12 farklı prototip bina için toplam 12 adet doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizi ve 1056 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Çapraz elemanlar, eleman enkesitlerinde fiber elemanların kullanıldığı, eleman uzunluğu boyunca plastik davranışın göz önüne alındığı “forceBeamColumn” elemanları kullanılarak modellenmiştir. Bu elemanlar için Opensees [47] programında “steel02” olarak isimlendirilen izotropik birim şekil değiştirme pekleşmesi modelinin kullanıldığı “Giuffre-Menegotto-Pinto” malzeme modeli tercih edilmiştir. Birim şekil değiştirme oranı $b=0.003$, elastik davranıştan plastik davranışa geçişini ayarlayan parametreler $R0=20$, $cR1=0.925$ ve $cR2=0.15$, ve birim şekil değiştirme katsayıları $a1=0.0005$, $a2=0.01$, $a3=0.00005$ ve $a4=0.01$ olarak alınmıştır. Çapraz elemanların düğüm noktası bağlantı detayları eleman ucundan itibaren düğüm noktası levhası kalınlığının iki katına karşılık gelen uzunluk boyunca plastik deformasyon yapabilen fiber elemanların kullanıldığı “forceBeamColumn” elemanları kullanılarak modellenmiştir. Böylece çapraz elemanlar basınç kapasitelerine ulaştıkları zaman düğüm noktası bağlantı detayında oluşturulan katlanma bölgesi sayesinde burkulma davranışını gerçekleştirebilecektir. Çapraz elemanın başlangıçtaki eğrilikleri efektif çapraz uzunluğunun %0.1’i (1/1000) olacak şekilde tanımlanmıştır. Nümerik model iki boyutlu olarak oluşturulduğu için düğüm noktası levhası ve çapraz elemanın başlangıçtaki eğrilikleri düzlem içinde tanımlanarak çapraz burkulmasının düzlem içi gerçekleşmesi sağlanmıştır.

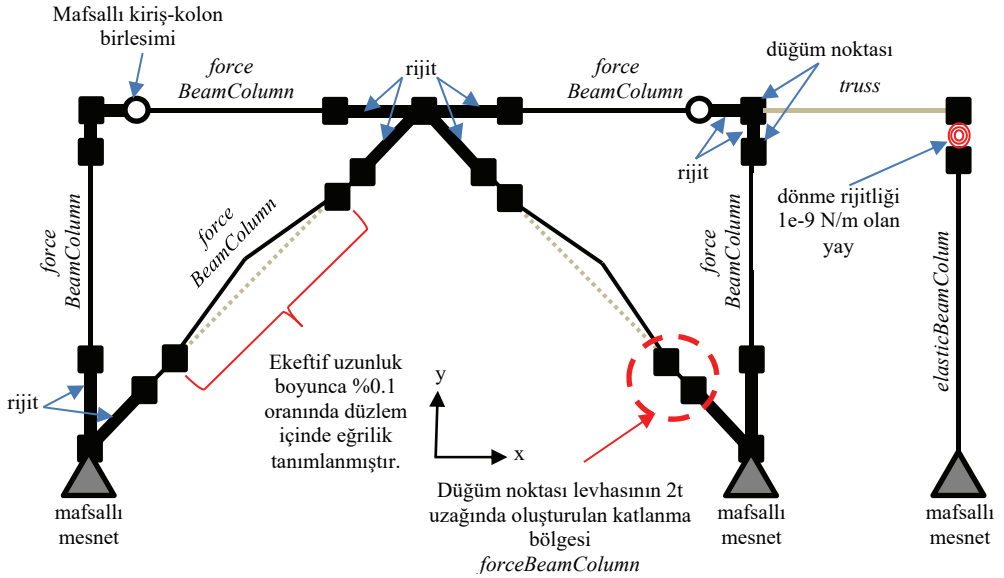
Nümerik modellenmenin kalibrasyonu için düğüm noktası levhasız [15] ve düğüm noktası levhalı [51] deney dataları kullanılmıştır. Düğüm noktası levhasız modelde Black ve ark.

[15]'nın 17 numaralı deney datası ve düğüm noktası levhali modelde Fell ve ark. [51]'nin HSS1-1 numaralı deney datası tercih edilmiştir. Kalibrasyonu yapılan nümerik modellerde, çapraz elemanların akma dayanımları düğüm noktası levhasız model için 407 MPa ve düğüm noktası levhali model için 460 MPa, başlangıçtaki elastisite modülü ise her iki model için 200000 MPa olarak tanımlanmıştır. Düğüm noktası levhasız model için çapraz uçları tam mafsallı olarak modellenirken, düğüm noktası levhali model için yukarıda bahsedildiği gibi, çapraz ucundan itibaren düğüm noktası levhası kalınlığının iki katına karşılık gelen uzunluk boyunca plastik deformasyon yapabilen fiber elemanların kullanıldığı "forceBeamColumn" elemanları kullanılarak modellenmiştir. Nümerik modellerin analiz sonuçlarından elde edilen datalar ile düğüm noktası levhasız [15] ve düğüm noktası levhali [51] deney datalarının karşılaştırılması Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7(a) düğüm noktası levhasız ve Şekil 7(b) düğüm noktası levhali çapraz elemana ait nümerik modelleme yönteminin MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların sismik davranışını simüle etmek için kullanılabilir olduğu göstermektedir. Bu çalışmada yer alan MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların düğüm noktaları levhali olarak modellenmiştir.

Prototip binaların çaprazlı çerçeveleri ve P- Δ etkilerini simüle etmek için sadece düşey yük taşıyan kolon elemanları iki boyutlu olarak modellenmiştir. Sadece düşey yük taşıyacak olan kolon elemanları "elasticBeamColumn" eleman modeli kullanılarak modellenmiştir. Bu kolon elemanlarının çaprazlı çerçeveye yanal doğrultuda herhangi bir rijitlik katkısının olmaması için kat kotlarında kendi içinde birbirlerine dönme rijitliği çok küçük olan ($K=1e-9$ N/m) yay elemanları kullanılarak bağlanmıştır. Ayrıca bu kolon elemanlar sadece eksenel yük taşıma özelliği olan "truss" elemanlar vasıtasıyla çaprazlı çerçeveye bağlanmıştır. Çaprazlı çerçevelerin kolon ve kiriş elemanları da çapraz elemanlar gibi "forceBeamColumn" elemanlarından oluşmaktadır. Kiriş ve kolon elemanları "equalDOF" komutu kullanılarak düşey ve yatay doğrultuda birbirine yük aktarabilecek ama moment transfer etmeyecek şekilde tam mafsallı olarak bağlanmıştır. Çapraz elemanlar ise kiriş ve kolon elemanlarına düğüm noktası levhali olarak bağlanmıştır. Kolon elemanları da temellere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kiriş-kolon, çapraz-kolon ve çapraz-kiriş birleşim bölgelerinde bulunan rijit bölgeler, ilgili eleman enkesit alanlarının ve atalet momentlerinin 10 kat artırılması ile oluşturulan rijit elemanlar ile modellenmiştir (Şekil 8). Kat kütleleri her katta iki adet olacak şekilde kolon-kiriş birleşim noktalarına etki ettirilmiştir.



Şekil 7 - Nümerik modelin (a) düğüm noktası levhasız [15], (b) ve düğüm noktası levhali [51] deney datalarına göre kalibrasyonu



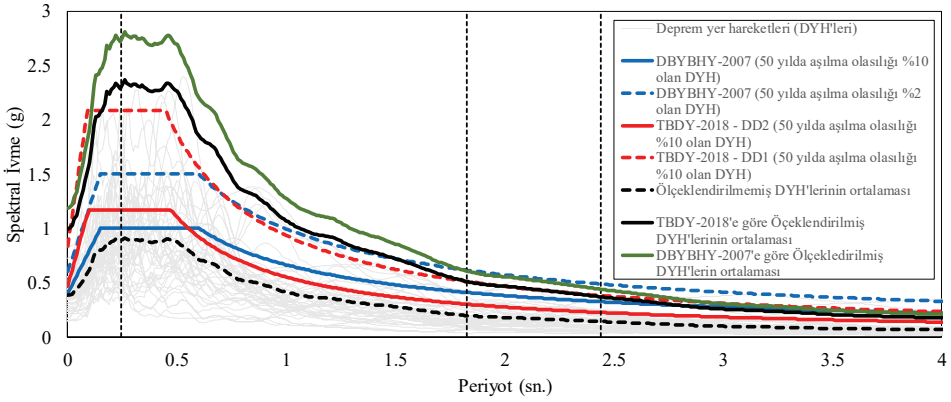
Şekil 8 - İki boyutlu Opensees modeli

5. DEPREM YER HAREKETLERİNİN SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan sünekliliği yüksek MÇÇÇ'lerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri için FEMA P695 [48]'de tanımlanan uzak alan kayıtlı 22 takım (toplam 44 adet) deprem yer hareketi dikkate alınmıştır. Her bir deprem yer hareketi DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan çok seyrek deprem yer hareketinin tanımlandığı göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketine (DD1'e) göre ayrı ayrı ölçeklendirilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde DBYBHY-2007'e göre en az üç TBDY-2018'e göre ise en az on bir adet deprem yer hareketi takımı kullanılmalıdır. TBDY-2018 deprem yer hareketlerinin seçiminde aynı deprem kayıt takımından en fazla üç adet kullanılmasına izin verir. DBYBHY-2007'e göre kullanılacak deprem kayıtlarının süresinin, binanın birinci doğal titreşim periyodunun (T_p) 5 katından ve 15 saniyeden kısa olmaması gerekmektedir. DBYBHY-2007'e göre deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmesi için öncelikle seçilen her bir deprem yer hareketine ait spektrumlar elde edilir. Bu spektrumların ortalaması hesaplanır ve sıfır periyoduna karşı gelen spektral ivme değeri belirlenir. Bu değer A_{0g} 'den küçük olmaması gerekmektedir. Daha sonra, ortalama spektrumun $0.2T_p$ ile $2T_p$ arasındaki genliklerinin tasarım spektruma ait aynı periyot aralığındaki genliklerinin %90'ından daha küçük olmamasını sağlayacak şekilde deprem yer hareketleri ölçeklendirilir. TBDY-2018'e göre ise ortalama spektrumun $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ arasındaki genliklerinin tasarım spektruma ait aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmamasını sağlayacak şekilde ölçeklendirme işlemi yapılır.

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre deprem yer hareketlerinin DD1'e göre ölçeklendirmesi için öncelikle her bir deprem yer hareketi spektrumları hazırlanmış ve bu elde edilen spektrumların ortalaması hesaplanarak ölçeklendirme katsayıları belirlenmiştir. 44 adet uzak alan kayıtlarının ölçeksiz ivme spektrumları ve ortalaması, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok seyrek deprem yer hareketi (DD1) ve buna göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerinin ortalaması, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre tasarım spektrumları Şekil 9'da ve ölçek katsayıları Çizelge 7'de gösterilmiştir.



Şekil 9 - Deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları, tasarım spektrumları ve 6 katlı ters-V tipi MÇÇÇ için hazırlanmış ölçeklendirilmiş ivme spektrumları

Çizelge 7 - Yer hareketi ölçek katsayıları

Kat sayısı	Çapraz düzeni	Yön.	Doğal titreşim periyodu (sn)				Ölçek katsayısı	
			T_p	$0.2T_p$	$1.5T_p$	$2.0T_p$	2018	2007
3 Kat	ters-V	2007	0.610	0.122	0.915	1.220	2.765	2.228
		2018	0.581	0.116	0.872	1.162		
	parçalı-X	2007	0.615	0.123	0.923	1.230		
		2018	0.606	0.121	0.909	1.212		
6 Kat	ters-V	2007	1.329	0.266	1.994	2.658	2.625	3.275
		2018	1.219	0.244	1.829	2.438		3.079
	parçalı-X	2007	1.377	0.275	2.066	2.754		3.410
		2018	1.285	0.257	1.928	2.570		3.175
9 Kat	ters-V	2007	2.248	0.450	3.372	4.496	3.226	4.402
		2018	1.989	0.398	2.984	3.978	3.118	4.330
	parçalı-X	2007	2.331	0.466	3.497	4.662	3.329	4.402
		2018	2.095	0.419	3.143	4.190	3.143	4.390

Yön.: kullanılan yönetmelik, 2007: DBYBHY-2007, 2018: TBDY-2018, T_p: birinci doğal titreşim periyodudur.

Şekil 9 DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmelikleri esaslarına göre İzmir – Gaziemir bölgesinde yapılacak prototip binaların tasarımında kullanılan tasarım spektrumlarının örtüşmediğini göstermektedir. Yönetmeliklerde tanımlanan farklı tasarım spektrumları kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvvetleri oranları 0.91 ile 0.99 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Bu sonuç DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre hazırlanan tasarım spektrumlarının birbirinden farklı olmasına rağmen her iki yönetmelik esaslarına göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

6. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan her bir MÇÇÇ Opensees [47] programı kullanılarak nümerik olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme (pushover) ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar ve MÇÇÇ'lerin dinamik performanslarının karşılaştırılması aşağıdaki ilgili alt başlıklarda sırasıyla ele alınmıştır.

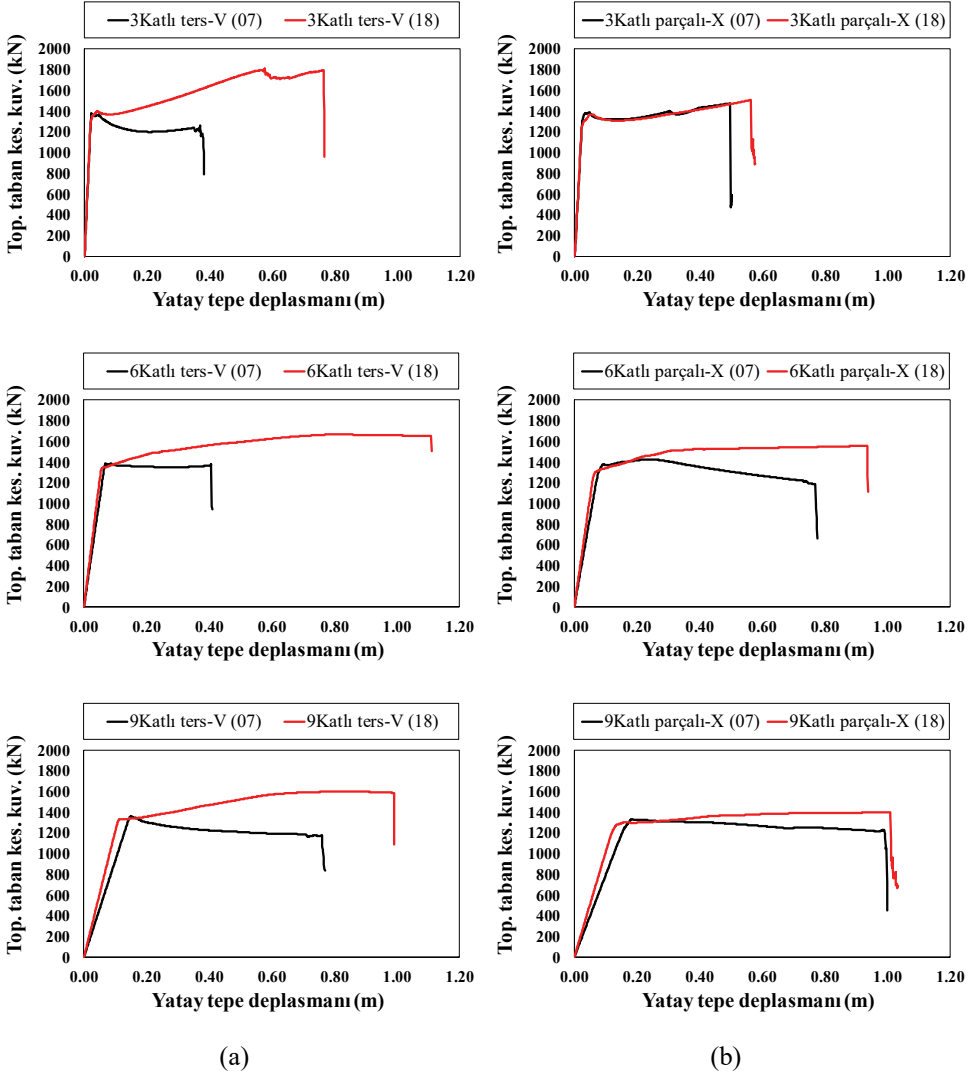
6.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme (Pushover) Analiz Sonuçları

3, 6 ve 9 katlı ters-V ve parçalı-X çapraz düzenine sahip DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan toplam 12 adet MÇÇÇ için Opensees [47] programı kullanılarak ayrı ayrı statik itme analizleri gerçekleştirilmiş ve her bir MÇÇÇ için toplam taban kesme kuvveti ile yatay tepe deplasman ilişkisini gösteren kapasite eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 10). Artımsal yüklemelere maruz kalan MÇÇÇ'lerde öncelikle basınç yükü altındaki çapraz elemanların burkulması ve ardından çekme yükü altındaki çapraz elemanların akması ile göçme mekanizmasının gerçekleşmesi ve böylelikle MÇÇÇ'lerin taşıma kapasitelerini kaybetmesi beklenmektedir. Çapraz elemanların burkulması sonrası kiriş elemanlarında dengelenmemiş kuvvetler meydana gelmektedir. Bu dengelenmemiş kuvvetler kiriş elemanlarında ilave eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel yüke neden olmaktadır. MÇÇÇ'lerin boyutlandırılmasında bu dengelenmemiş kuvvetlerin neden olduğu iç kuvvetlerin göz önüne alınmaması kiriş elemanlarının akmasına ve MÇÇÇ'lerin süneklik kapasitelerinin düşmesine neden olmaktadır.

Doğrusal olmayan statik itme analizleri sonucu ile hazırlanan kapasite eğrileri kullanılarak her bir prototip binanın maksimum yatay tepe deplasmanının akma yatay tepe deplasmanına oranı ile belirlenen süneklik kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu süneklik kapasiteleri ters-V tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'ler için Çizelge 8'de ve parçalı-X tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'ler için Çizelge 9'da raporlanmıştır.

Çapraz elemanların burkulması sonrasında ortaya çıkan dengelenmemiş kuvvetlerin kolon ve kiriş elemanlarının boyutlandırılmasında göz önüne alınmadığı DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan 3, 6 ve 9 katlı ters-V tipi MÇÇÇ'lerin süneklik kapasiteleri sırasıyla 12.724, 5.427, 5.073 ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerin 13.459, 8.105 ve 5.357 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar dengelenmemiş kuvvetlerin çok yüksek olduğu ters-V tipi MÇÇÇ'lerde kiriş elemanların erken aktığını ve MÇÇÇ'lerin süneklik kapasitelerini

düşürdüğünü göstermektedir. Bu dengelenmemiş kuvvetlerin eleman boyutlandırılmasında göz önüne alındığı TBDY-2018 için süneklik kapasiteleri ters-V tipi MÇÇÇ'lerde 23.656, 19.138, 8.693 değerine ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde 14.744, 13.75 ve 7.412 değerine yükselmiştir. TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan ters-v tipi çaprazlı 3, 6 ve 9 katlı MÇÇÇ'lerde süneklik oranı DBYBHY-2007'e kıyasla %86, %253, %71 ve parçalı-x tipi MÇÇÇ'lerde %10, %70 ve %38 daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar çapraz elemanların burkulması sonrası giriş elemanlarında ortaya çıkan dengelenmemiş kuvvetlerin MÇÇÇ'lerin süneklik kapasitesine etkisini ortaya koymaktadır.



Şekil 10 - (a) ters-V, (b) parçalı-X çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerin kapasite eğrileri

Çizelge 8 - Ters-V tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerin süneklik kapasiteleri

	3 Katlı			6 Katlı			9 Katlı		
	ters-V (07) m	ters-V (18) m	$\frac{\mu_s^{TBDY-18}}{\mu_s^{DBYBHY-07}}$	ters-V (07) m	ters-V (18) m	$\frac{\mu_s^{TBDY-18}}{\mu_s^{DBYBHY-07}}$	ters-V (07) m	ters-V (18) m	$\frac{\mu_s^{TBDY-18}}{\mu_s^{DBYBHY-07}}$
Δ_y	0.029	0.032	1.859	0.075	0.058	3.526	0.150	0.114	1.714
Δ_{max}	0.369	0.757		0.407	1.110		0.761	0.991	
μ_s	12.724	23.656		5.427	19.138		5.073	8.693	

Çizelge 9 - Parçalı-X tipi çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerin süneklik kapasiteleri

	3 Katlı			6 Katlı			9 Katlı		
	par.-X (07)	par.-X (18)	$\frac{\mu_s^{TBDY-18}}{\mu_s^{DBYBHY-07}}$	par.-X (07)	par.-X (18)	$\frac{\mu_s^{TBDY-18}}{\mu_s^{DBYBHY-07}}$	par.-X (07)	par.-X (18)	$\frac{\mu_s^{TBDY-18}}{\mu_s^{DBYBHY-07}}$
Δ_y	0.038	0.039	1.095	0.095	0.068	1.696	0.185	0.136	1.384
Δ_{max}	0.498	0.575		0.770	0.935		0.991	1.008	
μ_s	13.459	14.744		8.105	13.750		5.357	7.412	

Δ_y : ilk belirgin akmanın meydana geldiği yatay tepe deplasmanı, Δ_{max} : maksimum yatay tepe deplasmanı, μ_s : süneklik

2.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Prototip binaların sismik davranışlarını değerlendirebilmek ve kendi içinde karşılaştırabilmek için gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda maksimum ve kalıcı görel kat ötelenme oranları, çapraz elemanların maksimum süneklik talepleri ve düzlem içi burkulma deplasmanları elde edilmiştir. Ayrıca MÇÇÇ'lerdeki kiriş elemanlarının analizler boyunca maksimum iç kuvvetleri belirlenerek etki/kapasite oranları hesaplanmıştır. Bu çalışmada, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilen 44 adet deprem yer hareketine maruz kalan MÇÇÇ'lerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinden elde edilen her bir MÇÇÇ'ye ait 44 adet analiz sonucunun maksimum değerlerinin ortalamaları hesaplanarak ilgili değerler raporlanmıştır. Maksimum görel kat ötelenme oranları Çizelge 10 ve Şekil 11'de, verilmiştir.

DBYBHY-2007 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ve DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış 3, 6 ve 9 katlı ters-V tipi MÇÇÇ'lerin maksimum görel kat ötelenme oranları %1.65, %2.87 ve %5.14 iken, TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılmış MÇÇÇ'lerde bu oranlar %1.47, %2.31 ve %3.85 değerine düşmüştür. Parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde ise %1.55, %2.86 ve %3.95 olan maksimum görel kat ötelenme oranları TBDY-2018 ile %1.52, %2.61, %4.24 olarak elde edilmiştir. TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ve DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış ters-V tipi MÇÇÇ'lerde %2.30, %2.29 ve %3.26 olan maksimum görel kat ötelenme oranları TBDY-2018 ile %2.15, %1.90 ve %2.61 değerine düşmüştür. Parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde ise maksimum görel kat ötelenme oranları, DBYBHY-2007

esaslarına göre boyutlandırılmış MÇÇÇ'lerde %2.46, %2.30 ve %2.91 iken TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılmış MÇÇÇ'lerde %2.54, %2.04 ve %2.86 olarak hesaplanmıştır. Şekil 12'de MÇÇÇ'lerdeki kiriş elemanlarının maksimum etki/kapasite oranları verilmektedir. Bu grafikte DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış ters-V tipi MÇÇÇ'lerdeki birçok kiriş elemanının aktığı görülmektedir. DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış bu ters-V tipi MÇÇÇ'lerde çapraz elemanların burkulması sonrası kiriş elemanlarında meydana gelen dengelenmemiş kuvvetler karşılanamamış ve bundan dolayı TBDY-2018'e kıyasla görel kat ötelenme oranlarını artmıştır. Parçalı-x tipi MÇÇÇ'lerde ise kiriş elemanlarında meydana gelen dengelenmemiş kuvvetler düşük olduğu için her iki yönetmelik esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerin maksimum görel kat ötelenme oranları birbirine benzer çıkmıştır.

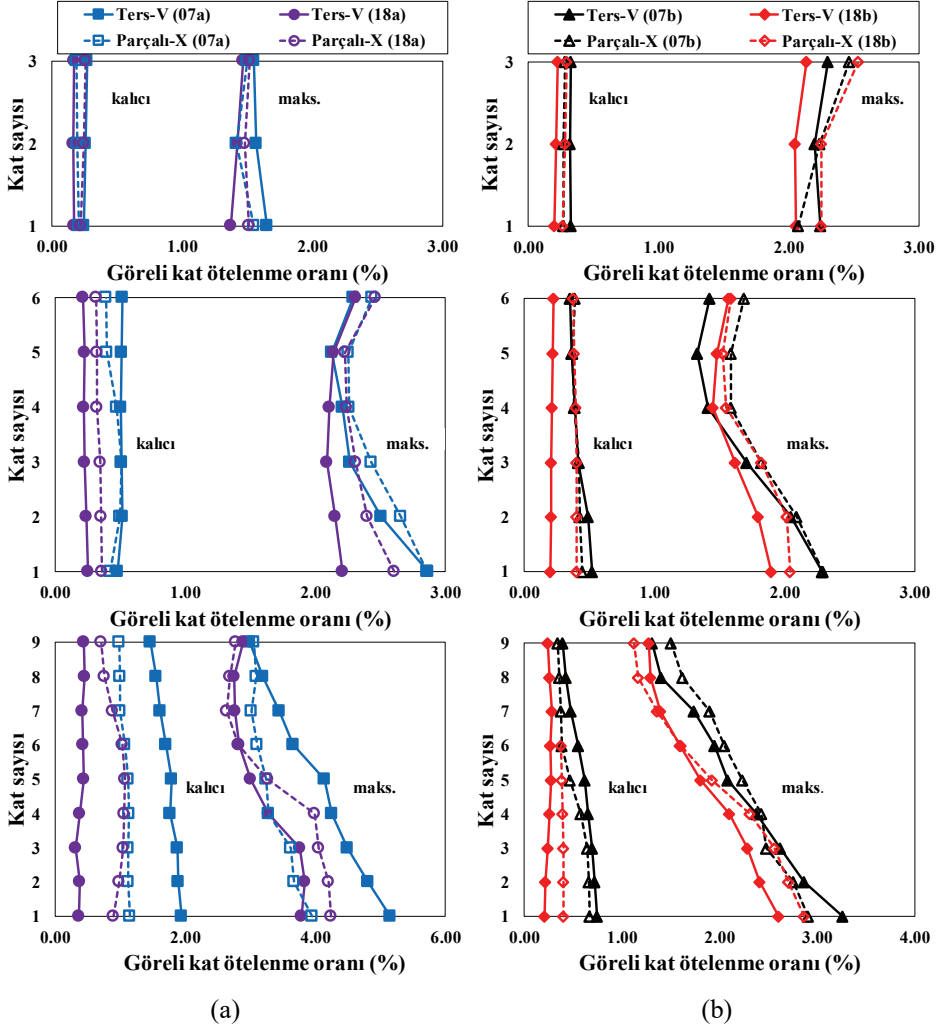
Çizelge 10 - Prototip binalara ait maksimum görel kat ötelenme oranları (%)

Prototip bina	Kat sayısı	DBYBHY-2007'e göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri altındaki davranış				TBDY-2018'e göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri altındaki davranış			
		ters-V		parçalı-X		ters-V		parçalı-X	
		2007	2018	2007	2018	2007	2018	2007	2018
01	3.Kat	1.55	1.47	1.50	1.52	2.30	2.14	2.46	2.54
	2.Kat	1.57	1.42	1.42	1.49	2.20	2.05	2.24	2.25
	1.Kat	1.65	1.37	1.55	1.51	2.24	2.06	2.07	2.25
02	6.Kat	2.29	2.31	2.44	2.46	1.42	1.57	1.69	1.59
	5.Kat	2.13	2.14	2.26	2.23	1.33	1.48	1.59	1.53
	4.Kat	2.21	2.11	2.26	2.24	1.41	1.45	1.59	1.55
	3.Kat	2.27	2.09	2.43	2.31	1.71	1.62	1.82	1.82
	2.Kat	2.51	2.15	2.66	2.40	2.05	1.80	2.09	2.02
	1.Kat	2.87	2.21	2.86	2.61	2.29	1.90	2.30	2.04
03	9.Kat	2.99	2.90	3.06	2.78	1.31	1.28	1.51	1.13
	8.Kat	3.19	2.76	3.10	2.69	1.40	1.29	1.63	1.17
	7.Kat	3.45	2.77	3.02	2.64	1.74	1.39	1.90	1.36
	6.Kat	3.66	2.83	3.11	2.82	1.95	1.60	2.05	1.60
	5.Kat	4.14	3.00	3.24	3.27	2.08	1.81	2.24	1.92
	4.Kat	4.25	3.29	3.28	3.99	2.38	2.10	2.43	2.32
	3.Kat	4.49	3.77	3.63	4.05	2.62	2.29	2.48	2.56
	2.Kat	4.81	3.85	3.68	4.20	2.86	2.41	2.76	2.70
1.Kat	5.14	3.79	3.95	4.24	3.26	2.61	2.91	2.86	

2007: DBYBHY-2007, 2018: TBDY-2018

Kalıcı görel kat ötelenme oranları DBYBHY-2007 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ve DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış ters-V ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde maksimum sırasıyla %1.95 ve %1.15 iken TBDY-2018 ile %

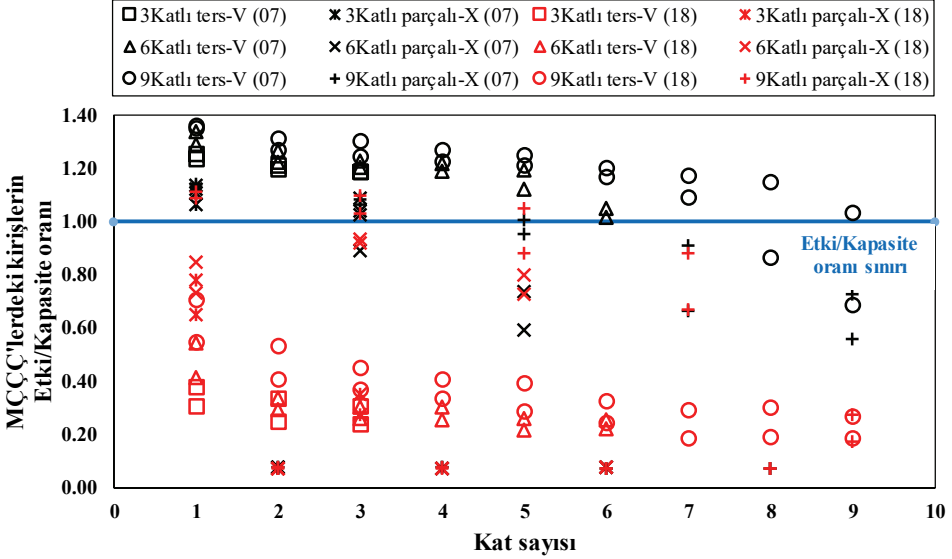
0.46 ve %1.08'e düşmüştür. TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan MÇÇÇ'lerde ise bu değerler %0.75 ve %0.68 değerinden %0.29 ve %0.49 değerine düşmüştür ve bu değerler yapının tekrar fonksiyonel olabilmesi ve kullanımı sırasında insanlarda baş ağrısı ve baş dönmesi oluşturmaması için sınır kalıcı görelî kat ötelenme oranı olan %0.5 değerinin altındadır [52].



Şekil 11 - (a) DBYBHY-2007, (b) TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan tüm prototip binalar için maksimum ve kalıcı görelî kat ötelenme oranları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen çapraz elemanlara ait maksimum aksenal basınç ve çekme yerdeğıştirmeleri Denklem (22) ve (23)'de gösterilen

Δ_c ve Δ_T aksenal basınç ve çekme dayanımlarına karşı gelen akma yerdeğiştirmelerine bölünmesi ile süneklik talepleri hesaplanmış ve Çizelge 11'de verilmiştir. Ayrıca süneklik talepleri TBDY-2018 Tablo 5C.4'de MÇÇÇ'ler için verilen göçme öncesi (GÖ) şekildeğiştirme sınır değerleri ile karşılaştırılarak MÇÇÇ'lerin sismik performansları değerlendirilmiştir. Süneklik taleplerinin sınır değerlere bölünerek hesaplanan normalize edilmiş değerler şekil 13'de gösterilmiştir.



Şekil 12 - Deprem kuvveti etkisindeki MÇÇÇ'lerde yer alan kirişlerinin etki/kapasite oranlarının katlara göre değişimi

$$\Delta_c = \frac{P_c l_c}{EA_c} \quad (22)$$

$$\Delta_T = \frac{P_{ye} l_c}{EA_c} \quad (23)$$

Burada, P_c ve P_{ye} çapraz elemanın beklenen aksenal basınç ve akma dayanımı, l_c çapraz boyu, E elastisite modülüdür.

DBYBHY-2007 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ve DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış 3, 6 ve 9 katlı ters-V tipi MÇÇÇ'lerin çapraz elemanlarının maksimum süneklik talepleri sırasıyla 12, 22 ve 23 iken bu değerler TBDY-2018 ile 6, 10 ve 16'ya düşmektedir. Parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde ise 9, 19 ve 19 olan değerler 7, 11 ve 17'e düşmektedir. TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ters-V tipi MÇÇÇ'lerde maksimum süneklik talebi TBDY-2018 sayesinde 3 katlı MÇÇÇ'lerde 15'den 9'a, 6 katlı MÇÇÇ'lerde 17'den 8'e ve 9 katlı

MÇÇÇ'lerde ise 25'den 10'a düşmektedir. Parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde ise 3, 6 ve 9 katlı MÇÇÇ'lerde sırasıyla 13'den 9'a, 15'den 9'a ve 18'den 12'e düşmektedir.

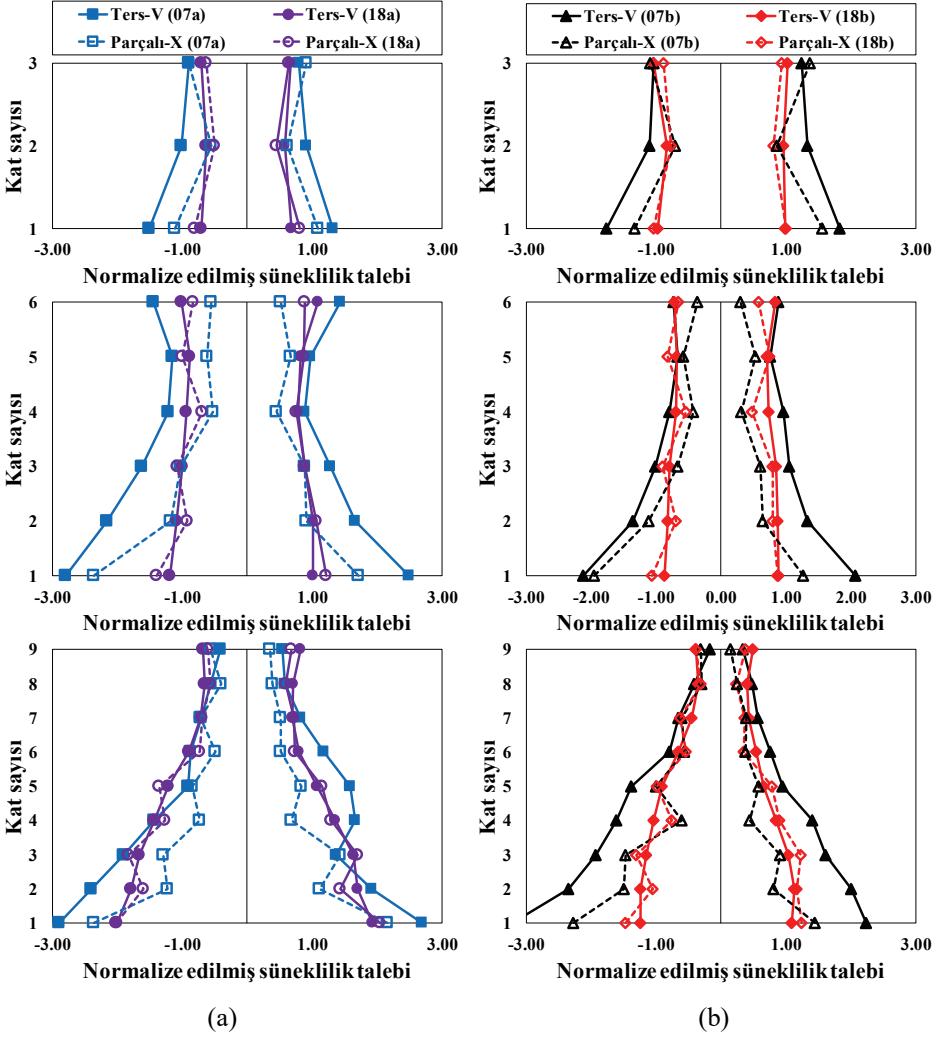
Çizelge 11 - Prototip binalara ait çapraz elemanların süneklik talepleri

Prototip bina	Kat sayısı	DBYBHY-2007'e göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri altındaki davranış				TBDY-2018'e göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketleri altındaki davranış			
		ters-V		parçalı-X		ters-V		parçalı-X	
		2007	2018	2007	2018	2007	2018	2007	2018
		çek/bas	çek/bas	çek/bas	çek/bas	çek/bas	çek/bas	çek/bas	çek/bas
01	3.Kat	1/7	4/6	1/8	4/6	2/10	6/9	1/11	7/8
	2.Kat	1/8	5/5	7/1	5/4	1/11	7/8	9/2	7/7
	1.Kat	1/12	4/6	2/9	4/7	1/15	6/8	2/13	6/9
02	6.Kat	1/12	7/10	6/4	8/8	1/7	5/8	4/2	6/6
	5.Kat	2/10	7/8	5/6	6/9	1/6	5/6	3/5	4/7
	4.Kat	1/10	7/8	6/4	8/6	1/8	5/6	5/2	6/4
	3.Kat	2/13	7/8	5/8	7/9	2/8	6/7	3/5	5/7
	2.Kat	2/17	8/9	13/3	9/9	2/11	6/7	12/1	8/7
	1.Kat	1/22	8/10	4/19	8/11	1/17	6/7	2/15	6/9
	03	9.Kat	1/4	5/7	1/5	6/6	1/3	3/4	1/3
8.Kat	2/5	6/6	4/3	6/5	1/4	3/4	3/1	3/2	
7.Kat	3/7	6/6	4/6	6/6	2/5	3/4	3/5	3/5	
6.Kat	3/10	7/7	6/4	7/6	2/6	5/5	6/2	6/3	
5.Kat	2/13	9/10	5/7	9/11	1/11	7/8	4/8	6/8	
4.Kat	2/14	10/12	7/6	11/11	1/13	8/9	7/4	8/8	
3.Kat	4/15	12/14	8/11	13/15	2/15	9/9	6/11	8/11	
2.Kat	6/18	14/14	14/8	16/13	4/18	9/10	16/2	11/9	
1.Kat	1/23	13/16	8/19	13/17	1/25	9/10	3/18	9/12	

2007: DBYBHY-2007, 2018: TBDY-2018, çek.: maksimum çekme kuvvetine maruz kalan çapraz elemanın süneklik talebi, bas.: maksimum basınç kuvvetine maruz kalan çapraz elemanın süneklik talebi

DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan ters-V tipi MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların süneklik taleplerinin, parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerdekinden yüksek olması kiriş elemanlarında meydana gelen dengelenmemiş kuvvetlerin çapraz sünekliğinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca kiriş elemanlarının akması çapraz elemanların süneklik taleplerinin kat yüksekliği boyunca doğrusal olmamasına neden olmaktadır. TBDY-2018 ile çapraz elemanların narinlik sınırı $4.0\sqrt{E/F_y}$ değerinden 200'e çıkartılmıştır. Kiriş elemanlarında dengelenmemiş kuvvetlerin düşük olduğu parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde narinlik değeri yüksek çaprazların kullanıldığı TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların süneklik taleplerinin DBYBHY-2007 kıyasla daha düşük

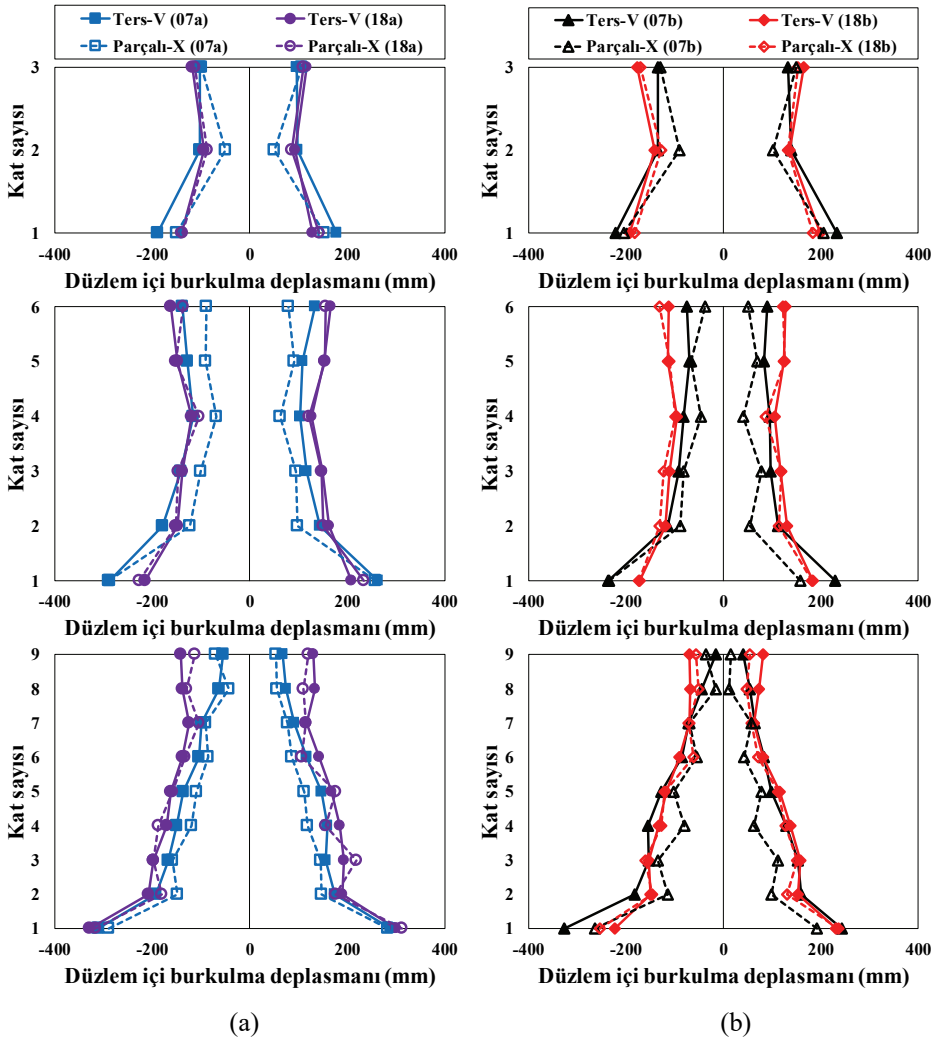
çıkması çapraz elemanlarda narinlik değeri arttıkça çapraz elemanın süneklik talebinin düştüğünü ve dolayısıyla sismik davranışın iyileştiğini göstermektedir.



Şekil 13 - (a) DBYBHY-2007, (b) TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan tüm prototip binalar için normalize edilmiş süneklik talepleri

Çapraz elemanların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler boyunca maruz kaldıkları basınç yükü altındaki deplasman taleplerini kat yüksekliği boyunca ortaya koymabilmek için çapraz elemanların orta noktasındaki burkulma anındaki en yüksek düzlem içi burkulma deplasmanları da raporlanmıştır. Elde edilen çapraz elemanların düzlem içi burkulma deplasmanları ve kat yüksekliği boyunca değişimi Şekil 14'de gösterilmiştir. DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılmış 3, 6 ve 9 katlı MÇÇÇ'lerin çapraz

elemanlarının maksimum düzlem içi burkulma deplasmanları 234 mm, 289 mm ve 327 mm iken TBDY-2018 ile bu değerler 198 mm, 234 mm ve 318 mm'ye düşmüştür. Ayrıca TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların düzlem içi burkulma deplasmanları, DBYBHY-2007'e kıyasla kat yüksekliği boyunca birbirine benzerdir. Böylece, TBDY-2018 ile narınlığı yüksek çapraz elemanları tercih edilerek ve çapraz burkulması sonrasında kiriş elemanlarında meydana gelebilecek dengelenmemiş kuvvetleri kiriş boyutlandırılmasında göz önüne alarak kiriş elemanların akmasının engellendiği, çapraz elemanların süneklik taleplerinin düştüğü ve kat yüksekliği boyunca benzer süneklik taleplerinin meydana geldiği gösterilmiştir.



Şekil 14 - (a) DBYBHY-2007, (b) TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan tüm prototip binalar için maksimum düzlem içi burkulma deplasmanları

DBYBHY-2007 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ve DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan 3, 6 ve 9 katlı MÇÇÇ'lerde sırasıyla çapraz elemanların %33, %54 ve %44'ü göçme öncesi sınır süneklik koşulunu sağlamamaktadır. Benzer şekilde TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerde sırasıyla çapraz elemanların %0, %38 ve %55'i göçme öncesi sınır süneklik koşulunun üstündedir. TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerine maruz kalan ve DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerde çapraz elemanların %83, %38, %38 ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerde ise çapraz elemanların %33, %4 ve %36'sı göçme öncesi sınır durumunu aşmaktadır. Bu sonuçlar TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerin dinamik performanslarının DBYBHY-2007'e kıyasla daha iyi olmasına rağmen her iki yönetmeliğe göre boyutlandırılmış MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların süneklik taleplerinin ilgili yönetmeliklere göre değerlendirilmesi aşamasında TBDY-2018'de tanımlanmış göçme öncesi sınır koşullarını aştığını ve bundan dolayı çapraz elemanların kesitlerinin yetersiz olduğunu göstermektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deprem yönetmelikleri yapısal sistemlerin tasarımı için ek koşullar getirmektedir. Bu çalışma kapsamında, 3, 6 ve 9 katlı x ekseninde ters-V ve y ekseninde parçalı-X düzeninde yerleştirilmiş çapraz elemanlardan teşkil edilen süneklik düzeyi yüksek MÇÇÇ'ler DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre ayrı ayrı tasarlanmış ve FEMA P695 [48]'de tanımlanan 44 adet uzak alan kayıtlı deprem yer hareketine maruz bırakılmıştır. Deprem yer hareketleri hem DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan çok seyrek deprem yer hareketinin tanımlandığı göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketine (DD1'e) göre ayrı ayrı ölçeklendirilmiştir. Gerçekleştirilen toplam 12 adet doğrusal olmayan statik itme (pushover) ve 1056 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ışığında DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerin dinamik performansları karşılaştırılmış ve elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Prototip binaların deprem yükü hesaplarında her iki yönetmelik farklı tasarım spektrumlarını kullanmasına rağmen hesaplanan toplam taban kesme kuvvetleri birbirleri ile benzer hesaplanmıştır.
- MÇÇÇ'lerdeki kiriş ve kolon elemanlarının boyutlandırılmasında çapraz elemanların burkulması sonrası meydana gelen dengelenmemiş kuvvetlerin göz önüne alınması ile TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan ters-V ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerin tonajları DBYBHY-2007'e kıyasla sırasıyla maksimum %116 ve %60 daha fazla çıkmıştır.
- Statik itme analizlerine göre, TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan ters-V ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerin süneklik kapasiteleri DBYBHY-2007'e kıyasla sırasıyla en az %71 ve %10 oranında daha yüksektir.
- TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan ters-V tipi MÇÇÇ'lerde görelî kat ötelenme oranları DBYBHY-2007'e kıyasla daha düşük çıkarken, parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde her iki yönetmeliğe göre benzer çıkmıştır.

- TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan ve değerlendirilen MÇÇÇ'lerde kalıcı görelî ötelenme oranları yapının tekrar fonksiyonel olabilmesi ve kullanımı sırasında insanlarda baş ağrısı ve baş dönmesi oluşturmaması için sınır kalıcı görelî ötelenme oranı olan %0.5'in altındadır.
- Çapraz elemanlardaki en yüksek süneklik talepleri çapraz elemanların burkulması sonrası kiriş elemanlarında ortaya çıkan dengelenmemiş kuvvetlerin eleman boyutlandırılmasında göz önüne alınmadığı DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan ters-V tipi MÇÇÇ'lerin çapraz elemanlarında meydana gelmektedir. Dengelenmemiş kuvvetlerin çok yüksek olmadığı yine DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde süneklik talepleri %12 ile %52 arasında azalmaktadır.
- DBYBHY-2007 esaslarına göre ölçeklendirilen deprem yer hareketlerine maruz kalan ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan ters-V ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde çapraz elemanların süneklik talepleri DBYBHY-2007'e kıyasla sırasıyla %30 ve %11 azalırken, TBDY-2018 esaslarına göre ölçeklendirilen deprem yer hareketlerine maruz kalan MÇÇÇ'lerde %40 ve %31 oranında düşmektedir.
- TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların süneklik talepleri ve düzlem içi burkulma deplasmanları DBYBHY-2007 esaslarına göre boyutlandırılan MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların aksine kat yüksekliği boyunca benzerlik göstermektedir.
- Çapraz elemanlarda narinlik değeri arttıkça çapraz elemanın süneklik talebinin düştüğü, düzlem dışı burkulma deplasmanının azaldığı ve dolayısıyla sismik davranışın iyileştiği gözlemlenmiştir.
- Her iki yönetmeliğe göre boyutlandırılmış MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanların süneklik talepleri TBDY-2018'de tanımlanmış geçme öncesi sınır koşullarını aşmaktadır.

Elde edilen bulgular, hem ters-V tipi hem de parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde TBDY-2018'e göre tasarlanan yapıların DBYBHY-2007'e kıyasla maksimum görelî kat ötelenmesi, kalıcı görelî kat ötelenmesi ve çapraz elemanların süneklik talepleri açısından daha güvenilir olduğunu göstermiştir. DBYBHY-2007 bu çapraz düzenine sahip MÇÇÇ'lerde çapraz elemanların bağlandığı kirişler ve birleşim bağlantıların boyutlandırılmasında çaprazların akmaya ulaşması ve burkulması sonrasında meydana gelecek mekanizma durumlarında MÇÇÇ'lerde yer alan bu kiriş elemanların üzerindeki düşey yükleri göz önüne almasına rağmen mekanizma durumunda ortaya çıkan dengelenmemiş kuvvetleri göz ardı etmektedir. Bu dengelenmemiş kuvvetlerin yüksek olduğu özellikle ters-V tipi MÇÇÇ'lerde kiriş elemanlarında meydana gelebilecek akmalar yapı sisteminin sismik davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizde mevcut bulunan DBYBHY-2007'e göre tasarlanmış öncelikli olarak ters-V tipi ve parçalı-X tipi MÇÇÇ'lerde bu dengelenmemiş kuvvetlerin neden olduğu ilave iç kuvvetlerin karşılanabilmesi için kiriş, kolon ve birleşim elemanlarında gerekli güçlendirme tedbirleri ivedilikle alınmalıdır.

Semboller

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_g	: Kayıpsız enkesit alanı
b	: Profil başlık genişliği
C_a	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayıdır
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodunu hesabında kullanılan bir katsayı
C_{tE}	: Spektral ivmesine bağlı bir katsayı
d_{fi}	: i . kata etkiyen fiktif yüke karşılık gelen deplasman
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
E	: Elastisite modülü
$E_d^{(H)}$: Yatay deprem yükü etkisi
$E_d^{(Z)}$: Düşey deprem yükü etkisidir
F_1	: 1 saniye için yerel zemin etki katsayıları
F_{cre}	: Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesidir.
F_{fi}	: i . kata etkiyen fiktif yük
F_S	: Kısa periyot için yerel zemin etki katsayıları
F_y	: Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi
g	: Yerçekimi ivmesidir
G	: Sabit yük etkisi
h	: Profil gövde yüksekliği
H	: Yatay zemin etkisi
H_N	: Bodrum katlar hariç yapı toplam yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
l_c	: Çapraz boyu
m_i	: i . kata etkiyen kat kütlesi
m_t	: Deprem kütlesi
P_1	: Çapraz elemanın olası basınç dayanımı
P_2	: Çapraz elemanın burkulma sonrası olası basınç dayanımı
P_c	: Çapraz elemanın beklenen aksenal basınç dayanımı
P_{ye}	: Çapraz elemanın beklenen akma dayanımı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_y	: Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
Q	: Hareketli yük etkisi

S	: Kar yükü etkisi
S_I	: 1 saniye için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivmesi
S_S	: Kısa periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DI}	: 1 saniye için tasarım spektral ivme katsayısı
t	: Profil başlık kalınlığı
t_w	: Profil gövde kalınlığı
T	: Çapraz elemanın olası çekme dayanımı
T_p	: Doğal titreşim periyodu
T_{pA}	: Ampirik olarak hesaplanan doğal titreşim periyodu
V_{IE}	: Toplam eşdeğer deprem yükü
α	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayı
β	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayı
γ	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayı
δ	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayı
Δ_c	: Eksenel basınç dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi
Δ_{max}	: Maksimum kat ötelenmesi
Δ_T	: Eksenel çekme dayanımına karşı gelen akma yerdeğiştirmesi
Δ_y	: ilk belirgin akmanın meydana geldiği kat ötelenmesi
ϵ	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayı
θ	: Enkesit kompaktlık koşulları ilgili bir katsayı
μ_s	: Süneklik faktörü

Kaynaklar

- [1] American Institute of Steel Construction (AISC). Seismic provisions for structural steel buildings, ANSI/AISC 341-16, Chicago, 2016.
- [2] Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance - part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1:2004, European Standard, Comit Européen de Normalisation, Brussels, 2004.
- [3] National Research Council of Canada, NBCC-2015: national building code of Canada, Ottawa, 2015.
- [4] Bayındır ve İskan Bakanlığı. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, DBYBHY-2007, Ankara, 2007.
- [5] İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye bina deprem yönetmeliği, TBDY-2018, Ankara, 2018.

- [6] Popov, E.P., Takanashi, K., Roeder, C.W., Structural steel bracing systems: behavior under cyclic loading, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, 1976 (Report No. UCB/EERC-76/17).
- [7] Zavas, V.A., Popov, E.P., Mahin, S.A., Cyclic inelastic buckling of tubular steel braces, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, 1980 (Report No. UCB/EERC-80/16).
- [8] Wakabayashi, M., et al., Experiments on the elastic-plastic behavior of bars subjected to cyclic axial loads, AIJ, Proceedings of Annual Meeting, Japan, October, 1972.
- [9] Suzuki, T., et al., Experimental study on the elasto-plastic behavior of tensile braced frames, Transactions of the Architectural Institute of Japan, 228: 57-64, 1975.
- [10] Inoue, K. and M. Murakami, A study on the plastic design of braced multi-story steel frames (Part 3: experimental study on the elastic plastic behavior of 3 story 3 bay braced and unbraced steel frames), Transactions of the Architectural Institute of Japan, 1978.
- [11] Wakabayashi, M., T. Nakamura and N. Yoshida, Experimental studies on the elastic-plastic behavior of braced frames under repeated horizontal loading – Part 3: experiments of one story-one bay braced frames, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, 29(4): 143-168, 1980.
- [12] Workman, G.H., The inelastic behavior of multi-story braced frame structures subjected to earthquake excitation, U. of Michigan Research Report, September, 1969.
- [13] Kahn, L.F., and Hanson, R.D., Inelastic cycles of axially loaded steel members, Journal of Structural Division, ASCE, No. ST5, Vol. 102, pgs 947-59, 1976.
- [14] A.K. Jain, R.D. Hanson, S.C. Goel, Hysteretic cycles of axially loaded steel members, J. Struct. Div. 106 (8) 1777–1795, 1980
- [15] Black R., Wenger W., Popov E., Inelastic buckling of steel struts under cyclic load reversals, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, 1980 (Report No. UCB/EERC-80/40).
- [16] Popov, E.P., Black, R.G., Steel struts under severe cyclic loadings, J. Struct. Div. 107 (9) 1857-1881, 1981.
- [17] Astaneh-Asl A., Goel S., Cyclic in-plane buckling of double-angle bracing, ASCE, J. Struct. Eng., 111 (5) 1135-1153, 1984.
- [18] Astaneh-Asl A., Goel S., Hanson, R., Cyclic out-of-plane buckling of double-angle bracing, ASCE, J. Struct. Eng., 111 (5) 1135–1153, 1985.
- [19] Liu Z., Goel S., Cyclic load behavior of concrete-filled tubular braces, ASCE, J. Struct. Eng., 114(7): 1488–1506, 1988.
- [20] Foutch D., Goel S., Roeder C.W., Seismic testing of full-scale steel building—Part I, ASCE, J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445 (1987)113:11(2111), 2111–2129, 1987.
- [21] Remennikov, A.M., Walpole, W.R., A note on compression strength reduction factor for a buckled strut in seismic-resisting braced system, Eng. Struct. 20, 8, 779–782, 1998.
- [22] Tremblay, R., Inelastic seismic response of steel bracingmembers, J. Constr. Steel Res. 58, 5–8, 665–701, 2002.

- [23] Shaback, B., Brown, T., Behaviour of square hollow structural steel braces with end connections under reversed cyclic axial loading, *Can. J. Civ. Eng.* 30, 4, 745–753, 2003.
- [24] Tremblay, R., Archambault, M.H., Filiatrault, A., Seismic response of concentrically braced steel frames made with rectangular hollow bracing members, *J. Struct. Eng. ASCE* 129, 12, 1626–1636, 2003.
- [25] Lee, K., Bruneau, M., Energy dissipation of compression members in concentrically braced frames: Review of Experimental Data, *J. Struct. Eng. ASCE* 131, 4, 552–559, 2005.
- [26] Han, S.W., Kim, W.T., Foutch, D.A., Seismic behavior of HSS bracing members according to width–thickness ratio under symmetric cyclic loading, *J. Struct. Eng. ASCE* 133, 2, 264–273, 2007.
- [27] Broderick, B.M., Elghazouli, A.Y., Goggins, J., Earthquake testing and response analysis of concentrically-braced sub-frames, *J. Constr. Steel Res.* 64, 9, 997–1007, 2008.
- [28] Lumpkin, E.J., Hsiao, P.C., Roeder, C.W., Lehman, D.E., Tsai, C.Y., Wu, A.C., Wei, C.Y., Tsai, K.C., Investigation of the seismic response of three-story special concentrically braced frames, *J. Constr. Steel Res.* 77, 131–144, 2012.
- [29] Okazaki, T., Lignos, D.G., Hikino, T., Kajiwara, K., Dynamic response of a chevron concentrically braced frame, *J. Struct. Eng. ASCE* 139, 4, 515–525, 2013.
- [30] Sen, A.D., Roeder, C.W., Berman, J.W., Lehman, D.E., Li, C.H., Wu, A.C., Tsai K.C., Experimental Investigation of Chevron Concentrically Braced Frames with Yielding Beams, *J. Struct. Eng. ASCE* 142, 12, 2016.
- [31] Kanyilmaz, A., Role of compression diagonals in concentrically braced frames in moderate seismicity: A full scale experimental study, *J. Constr. Steel Res.* 133, 1–18, 2017
- [32] Kanyilmaz, A., Castiglioni, C.A., Degée, H., Seismic behaviour of concentrically braced frames in the moderate seismicity context, Eurosteel 2017, September 13-15, Copenhagen, Denmark, 2017.
- [33] Naderpour, M.N., Aghakouchak, A.A., Izadi, A., Cyclic behavior of concentrically braced frames with built-up braces composed of channel sections, *Int. J. Steel Struct.*, 17-4: 1391-1403, 2017.
- [34] Ashwin Kumar, P.C., Sahoo, D.R., Fracture ductility of hollow circular and square steel braces under cyclic loading, *Thin-Walled Structures*, 130, 347-361, 2018.
- [35] Sabelli, R., Research on improving the design and analysis of earthquake resistant steel braced frames, Federal Emergency Management Agency and Earthquake Engineering Research Institute, 2001 (Report No. FEMA-EERI PF2000-9).
- [36] Kim, J., Choi, H., Response modification factors of chevron-braced frames, *Eng. Struct.* 27, 2, 285–300, 2005.
- [37] Uriz, P., Mahin, S., Towards earthquake resistant design of concentrically braced steel structures, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, 2008 (Report No. PEER-2008/08).
- [38] Khandelwal, K., El-Tawil, S., Sadek, F., Progressive collapse analysis of seismically designed steel braced frames, *J. Constr. Steel Res.* 65, 3, 699–708, 2009

- [39] Huang, Y., Mahin, S., Simulating the inelastic seismic behavior of steel braced frames including the effects of low cycle fatigue, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, 2010 (Report No. PEER-2010/104).
- [40] Hsiao, P.C., Lehman, D.E., Roeder, C.W., Evaluation of the response modification coefficient and collapse potential of special concentrically braced frames, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 42, 10, 1547–1564, 2013.
- [41] Shen, J., Wen, R., Akbas, B., Doran, B., Uckan, E., Seismic demand on brace-intersected beams in two-story X-braced frames, *Eng. Struct.* 76, 295–312, 2014.
- [42] J. Shen, R.Wen, B. Akbas, Mechanisms in two-story X-braced frames, *J. Constr. Steel Res.* 106, 258–277, 2015.
- [43] Kazemzadeh Azad, S., Topkaya, C., Astaneh-Asl, A., Seismic behavior of concentrically braced frames designed to AISC341 and EC8 provisions, *J. Constr. Steel Res.* 133, 383-404, 2017.
- [44] Kazemzadeh Azad, S., Topkaya, C., Bybordiani, M., Dynamic buckling of braces in concentrically braced frames, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 47, 613-633, 2018.
- [45] Faytarounia, F., Seker, O., Akbas, B., Shena, J., Seismic assessment of ductile concentrically braced frames with HSS bracings, *Eng. Struct.*, 191, 401-416, 2019.
- [46] Sen, A.D., Roeder, C.W., Lehman, D.E., Berman, J.W., Nonlinear modeling of concentrically braced frames, *J. Constr. Steel Res.* 157, 103-120, 2019.
- [47] OPENSEES, Version 2.0 User Command-Language Manual, 2009.
- [48] FEMA, Quantification of building seismic performance factors, FEMA-P695, Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2009.
- [49] ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI-7-16, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2016.
- [50] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇYTHYDE-2018: Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esasları, Ankara, 2018.
- [51] Fell, V.B., Kanvinde A.M., Deierlein G.G., Myers, A. T., Experimental investigation of inelastic cyclic buckling and fracture of steel braces, *J. Struct. Eng.* 135, USA, 2009.
- [52] McCormick, J., Aburano, H., Ikenaga, M. and Nakashima, M., Permissible Residual Deformation Levels For Building Structures Considering Both Safety And Human Elements, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.