

Merkezi çaprazlı çerçevelerde çapraz kesitlerinin sismik performansa etkisi

Effect of brace sections on seismic performance of concentrically braced frames

Gülhan İNCE^{1*} , Ayşe GİRGİN² 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye.

gulhandurmusince@gmail.com

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye.

ayse.girgin@yahoo.com

Geliş Tarihi/Received: 22.05.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 23.01.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.73772

Kabul Tarihi/Accepted: 06.04.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Merkezi çaprazlı çerçeveler (MÇÇ) yatay yüklerin taşınmasında etkin olarak kullanılan çerçeve türleridir. Bu çerçeveler yatay yükleri çapraz elemanları ile aktarırlar ve çaprazsız çerçevelere göre rijitlikleri, yük taşıma kapasiteleri oldukça yüksektir. Bu nedenle deprem bölgelerinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada; çapraz eleman kesitlerinin deprem etkisi altında davranışını incelemek amacıyla 3, 5 ve 8 katlı ters-V merkezi çaprazlı çerçeveler ele alınmıştır. Ele alınan çerçevelerin çapraz elemanları I, kutu ve boru kesit olmak üzere üç farklı kesit tipinde tasarlanmıştır. Üç farklı kat sayısı ve üç farklı çapraz eleman kesiti olmak üzere toplam 9 adet parametre kullanılmıştır. Buna göre 9 adet MÇÇ tasarlanmış ve statik itme analizleri ile zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları ile birlikte çerçevelerin deprem etkisi altındaki performansları değerlendirilmiştir. Buna göre en avantajlı çapraz eleman kesitlerinin sırasıyla boru, kutu ve I kesit olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Merkezi çaprazlı çelik çerçeve, Statik itme analizi, Deprem.

Abstract

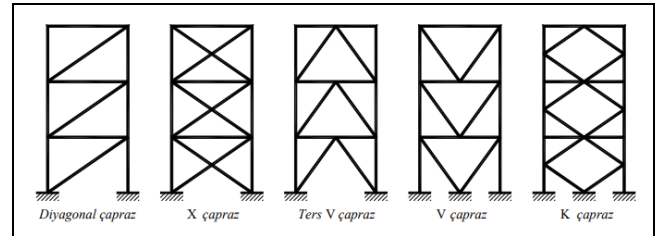
Concentrically braced frames (CBF) are the types of frames used effectively to carry lateral loads. These frames transfer horizontal loads with braces and their rigidity are quite high compared to moment resisting frames. Therefore, it is typically used in earthquake zones. In this study 3, 5 and 8 storey inverted-V braced frames are considered in order to examine the seismic behavior of brace sections. The brace members of the frames are designed using three different cross-section types as I, box and pipe sections. A total of nine parameters, three different storey and three different braces sections, were used. Accordingly, nine CBFs were designed and time history and static pushover analyzes were performed. seismic performances of the frames were evaluated with findings. It can be said that the most advantageous brace section type is pipe, box and I section, respectively.

Keywords: Concentrically braced frames, Static pushover analyzes, Earthquake.

1 Giriş

Çok katlı çelik yapılar dünyada olduğu gibi ülkemizde de kullanılmaktadır ve gün geçtikçe kullanım alanı artmaktadır [1]. Çelik malzeme ile teşkil edilen yapılarda sismik etkilere dayanıklı olarak tasarım yapılarak kullanım alanında büyük adımlar atılmıştır. Farklı kullanım türlerine göre değişen birçok çerçeve sistem mevcuttur. 1960'lı yıllara kadar mimari gereksinimlerden kaynaklı moment aktaran çerçeveler kullanılırken, son yıllarda merkezi ve dış merkez çaprazlı çelik çerçeveler kullanılmaktadır [2]. Merkezi çaprazlı çelik çerçevesi sistemler, ekonomik bir tasarım olan ve yüksek rijitliğe sahip olduğundan moment aktaran çerçevelerin yerine kullanılmaya başlanmıştır [3]. Deprem ve rüzgâr yüklerine karşı dayanım gösterebilmek için farklı yatay yükleri taşıyan sistemler araştırılıp geliştirilmiştir. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler, moment aktaran çerçeve sistemlere göre yatay yükler altında yanıl rijitliğin sağlanmasında önemli bir rol oynadığı için moment aktaran çerçeve uygulamalarında kullanım alanı bakımından azalma görülmüştür [4]. Birçok çapraz düzenlemesi ile çeşitlenen bu çerçeve tipleri kullanım alanlarına göre davranış bakımından önemli rol oynamaktadır

[5]. Merkezi çaprazlı çerçeve sistem çeşitleri, çapraz eleman kesitleri boru, kare, I profil, tek veya çift köşebent dikdörtgen kesitli profil, tek veya çift köşebent ve U profillerden oluşabilir ve çapraz eleman şekilleri iki katta geçen X, ters V ve tek katta geçen X merkezi çapraz olarak teşkil edilebilir [3]. Şekil 1'de farklı merkezi çaprazlı çerçeve sistemler görülmektedir.



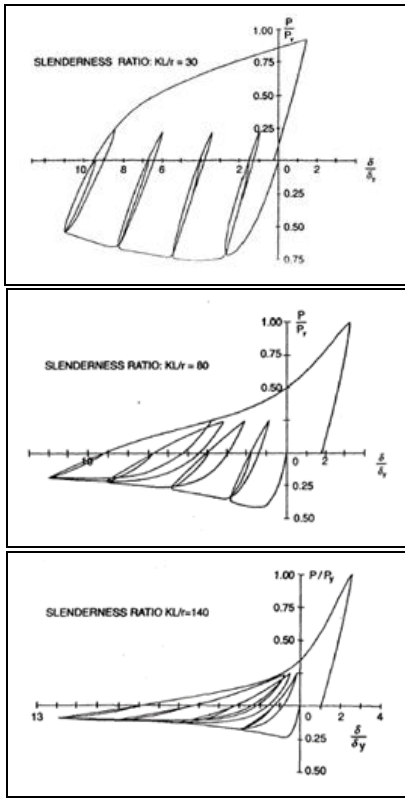
Şekil 1. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler [6].

Figure 1. Concentrically braced frames.

Çaprazlı sistemlerden beklenenler ise yeterli yatay rijitliği sağlayabilmesi ve deprem esnasında oluşan enerjiyi göçmeden istenilen elemanlar arasında plastik deformasyonlar gerçekleştirerek tüketebilmesidir. Bu yüzden yatay yükler altında seçilen perde sistemi önemli bir rol oynamaktadır [7].

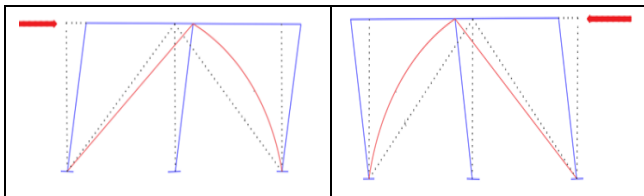
*Yazışılan yazar/Corresponding author

Ayrıca çelik ve betonarme malzemeden teşkil edilmiş olan yapılarda kullanılan perdeler kıyaslanacak olursa, çelik perdeler yani çapraz sistemler, betonarme perdelere kıyasla daha hafif ve daha yüksek sünek davranış gösterdiği için avantajlıdır [8]. Merkezi çaprazlı çerçevelerin sünek bir davranış sergileyebilmesi için çapraz elemanların tekrarlı inelastik yüklemeye sırasında dayanım ve rijitliklerini önemli ölçüde kaybetmeden büyük deformasyon yapabilme kabiliyeti göstermesi beklenmektedir [9]. Çapraz elemanın bu şekilde davranış sergileyebilmesinde; çapraz elemanın narinliği, mesnet koşulları ve kesitin yerel burkulma faktörlerine dikkat edilmesi gerekir. Merkezi çaprazlı sistemler en iyi performansı, çekme etkisi altında akma ve basınç etkisi altında ise inelastik burkulma ile gösterirler [10], [11]. Şekil 2 ve Şekil 3'te merkezi çaprazlı çerçevelerin inelastik davranışının görseli bulunmaktadır.



Şekil 2. Çaprazın inelastik çevrimsel davranışı [12].

Figure 2. Inelastic hysteretic behavior of brace.



Şekil 3. Merkezi çapraz sistemlerin deprem kuvvetleri altındaki elastik olmayan davranış.

Figure 3. Inelastic behavior of concentrically braced frames under seismic loads.

Merkezi çaprazlı sistemler Şekil 3'te gösterildiği gibi ilk durumda çekme çaprazı sünek davranış gösterip akarken, basınç etkisi altındaki çapraz sünek davranış gösteremez ve burkulur. Kolon ve kirişler ise elastik kalır.

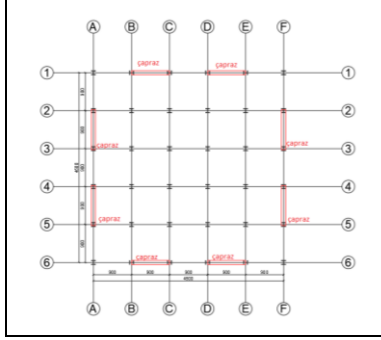
Bir çapraz elemanın enerji yutma kapasitesi, eksenel basınç etkisinde iken narinliğine bağlıdır. Narinliği azaldıkça elastik ötesi çevrimsel davranışları iyileşmeye yani enerji yutma kapasiteleri artmaya başlar [13]. Dezavantaj olarak görülebilecek özellikleri ise merkezi çaprazlı çerçevelerde düşük enerji sönümlenme kapasitesinden ve çevrimsel yüklemeye durumundan kaynaklı çaprazlarda oluşacak burkulma ve bağlantı elemanlarında oluşan gevrek kırılmadan kaynaklı olarak diğer çerçeve tiplerine göre sünekliği daha düşüktür [14]. Bu yüzden çapraz tasarımını uygun yapmak hayati önem teşkil etmektedir. Çapraz düzenleme şekilleri yapı davranışını etkilediği gibi, çapraz kesit tipleri de yapıdaki davranışta önemli rol oynamaktadır. TBDY-2018'e göre binanın belirlenen bir aksında merkezi çaprazlı çerçeve sistem elemanları, ilgili aks doğrultusundaki x ve y deprem yönünde etkilenen sismik kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i basınç karşılayacak şekilde düzenlenmektedir [15]. Deprem esnasında tersinir ve çevrimsel eksenel çekme ve basınç yükünü karşılayan çapraz elemanların performansları genel süneklik kapasitesini meydana getirmektedir [16]. Çaprazlarda burkulma oluşuktan sonra dengelenmemiş iç kuvvetler kolonlara aktarılmaktadır. Bu durum da kolonların plastik şekil değiştirme yapmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı ortak kolonlarda yani her iki yönde de çaprazlı çerçevelerde oluşturulan kolonlarda dengelenmemiş kuvvetlerden kaynaklı şekil değiştirmeler oluşmaktadır [15],[17]. Deprem ve rüzgâr yükleri altında taşıyıcı sistemin istenilen performansı sağlayabilmesi için belirli yönetmelikler esas alınarak tasarım kurallarına uyulması gerekmektedir. Ülkemizde, çelik çerçeve yapılar 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [18]'in yerine gelen ve hala yürürlükte olan 2018 yılında yayınlanmış Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) [6] ile Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE)-2018'e [19] uygun olarak tasarlanmaktadır.

Merkezi çaprazlı çerçevelerle yapılan çalışmalar genellikle çapraz düzenlemeleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sistemlerde deprem etkisi altında çapraz elemanların doğrusal olmayan davranış göstermesi böylece hasarın çapraz elemanlarda oluşması hedeflenmektedir. Çapraz elemanlar basınç etkisi altında burkulma ve çekme etkisi altında akma davranışı göstererek hasara uğrarlar. Burkulma deformasyonunun ortaya çıkışında enkesit şekli etkili olmaktadır. Bu çalışma ile çapraz eleman kesit tipine bağlı olarak çerçeve davranışının araştırılması hedeflenmiştir. Çalışmada, merkezi çaprazlı çerçevelerde çapraz eleman kesitlerinin bina performansına etkisini araştırmak amacıyla farklı çapraz eleman kesit tipine sahip 3, 5 ve 8 katlı süneklik düzeyi yüksek merkezi ters V çaprazlı çelik çerçeveler TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2018 dikkate alınarak tasarlanmıştır. Toplam dokuz adet süneklik düzeyi yüksek merkezi ters V çaprazlı çelik çerçevelerin doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda çelik çerçevelere ait, rijitlik, enerji tüketim kapasitesi, süneklik ve yanal yük taşıma kapasite değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında çapraz kesit tiplerinin, deprem etkisi altında çerçeve davranışına değerlendirilmiştir.

2 Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımı

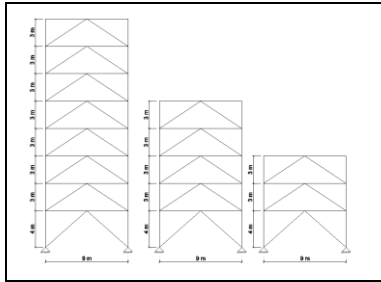
Çalışmaya esas alınan merkezi çaprazlı çerçeve, enlem ve boylam değerleri sırasıyla 37.7108-30.229872 olan Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İstiklal Yerleşkesi içinde konumlanan konut tipi bina ve yerel zemin sınıfı ZD olarak

kabul edilmiştir. Kolonlar ∓ 0.00 kotunda, temele sabit olarak mesnetlenmiştir. Kat yükseklikleri ise zemin kat 4 m, diğer tüm katlar 3 m olup bina toplam yüksekliği üç, beş ve sekiz katlı yapılar için sırasıyla 10, 16 ve 25 m olmaktadır. Çerçeve açıklıkları 9 m olup toplamda binanın X ve Y eksenindeki uzunluğu 45 m'dir. Merkezi çaprazlı çerçeveler süneklik düzeyi yüksek ve çapraz tipi ters-V olarak seçilmiştir. Plan ve kesit görüşleri Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. Modelin plan görünüşü.

Figure 4. Floor plan.



Şekil 5. Merkezi çaprazlı çerçevelerin cephe görünüşleri.

Figure 5. Elevation of concentrically braced frames.

Çerçeve modeller için parametrelerin kolay anlaşılabilir olması bakımından kodlama yapılmıştır. Yapılan kodlamada ilk rakam ve "K" harfi kaç katlı olduğunu, daha sonra gelen harf ise çapraz kesit tipini ifade etmektedir. Modeller için kodlamalar Tablo 1'de verilmiştir.

Çapraz sistemler X ve Y yönünde teşkil edilmiş olup analizler iki boyutlu çerçeve sistem üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle alınan zati ve hareketli yükler, çizgisel üniform yüklere dönüştürülüp her bir kat kirişi üzerine etkilmiştir. Ayrıca düşey yükler, tekil yüklere çevrilip her bir kat kolonuna aksel kuvvet olarak yüklenmiştir. Ana girişler, kolonlara, çaprazlar, ana girişlere her iki yönde mafsalı olarak tanımlanmıştır.

Farklı kat yüksekliğine ve çapraz kesitine sahip ters-V çapraz düzeninin kullanıldığı toplam 9 adet merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin doğrusal elastik yapısal analizleri SAP2000 V21 [20] programında modellenmiştir. İç kuvvetler elde edildikten sonra TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2018 esasları ile boyutlandırılmışlardır. Çapraz elemanlarda S275 çelik malzeme ve uygulamada yaygın olarak kullanılan I, kutu ve boru enkesitli profiller kullanılırken, kolon ve ana giriş kesitlerinde S355 çelik malzeme HEB kesitli profiller kullanılmıştır. Çerçeveler TBDY-2018 4.4.4'e göre tanımlanan iki yük birleşiminin göz önüne alınması ile boyutlandırılmıştır. Çalışmaya esas alınan bina modelleri için yerel zemin sınıfı, enlem ve boylam değerlerine göre hesaplanan harita ve tasarım spektral ivme katsayıları ve yatay elastik tasarım ivme

spektrumu değerleri DD-2 ve DD-3 deprem düzeylerine göre Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Model kodlaması.

Table 1. Names of models.

Kod	Açıklama	Kesit Tipi
8K-I	8 katlı, çapraz kesit tipi I olan model	
5K-I	5 katlı, çapraz kesit tipi I olan model	
3K-I	3 katlı, çapraz kesit tipi I olan model	
8K-K	8 katlı, çapraz kesit tipi kutu olan model	
5K-K	5 katlı, çapraz kesit tipi kutu olan model	
3K-K	3 katlı, çapraz kesit tipi kutu olan model	
8K-B	8 katlı, çapraz kesit tipi boru olan model	
5K-B	5 katlı, çapraz kesit tipi boru olan model	
3K-B	3 katlı, çapraz kesit tipi boru olan model	

Tablo 2. Spektral ivme katsayıları.

Table 2. Spectral acceleration coefficient.

	S_s	S_1	S_{DS}	SD_1	TA	TB
DD-2	1.012	0.234	1.108	0.499	0.090	0.450
DD-3	0.352	0.080	0.534	0.192	0.0720	0.360

TBDY, 2018'e göre BKS (bina kullanım sınıfı)=3 ve I (bina önem katsayısı) =1.0'dir. BKS=3 ve $0.75 \leq S_{DS} \leq 1.108$ değerleri dikkate alındığında tüm modeller için DTS (deprem tasarım sınıfı)=1'dir. Bina Yükseklik Sınıfı BYS 3 katlı binalar için 7, 5 katlı binalar için 6 ve 8 katlı binalar için ise 5 olarak elde edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemler için, R(taşıyıcı sistem davranış katsayısı)=5 ve D(dayanım fazlalığı katsayısı) =2'dir ve TBDY-2018 Tablo 4.1'de verilen $BYS \geq 4$ şartını modellerin tamamı sağlamaktadır. DTS=1 ve $BYS \geq 4$ koşulları sağlanması nedeniyle deprem yükü hesabında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Bina tasarımında dikkate alınan düşey yükler Tablo 3'te verilmiştir. Hareketli yük için kütle katılım katsayısı (n), 0.30 olarak hesaba katılmıştır [6].

Toplam eşdeğer deprem yükü $V_{TE}^{(X-Y)}$ [6]'de verilen Denklem 1 ile belirlenmiştir.

$$V_{TE}^{(X-Y)} = S_{aR} \cdot T_p^{(X-Y)} \geq 0.04 \cdot m_t \cdot I \cdot S_{DS} \cdot g \quad (1)$$

Tablo 3. Binaya etkiyen düşey yükler

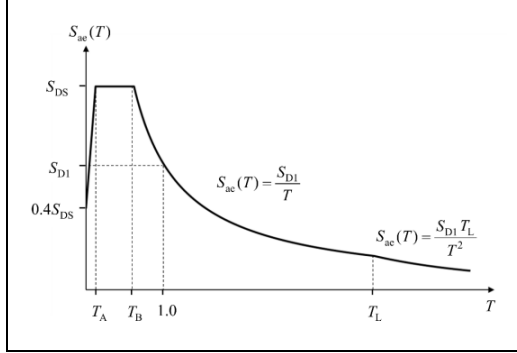
Table 3. Gravity loads on building.

Yüklemeler	Normal Kat Döşemesi (kN/m^2)	Çatı Döşemesi (kN/m^2)
Sabit Yük, G	4.9	4.3
Hareketli Yük, Q	2	1
Dış Duvar Yükü, G_d	3	-
Kar Yükü, S	-	1.3

Burada, $S_{aR} \cdot T_p^{(X-Y)}$ azaltılmış tasarım spektral ivmesi, T_p binanın hakim doğal titreşim periyodu, m_t binanın kütlesi, I bina önem katsayısı, S_{DS} kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı ve g yerçekimi ivmesidir. $S_{aR} T_p^{(X-Y)}$ aşağıdaki Denklem 2 ile elde edilir.

$$S_{aR}T_p^{(X)} = S_{ae}(T) / R_a(T) \quad (2)$$

Burada, $S_{ae}(T)$ yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g), $R_a(T)$ süneklik düzeyi ve periyoda bağlı olarak hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısıdır ve Denklem 3 ve 4 ile verilmiştir. $S_{ae}(T)$, Şekil 6'da gösterilen denklemler ile yerçekimi ivmesi (g) cinsinden hesaplanır.



Şekil 6. TBDY- 2018'e göre yatay elastik tasarım spektrumu.

Figure 6. Horizontal elastic spectrum (TSC 2018).

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad (T > T_B) \quad (3)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad (T \leq T_B) \quad (4)$$

Burada, R taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve D dayanım fazlalığı katsayısı TBDY- 2018 [6] Tablo 4.1'den alınır.

TBDY-2018 [6] 4.4.4'e göre tanımlanan iki yük birleşiminin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu yük birleşimleri aşağıdaki Denklem 5 ve 6 ile ifade edilir.

$$1.2G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (5)$$

$$0.9G + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (6)$$

Burada,

- G :Sabit yük,
- Q :Hareketli yük,
- S :Kar yükü,
- H :Yatay zemin itkisi etkisi,
- $E_d^{(H)}$:Tasarıma esas yatay deprem etkisi,
- $E_d^{(Z)}$:Düşey doğrultudaki depremin etkisidir ve Denklem 7 ile hesaplanmıştır.

$$(E_d^{(H)} = \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)} ; E_d^{(H)} = \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)}) \quad (7)$$

$E_d^{(Z)}$ değeri Denklem 8 ile elde edilmiş ve buna göre diğer tüm yük birleşimleri Denklem 8-12'de verilmiştir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3S_{DS}) G = (2/3)1.108 * G = 0.739G \quad (8)$$

$$1.4216G + Q + 0.2S \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)} \quad (9)$$

$$1.4216G + Q + 0.2S \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)} \quad (10)$$

$$0.6784G \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)} \quad (11)$$

$$0.6784 \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)} \quad (12)$$

Ayrıca, çerçeve sistemlerin tasarımı için doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır. TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2018 yük ve

dayanım katsayıları ile tasarım yöntemine göre dikkate alınan yük birleşimleri aşağıda verilmiştir.

- 1.4G
- 1.2G + 1.6Q + 0.5(Qr veya S veya R)
- 1.2G + 1.6(Qr veya S veya R) + (Q veya 0.8W)
- 1.2G + 1.6W + 1.0Q + 0.5(Qr veya S veya R)
- 1.2G + 1.0E + 1.0Q + 0.2S
- 0.9G + 1.6W
- 0.9G + 1.0E

Merkezi çaprazlı çerçevelerin ön boyutlandırması T_pA ampirik periyot değerine göre (Denklem 13) ve fiktif yük hesabı ile elde edilen periyot değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Bina periyodu TBDY-2018'e [6] göre ampirik periyodun 1.4 katından küçük olmalıdır. Aksi takdirde $1.4 \cdot T_pA$ değeri periyot olarak alınmalıdır. Buna göre çerçeve modelleri için eşdeğer deprem yükü hesabında kullanılan periyotlar Tablo 4'ün son sütununda görülmektedir.

$$T_pA = C_t H_N^{3/4} \quad (13)$$

Burada,

C_t çaprazlı çelik çerçeve binalar için 0.08, toplam yapı yüksekliği H_N ise 3, 5 ve 8 katlı binalar için sırasıyla 10 m, 16 m ve 25 m olarak alınmıştır.

Tablo 4. Çerçeve modeller için periyot tahkiki ve hesapta kullanılan periyotlar.

Table 4. Periods of frame models.

Model	T_pA (sn.)	$1.4T_pA$ (sn.)	T_{fiktif} (sn.)	Koşul	T(sn.)
8K-I	0.894	1.252	1.252		1.252
8K-K	0.894	1.252	1.284		1.252
8K-B	0.894	1.252	1.307		1.252
5K-I	0.640	0.896	0.789		0.789
5K-K	0.640	0.896	0.707	$T \leq 1.4$ T_pA	0.707
5K-B	0.640	0.896	0.753		0.753
3K-I	0.450	0.630	0.509		0.509
3K-K	0.450	0.630	0.604		0.604
3K-B	0.450	0.630	0.620		0.620

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükünü belirlemek için TBDY-2018'e [6] göre $\Delta F_{NE}^{(X)}$ (Denklem 14) hesaplanır. Denklem 15'e göre katlara deprem yükü dağıtılmış ve Denklem 16'ya göre de toplam eşdeğer deprem yükü hesaplanmıştır.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)} \quad (14)$$

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i} \quad (15)$$

$$V_{tE}^{(1)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum F_{iE}^{(X)} \quad (16)$$

Tablo 5'te modellere etki eden toplam taban kesme kuvvetleri mevcuttur.

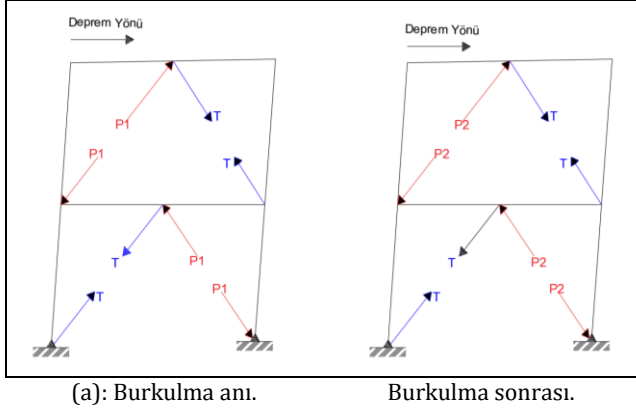
Süneklik düzeyi yüksek, basınç etkisindeki merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde elemanların tasarımı yapılırken ÇYTHYE-2018 [19] ve TBDY-2018 [6] dikkate alınmıştır. Sistem süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler olarak tasarlanmıştır. Kolon, kiriş ve çapraz birleşimlerinin tamamının mafsallı olduğu düşünülmüştür.

Tablo 5. Toplam eş değer deprem taban kesme kuvveti.

Table 5. Total equivalent seismic load.

Model	Toplam ağırlık (kN)	T (sn.)	$S_{ae}(T)$	$R_a(T)$	$\Delta F_{NE}^{(X)}$ (kN)	$V_{TE}^{(X)}$ (kN)
8K-I	44034	1.252	0.398	5	210.5	3509
8K-K	44034	1.252	0.398	5	210.5	3509
8K-B	44034	1.252	0.398	5	210.5	3509
5K-I	27327	0.789	0.243	5	129.6	3458
5K-K	27327	0.707	0.706	5	144.6	3856
5K-B	27327	0.753	0.662	5	135.8	3621
3K-I	16190	0.509	0.980	5	71.4	3174
3K-K	16190	0.604	0.826	5	60.2	2675
3K-B	16190	0.620	0.805	5	58.7	2607

Çaprazlar yön değiştiren büyük yatay etkilerde basınç etkisi altında burkularak ve çekme etkisi altında akarak enerjinin tüketilmesini sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Çaprazların doğrusal olmayan davranışı sonucu çıkan dengelenmemiş kuvvetler ile kolonlar ve kirişler boyutlandırılmıştır. TBDY-2018'de [6] tasarımda göz önüne alınması gereken mekanizma durumları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Çapraz elemanların aksenal basınç etkisi altında mekanizma durumu.

Figure 7. Mechanism of braces under compression.

Mekanizma durumunda (burkulma anında ve burkulmadan sonra) çapraz elemanlarda meydana gelen iç kuvvetler Denklem 17-19'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 : Karakteristik akma gerilmesi,
- A_g : Kayıpsız enkesit alanı,
- F_{cre} : Kritik burkulma gerilmesidir.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kiriş, kolon ve çapraz elemanları boyutlandırılırken, TBDY-2018'de başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranları için verilen λ_{hd} sınır değerleri de dikkate alınmıştır. TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2018'e göre tasarlanan 3, 5 ve 8 katlı merkezi çaprazlı çerçeve modellerine ait eleman kesitleri ve çapraz eleman narinlikleri Tablo 6-8'de verilmiştir. Şekil 8-16'da ise elemanların kapasite oranları verilmiştir.

Tablo 6. 3 katlı farklı kesitli çaprazları olan modeller için eleman kesitleri.

Table 6. Sections of three-story frames.

Kat	I-Çapraz	Kutu çapraz	Boru Çapraz	Çaprazlı Kiriş	Çaprazsız Kiriş	İç Kolon	Dış Kolon
3	HE180B (118.3)	T160X160X12.5 (89.5)	P219.1X10 (73.1)	HE400B	HE500B	HE400B	HE360B
2	HE200B (106.9)	T160X160X12.5 (89.5)	P244.5X10 (65.2)	HE400B	HE500B	H400X237	HE360B
1	HE240B (99.03)	T180X180X12.5 (87.8)	P244.5X10 (72.5)	HE500B	HE500B	H400X237	HE360B

Tablo 7. 5 katlı farklı kesitli çaprazları olan modeller için eleman kesitleri

Table 7. Sections of five story frames

Kat	I-Çapraz	Kutu Çapraz	Boru Çapraz	Çaprazlı Kiriş	Çaprazsız Kiriş	İç Kolon	Dış Kolon
5	HE180B (118.3)	T180X180X12.5 (78.8)	P244.5X10 (65.2)	HE400B	HE500B	HE400B	HE360B
4	HE200B (106.9)	T180X180X12.5 (78.8)	P244.5X10 (65.2)	HE400B	HE500B	H400x237	HE360B
3	HE220B (96.7)	T180X180X12.5 (78.8)	P244.5X10 (65.2)	HE500B	HE500B	H400x237	HE360B
2	HE220B (96.7)	T200X200X14.2 (71.1)	P273X12 (58.5)	HE500B	HE500B	H400x288	HE400B
1	HE240B (99.03)	T200X200X14.2 (79.1)	P273X12 (65.2)	HE550B	HE500B	H400x314	HE400B

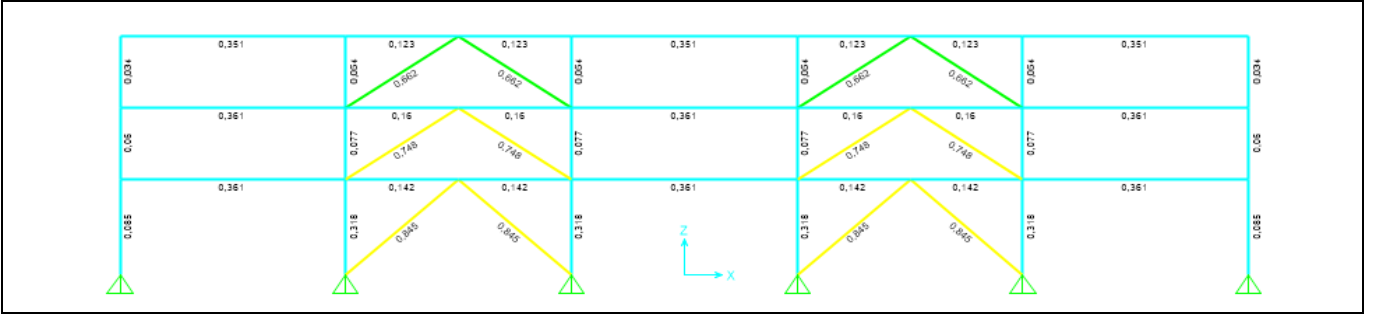
Tablo 8. 8 katlı farklı kesitli çaprazları olan modeller için eleman kesitleri.

Table 8. Sections of eight story frames.

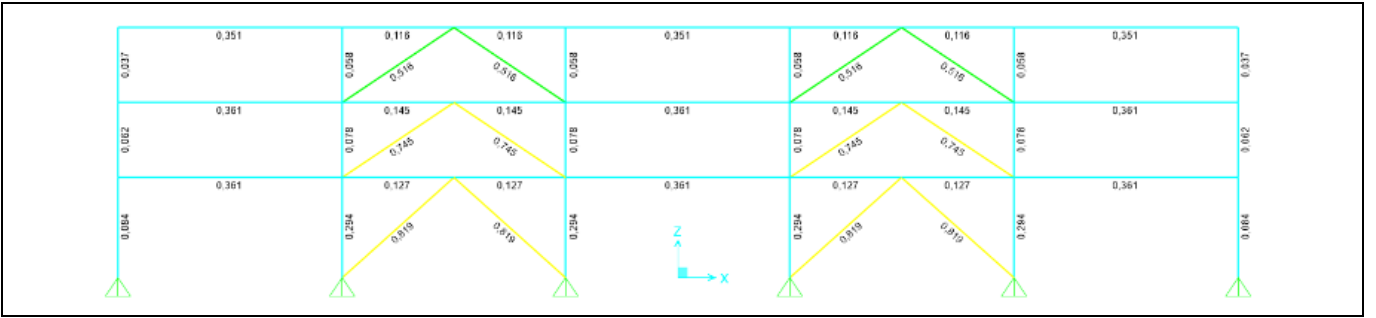
Kat	I-Çapraz	Kutu çapraz	Boru Çapraz	Çaprazlı Kiriş	Çaprazsız Kiriş	İç Kolon	Dış kolon
8	HE220B (96.7)	T180X180X12.5 (78.8)	P244.5X10 (65.2)	HE400B	HE500B	HE400B	HE360B
7	HE240B (89)	T180X180X12.5 (78.8)	P244.5X10 (65.2)	HE400B	HE500B	HE400B	HE360B
6	HE240B (89)	T180X180X12.5 (78.8)	P273X12 (58.5)	HE500B	HE500B	H400X237	HE360B
5	HE240B (89)	T200X200X14.2 (71.1)	P273X12 (58.5)	HE500B	HE500B	H400X237	HE400B
4	HE240B (89)	T200X200X14.2 (71.1)	P273X12 (58.5)	HE550B	HE500B	H400X288	HE400B
3	HE240B (89)	T200X200X14.2 (71.1)	P273X12 (58.5)	HE550B	HE500B	H400X340	HE400B
2	HE260B (81.9)	T200X200X14.2 (71.1)	P273X12 (58.5)	HE600B	HE500B	H400X422	HE450B
1	HE260B (91.2)	T200X200X14.2 (79.1)	P273X12 (65.2)	HE600B	HE500B	H400X422	HE450B

3 Doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz

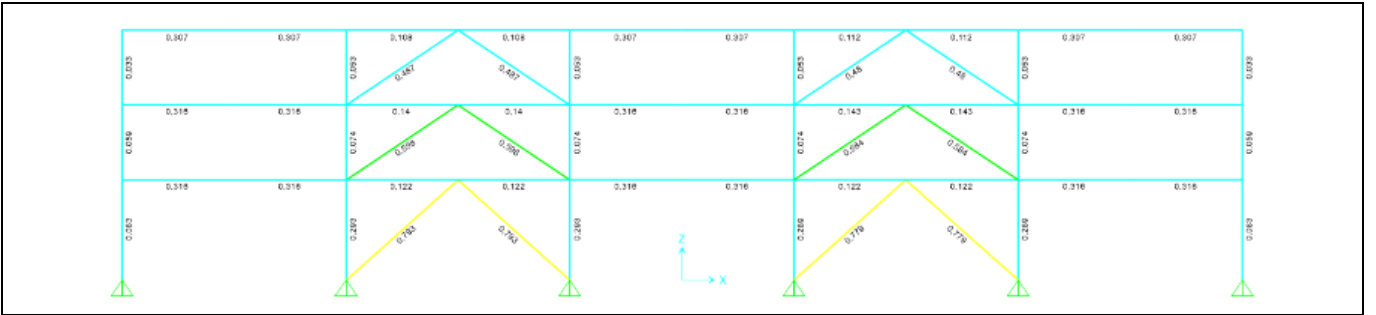
Çalışmaya esas alınan çerçeve modellerin doğrusal olmayan statik ve zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan itme analizi yatay yük etkisi altındaki yapıların performansını belirlemeye yönelik bir analiz yöntemidir. Yer değiştirme esaslı doğrusal olmayan yöntemler yapıların davranışının değerlendirilmesinde yönetmeliklerde ele alınmıştır. Bu yönetmelikler TBDY-2018 [6], ATC40 [21], FEMA 356 [22] ve FEMA 440 [23] olarak sıralanabilir. Ayrıca literatürde pek çok çalışmada doğrusal olmayan itme analizi yöntemi kullanılmaktadır [25]-[28]. Bu çalışmada, tasarlanan binaların sismik performanslarını karşılaştırmak için SAP2000 V21 [20] programında doğrusal olmayan analiz yöntemleri uygulanmıştır.



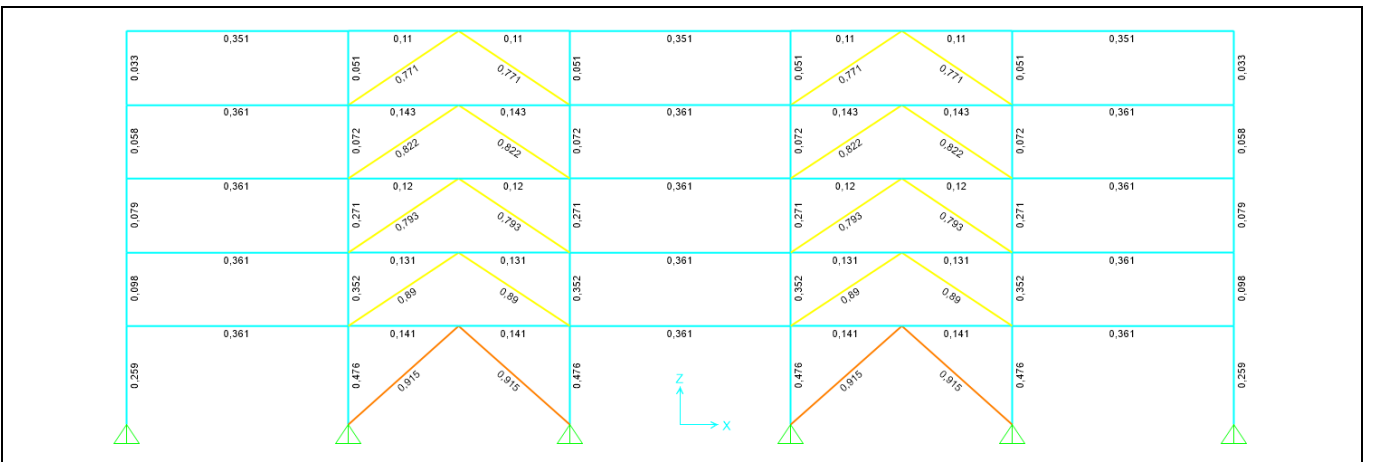
Şekil 8. 3 katlı I çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 8. Capacity ratios of 3-storey CBF with I brace.



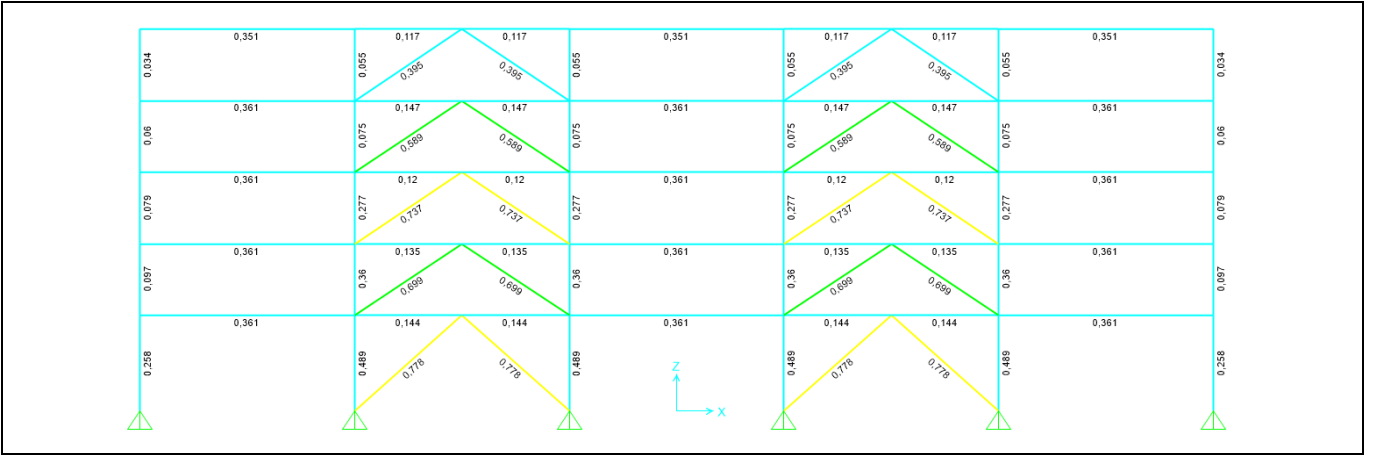
Şekil 9. 3 katlı kutu çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 9. Capacity ratios of 3-storey CBF with box brace.



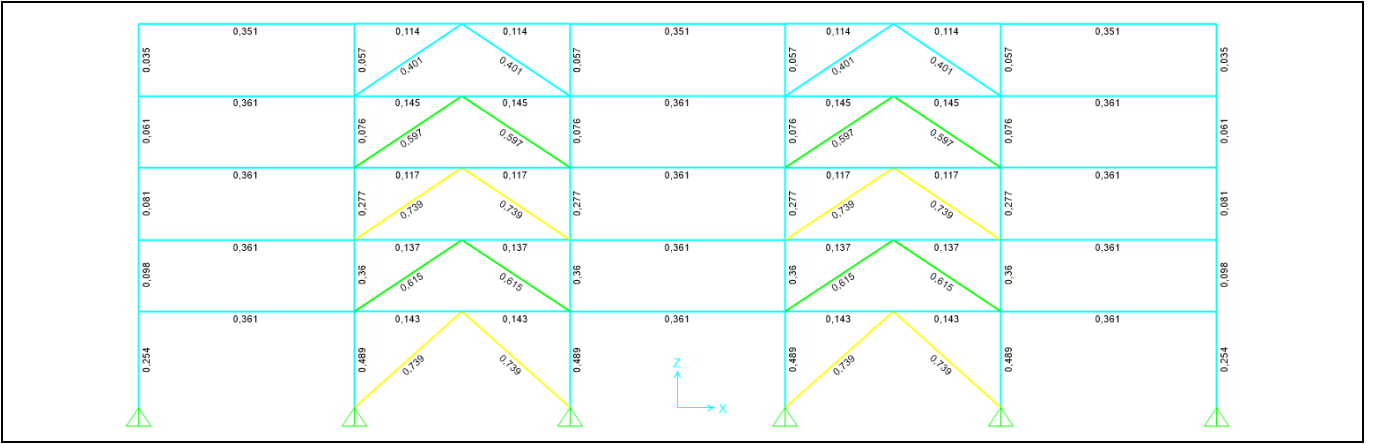
Şekil 10. 3 katlı boru çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 10. Capacity ratios of 3-storey CBF with pipe brace.



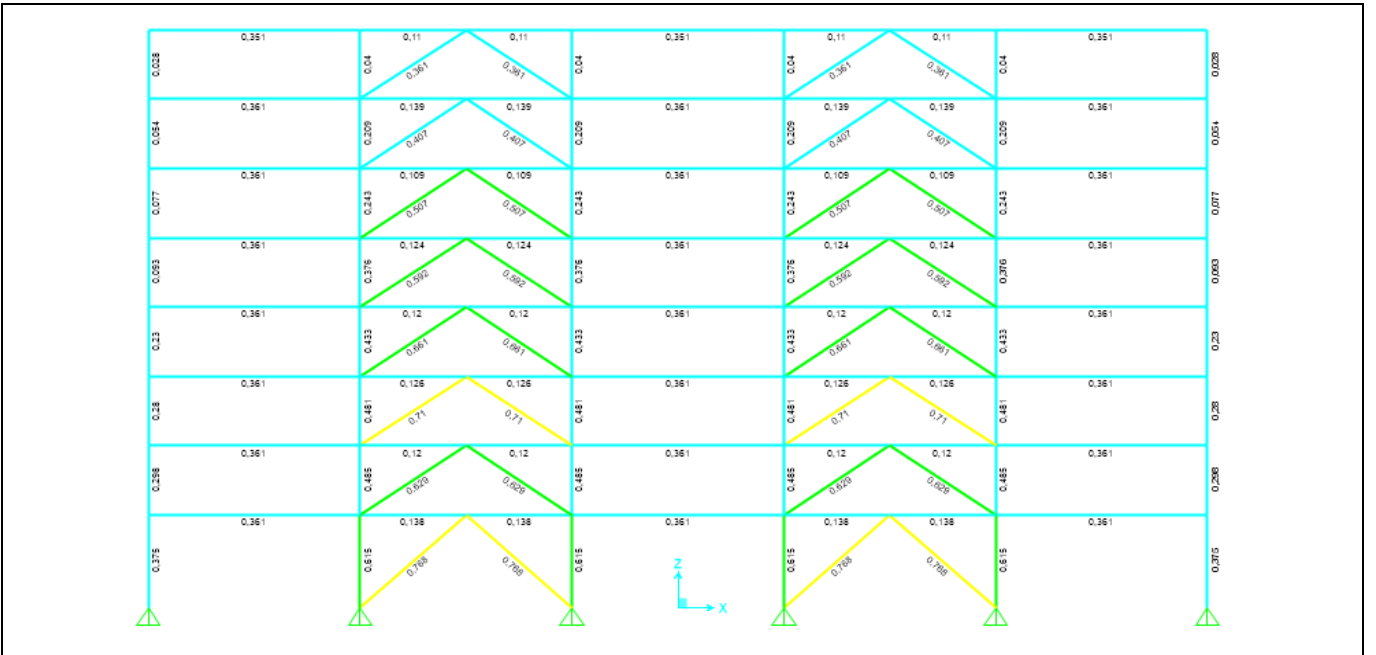
Şekil 11. 5 katlı I çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 11. Capacity ratios of 5-storey CBF with I brace.



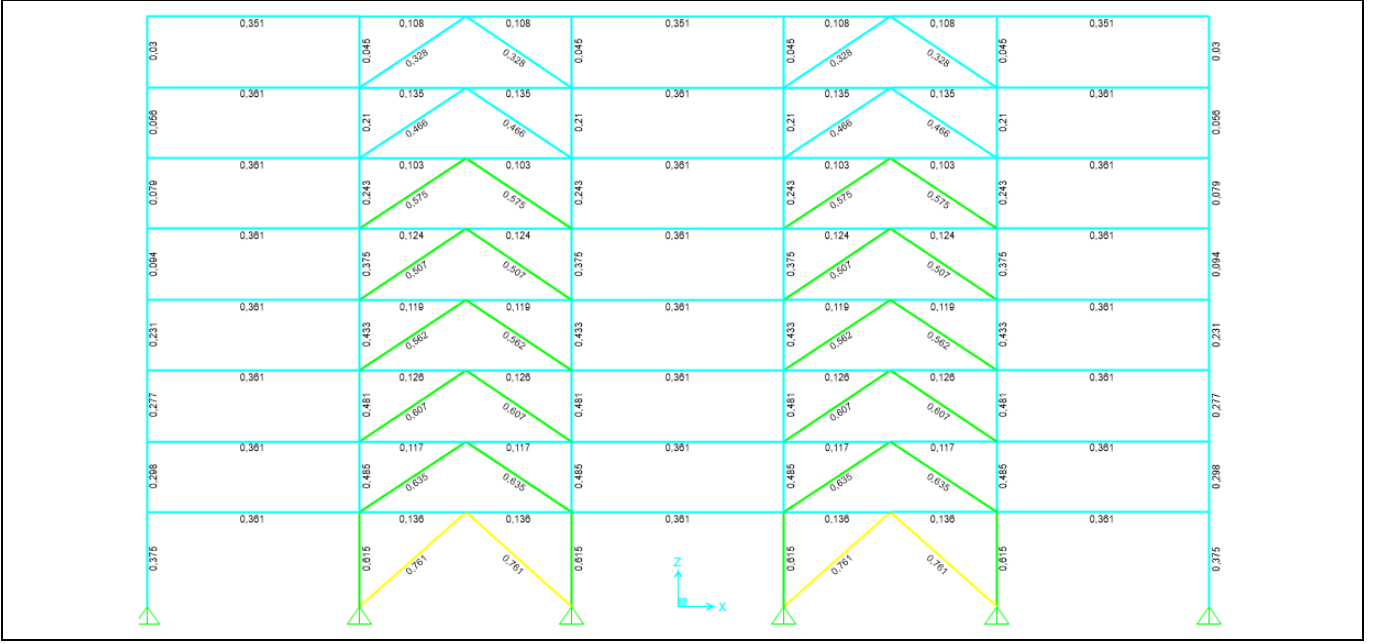
Şekil 12. 5 katlı kutu çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 12. Capacity ratios of 5-storey CBF with box brace.



Şekil 13. 5 katlı boru çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 13. Capacity ratios of 5-storey CBF with pipe brace.

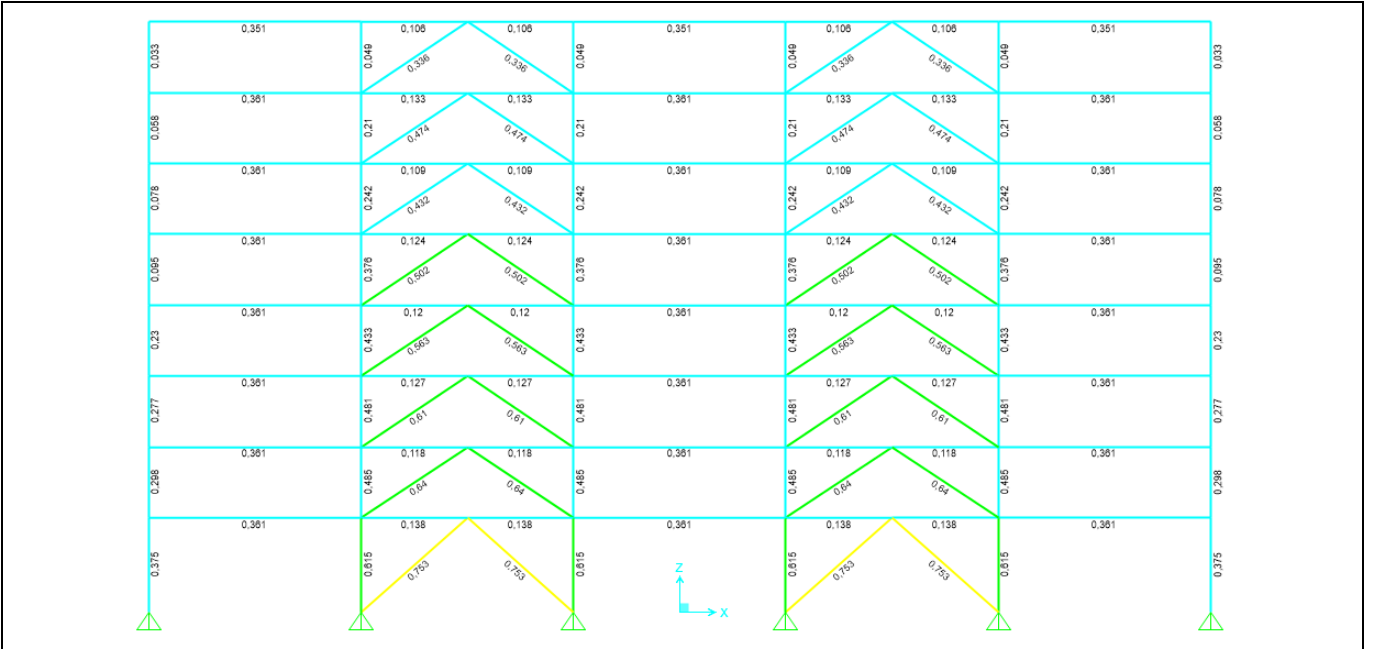


Şekil 14. 8 katlı I çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.
Figure 14. Capacity ratios of 8-storey CBF with I brace.



Şekil 15. 8 katlı kutu çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.

Figure 15. Capacity ratios of 8-storey CBF with box brace.



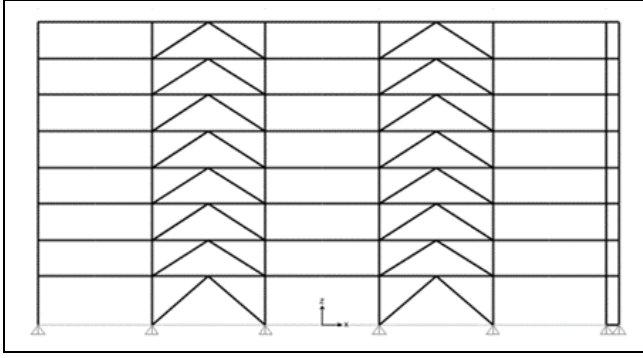
Şekil 16. 8 katlı boru çapraz kesitli MÇÇ kapasite oranları.

Figure 16. Capacity ratios of 8-storey CBF with pipe brace.

Öncelikle tasarımı yapılan çerçeve modellerin kolon, kiriş ve çapraz elemanları için plastik mafsalları tanımlamaları yapılmıştır. Kolon uçlarında P-M3, kiriş uçlarında M3 ve çapraz eleman ortasında P mafsalları tanımlanmıştır. Şekil 17'de gösterilen sınırları TBDY-2018 [6] 5C.1'e göre tanımlanmıştır. Sonrasında eşdeğer statik deprem kuvvetleri dikkate alınarak itme analizi tanımlanması yapılmıştır ve yanal yüklerin adım adım artırılması ile elemanlarda meydana gelen rijitlik ile dayanım değişimini inelastik davranış özellikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yapının taban kesme kuvveti ile tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi veren kapasite eğrisi elde

edilmiştir. Çerçeve modellerinin doğrusal olmayan analizlerinde P- Δ etkilerini göz önüne alabilmek için düşey yük taşıyıcı (DYT) kolonlar tanımlanmıştır [29]. DYT kolonlar her kat seviyesinde, o kattaki toplam kat ağırlıklarını katta temsil etmektedir. Şekil 17'de DYT kolonlarının görseli verilmiştir.

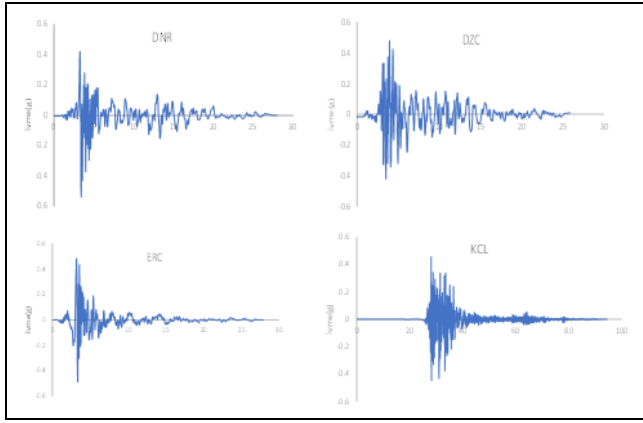
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz (Time History), yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde en etkin yöntemlerden biridir. Zaman tanım alanında analizi ile yapıya etki ettirilen deprem ivmesi neticesinde tüm elastik ve plastik şekil değiştirmeler ve iç kuvvetler belirlenebilmektedir.



Şekil 17. DYT kolonların görünümü ve konumu.

Figure 17. Gravity columns on frames.

Bu çalışmada ülkemizde meydana gelen dört farklı deprem kaydı alınmış ve çerçeve modellere etkililerek iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilmiştir. Seçilen deprem hareketlerinin özellikleri ve ivme-zaman kayıtları Tablo 9 ve Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Seçilen yer hareketleri için ivme zaman kayıtları.

Figure 18. Acceleration graphics of selected records.

Tablo 9. Seçilen deprem hareketleri ve özellikleri.

Table 9. Properties of selected records.

Yer	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	MW	PGA (cm/sn ²)
Dinar (Afyon)	38.0599	30.15373	5	6.4	272.32
Düzce (Bolu)	40.84364	31.14888	10.4	7.1	803.83
Erzincan (Otlukbeli)	39.75151	39.48662	22.6	6.6	479.54
Kocaeli (Gölcük)	40.7665	29.91721	17	7.6	391.35

4 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Statik itme analizleri yapılan merkezi çaprazlı çerçeveler için hedef deplasmanlar hesaplanmış ve Tablo 10'da verilmiştir.

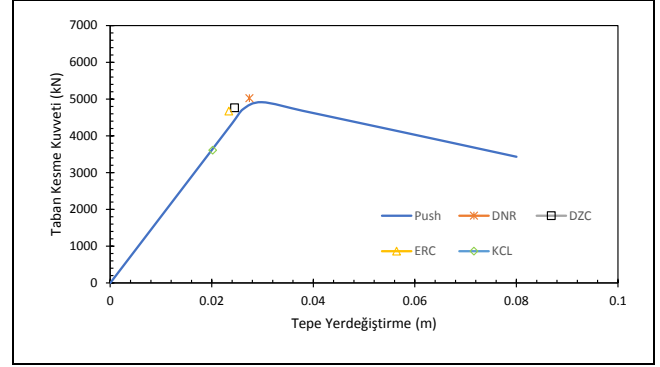
Tablo 10. Hedef deplasmanlar (m).

Table 10. Target displacements.

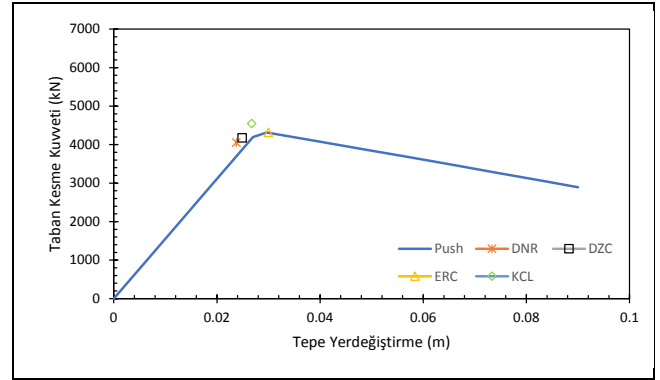
Kat	I çaprazlı	Kutu Çaprazlı	Boru Çaprazlı
3	0.08	0.09	0.09
5	0.13	0.14	0.15
8	0.22	0.23	0.24

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin doğrusal olmayan statik analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri sonucu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kayıtlarından elde edilen en büyük tepe yer

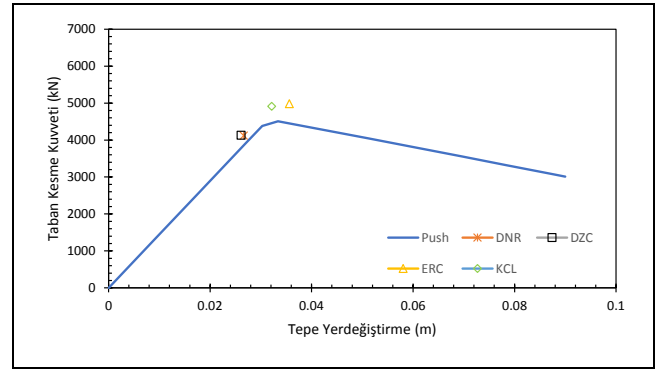
değiştirmesi ve en büyük taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 19-Şekil 21'de görüldüğü gibi statik itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ve deprem kayıtlarıyla elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme değerleri örtüşmektedir.



(a): I çapraz kesitli (I cross-section).



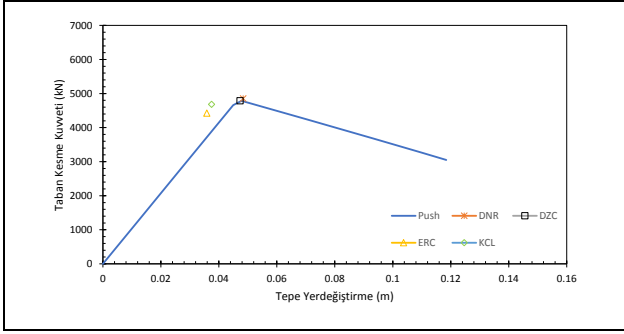
(b): Kutu çapraz kesitli (box cross-section).



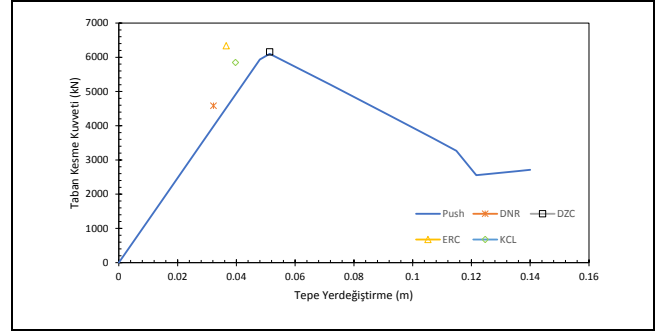
(c): Boru çapraz kesitli (pipe cross-section).

Şekil 19. 3 katlı model taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve kapasite eğrisi.

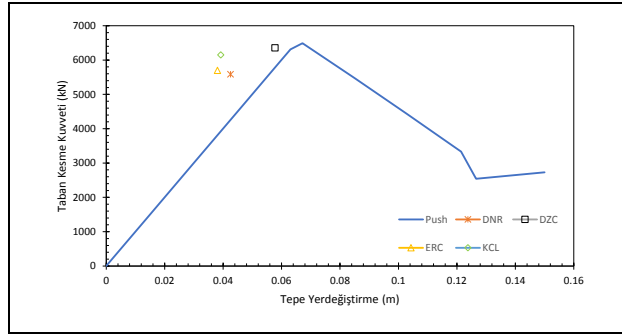
Figure 19. Base shear-roof displacement and capacity curve of 3 storey CBF.



(a): I Çapraz kesitli (*I cross-section*).



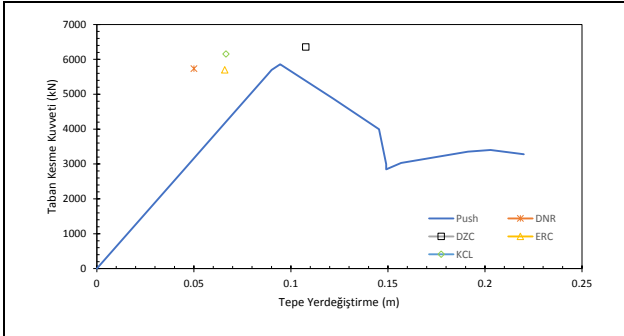
(b): Kutu çapraz kesitli (*box cross-section*).



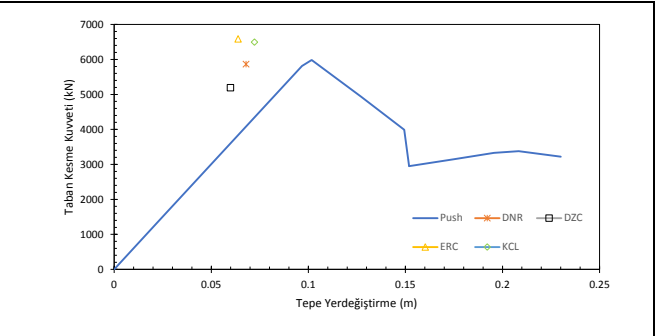
(c): Boru çapraz kesitli (*pipe cross-section*).

Şekil 20. 5 katlı model taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve kapasite eğrisi.

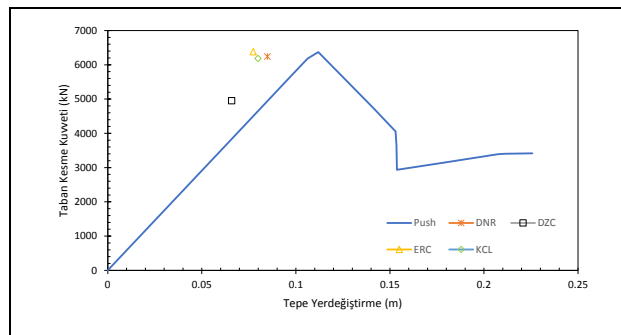
Figure 20. Base shear-roof displacement and capacity curve of 5 storey CBF.



(a): I Çapraz kesitli (*I cross-section*).



(b): Kutu çapraz kesitli (*box cross-section*).

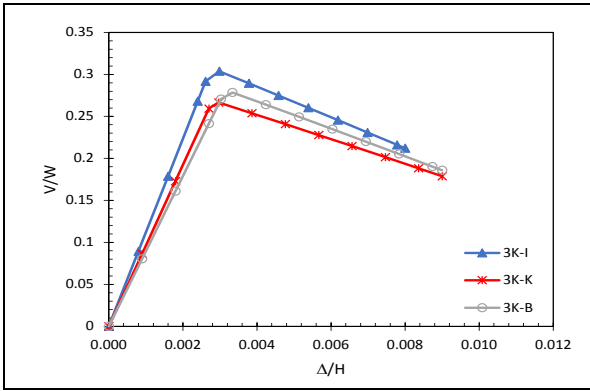


(c): Boru çapraz kesitli (*I cross-section*).

Şekil 21. 8 katlı model taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ve kapasite eğrisi.

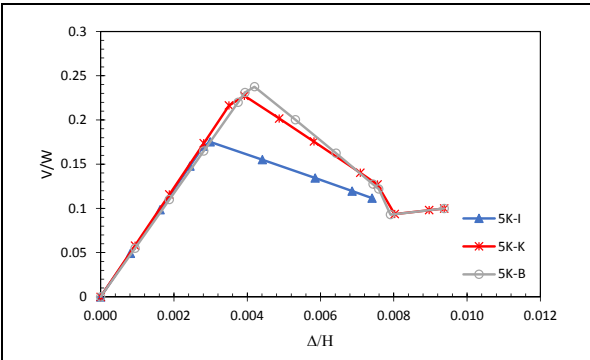
Figure 21. Base shear-roof displacement and capacity curve of 8 storey CBF.

3, 5 ve 8 katlı çerçeveler hedef deplasman değerlerine kadar itilmiştir. Elde edilen kapasite eğrileri hem kat sayılarına hem de kesit tiplerine göre Şekil 22-Şekil 27'de verilmiştir. Eğrilerde görüldüğü gibi çapraz elemanların burkulması ile beklendiği gibi dayanımda ani düşüş meydana gelmektedir. 3 katlı çerçevelerde çaprazın burkulmasından sonra dayanım düşmektedir. 5 ve 8 katlı çerçevelerde genel olarak çapraz elemanın burkulmasından sonra yükün yeniden dağılımı ile dayanımda bir miktar artış görülmektedir. Mafsallaşma durumları incelendiğinde, genellikle tüm çerçevelerde tepe deplasmanı hedef deplasman seviyesine ulaştığı, bununla birlikte tüm çerçevelerde alt kat çapraz elemanlarının "göçme öncesi" hasar seviyesinin ilerisine geçerek, "göçme" durumuna ulaştığı görülmektedir.



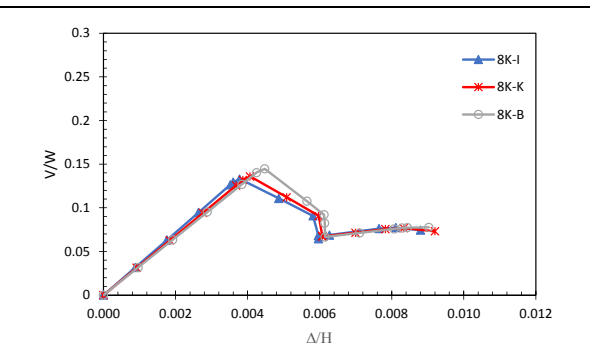
Şekil 22. 3 katlı modellerin kapasite eğrileri.

Figure 22. Capacity curve of 3 storey CBF.



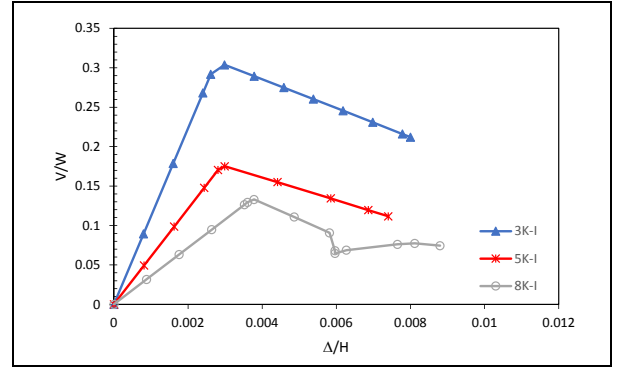
Şekil 23. 5 katlı modellerin kapasite eğrileri.

Figure 23. Capacity curve of 5 storey CBF.



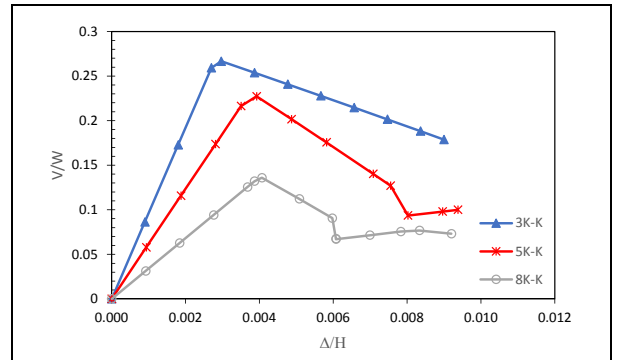
Şekil 24. 8 katlı modellerin kapasite eğrileri.

Figure 24. Capacity curve of 8 storey CBF.



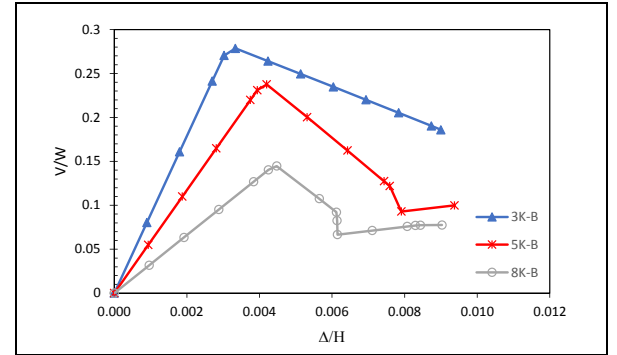
Şekil 25. I kesitli MÇÇ modeller için kapasite eğrileri.

Figure 25. Capacity curve of CBF with I brace.



Şekil 26. Kutu kesitli MÇÇ modeller için kapasite eğrileri.

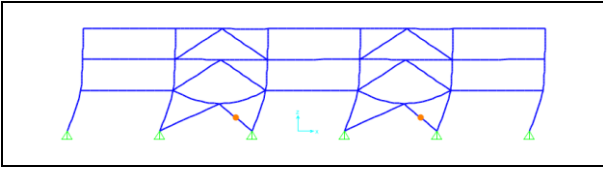
Figure 26. Capacity curve of CBF with box brace.



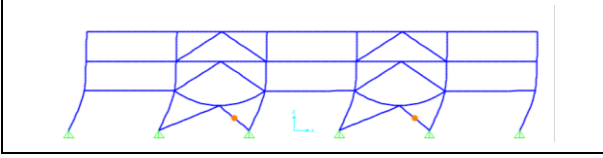
Şekil 27. Boru kesitli MÇÇ modeller için kapasite eğrileri.

Figure 27. Capacity curve of CBF with pipe brace.

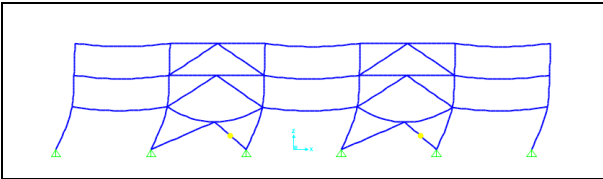
5 katlı çerçevelerde ayrıca boru ve kutu çaprazlı çerçevelerde 1. Kat kirişleri "kontrollü hasar" seviyesine ulaşmıştır. I çaprazlı çerçevede 1. kat kiriş ve 2. kat çaprazı "sınırlı hasar" seviyesindedir. 8 katlı çerçevelerin tamamında 1. ve 2. kat çaprazları "göçme" durumuna ulaşırken, 1. kat kirişleri "kontrollü hasar" seviyesindedir. 8 katlı çerçevelerin tümünde benzer mafsallaşma durumuna ulaşması, tüm elemanların kapasite oranlarının birbirine oldukça yakın olması ile örtüşmektedir. Merkezi çaprazlı çerçevelerin hasar durumları Şekil 28-Şekil 36'da verilmiştir.



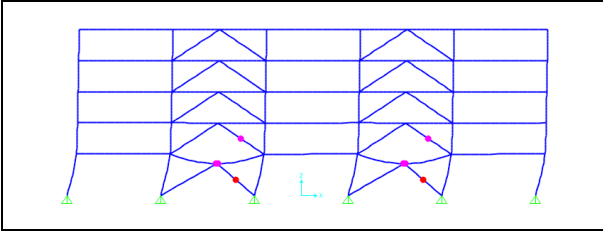
Şekil 28. 3 katlı I çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 28. Hinge mechanism of 3 storey CBF with I brace.



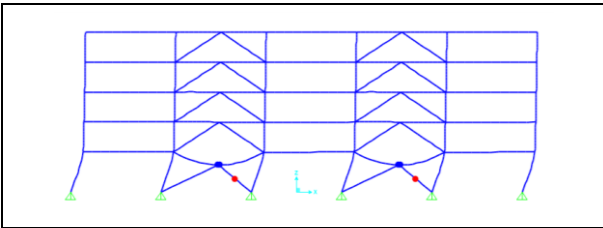
Şekil 29. 3 katlı kutu çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 29. Hinge mechanism of 3 storey CBF with box brace.



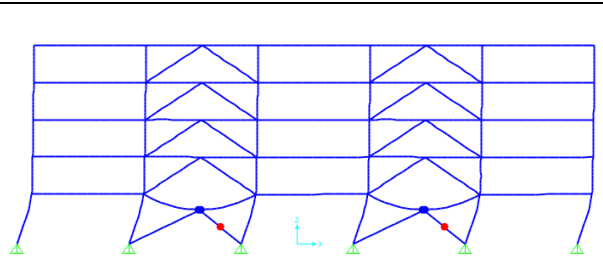
Şekil 30. 3 katlı boru çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 30. Hinge mechanism of 3 storey CBF with pipe brace.



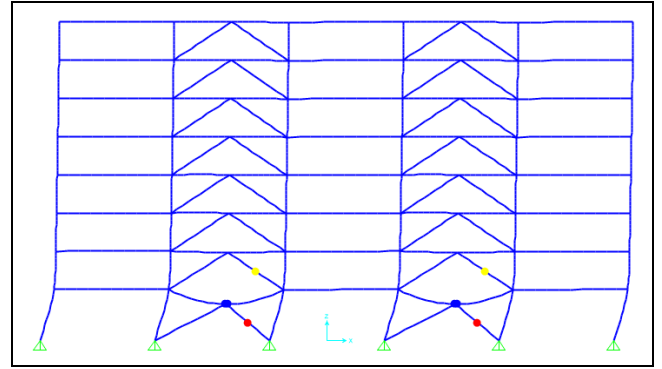
Şekil 31. 5 katlı I çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 31. Hinge mechanism of 5 storey CBF with I brace.



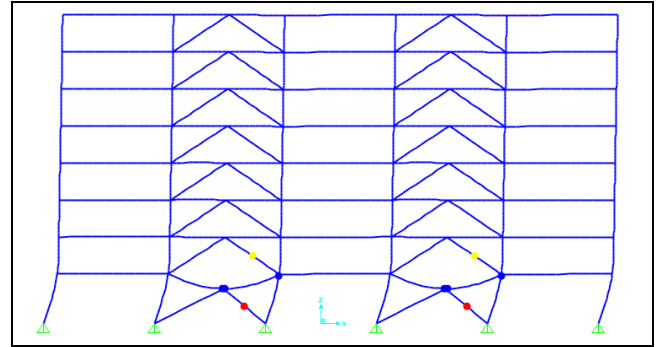
Şekil 32. 5 katlı kutu çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 32. Hinge mechanism of 5 storey CBF with box brace.



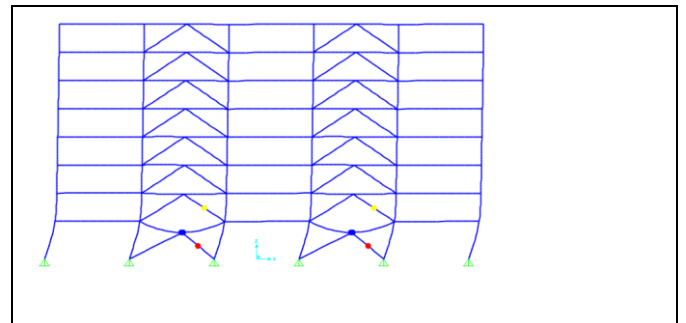
Şekil 33. 5 katlı boru çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 33. Hinge mechanism of 5 storey CBF with pipe brace.



Şekil 34. 8 katlı I çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 34. Hinge mechanism of 8 storey CBF with I brace.

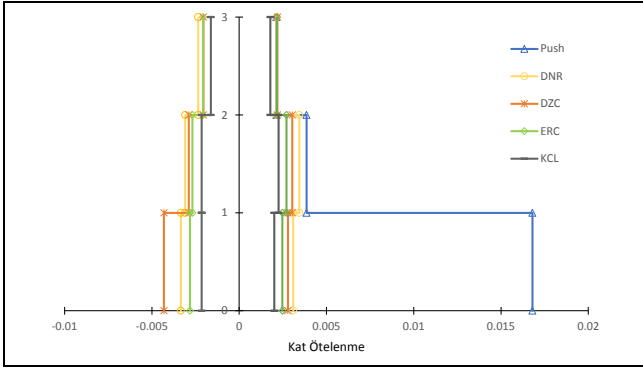


Şekil 35. 8 katlı kutu çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 35. Hinge mechanism of 5 storey CBF with box brace.

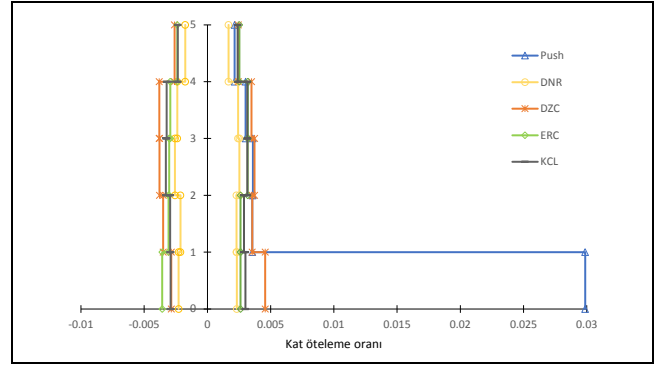


Şekil 36. 8 katlı boru çaprazlı çerçevenin mafsallaşma durumu.
Figure 36. Hinge mechanism of 8 storey CBF with pipe brace.

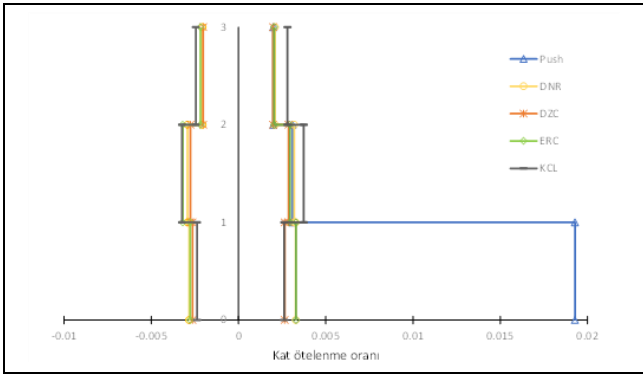
Doğrusal olmayan statik ve zaman tanım alanında analiz edilen çerçevelerin kat ötelenme oranları hesaplanmış Şekil 37-45'te verilmiştir. Kat ötelenme oranları incelendiğinde 3 katlı çerçevelerde; farklı deprem durumları için maksimum kat öteleme oranları, I kesitli model için % 0.4, kutu kesitli modelde %0.5 ve boru kesitli modelde ise % 0.42 olmuştur. İtme analizi sonucu maksimum kat öteleme oranı %2 civarındadır. 5 katlı çerçevelerde; farklı deprem durumları için maksimum kat öteleme oranları, I çaprazlı model için %0.4, kutu ve boru çaprazlı model için %0.45 olmuştur. İtme analizi sonucu maksimum kat öteleme oranı %3 civarındadır. 8 katlı çerçevelerde; farklı deprem durumları için maksimum kat öteleme oranları, I kesitli model için %0.6, kutu ve boru çaprazlı çerçevelerde % 0.45 olmuştur. İtme analizi sonucu maksimum kat öteleme oranı %4 civarındadır. Zaman tanım alanında analiz sonucu ötelenme değerlerinin statik itme analizinden sonucu elde edilen değerinden daha küçük çıkmasının nedeni tekrarlı yüklemeye etkisi olabileceği düşünülmektedir.



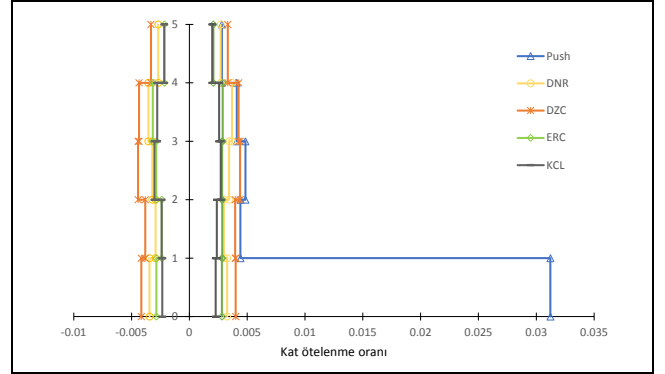
Şekil 37. 3 katlı I kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 37. Story drift ratio of 3 storey CBF with 1 brace.



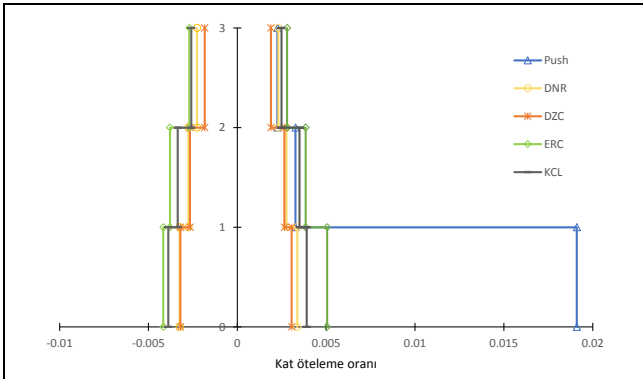
Şekil 41. 5 katlı kutu kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 41. Story drift ratio of 5 storey CBF with box brace.



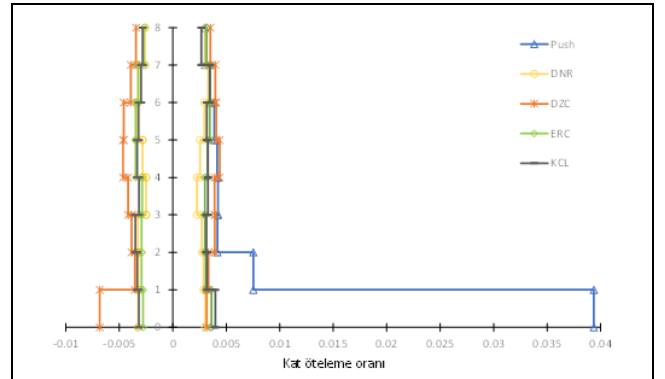
Şekil 38. 3 katlı kutu kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 38. Story drift ratio of 3 storey CBF with box brace.



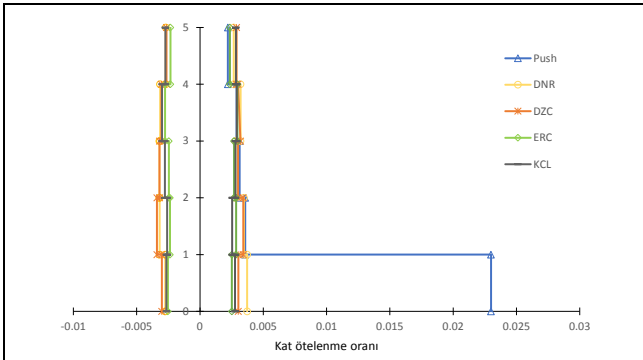
Şekil 42. 5 katlı boru kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 42. Story drift ratio of 5 storey CBF with pipe brace.



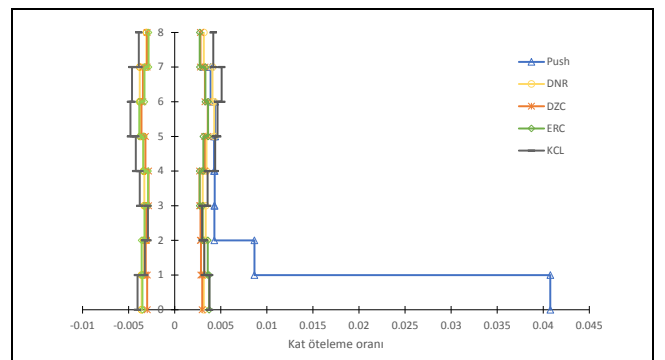
Şekil 39. 3 katlı boru kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 39. Story drift ratio of 3 storey CBF with pipe brace.



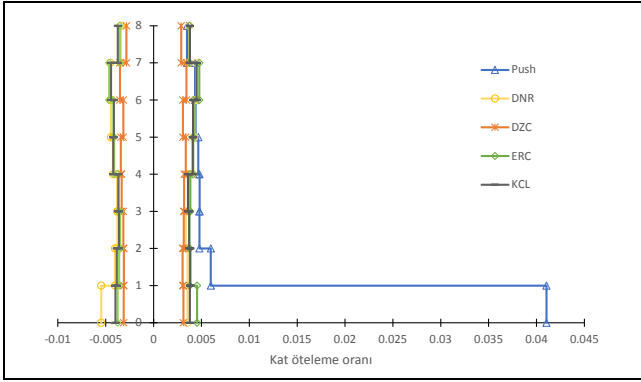
Şekil 43. 8 katlı I kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 43. Story drift ratio of 8 storey CBF with 1 brace.



Şekil 40. 5 katlı I kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.
Figure 40. Story drift ratio of 5 storey CBF with 1 brace.



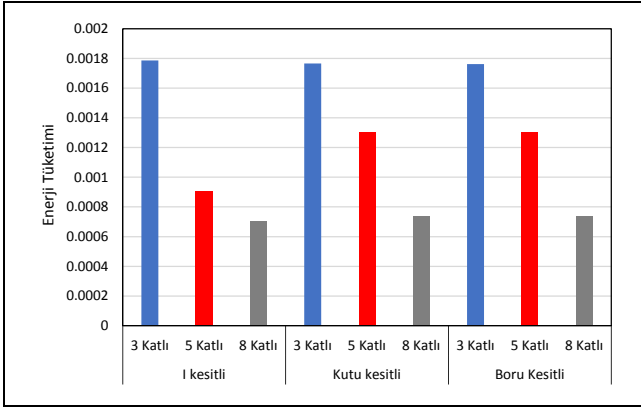
Şekil 44. 8 katlı kutu kesitli MÇÇ model kat öteleme oranı.
Figure 44. Story drift ratio of 8 storey CBF with box brace.



Şekil 45. 8 katlı boru kesitli MÇÇ model için kat öteleme oranı.

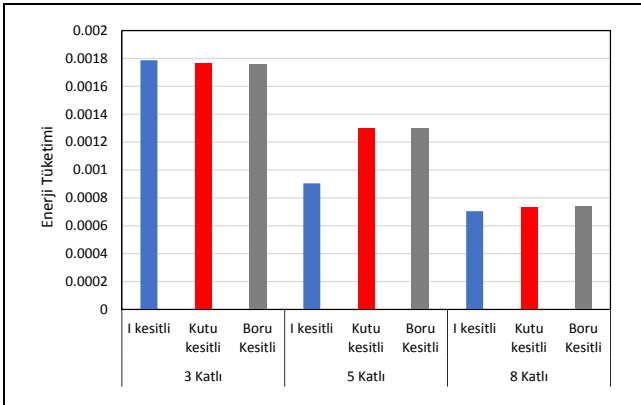
Figure 45. Story drift ratio of 3 storey CBF with pipe brace.

Doğrusal olmayan itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri altında kalan alanlar hesaplanarak çerçeve modellerin enerji tüketim kapasiteleri elde edilmiştir. Kat sayılarına ve kesit tiplerine göre grafikler halinde Şekil 46-Şekil 47'de ile verilmiştir. Kapasite eğrilerine bağlı olarak hesaplanan çerçeve rijitlikleri, yanal yük taşıma kapasiteleri ve süneklik değerleri kat sayılarına ve kesit tiplerine göre grafikler halinde Şekil 48-Şekil 53'te verilmiştir.



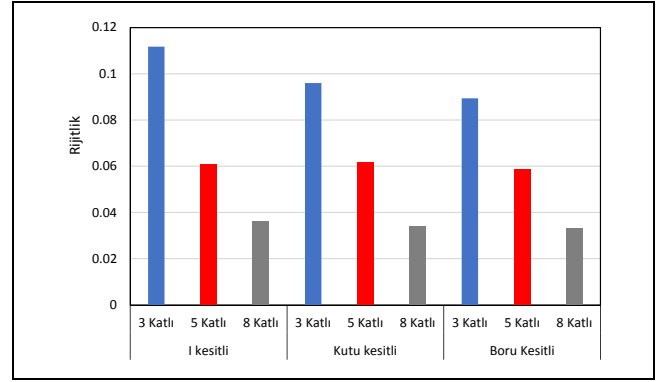
Şekil 46. Kesit tiplerine göre enerji tüketim kapasiteleri.

Figure 46. Energy consumption capacity for sections type.



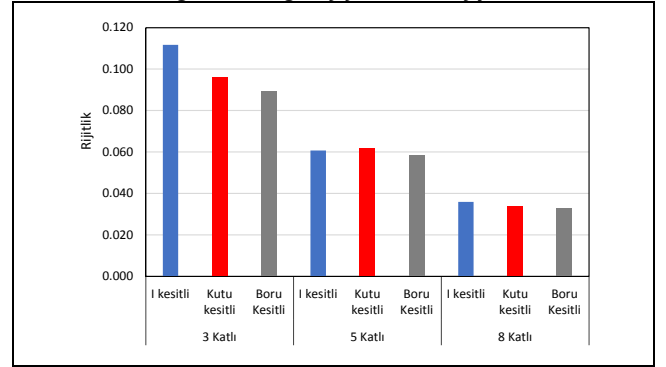
Şekil 47. Kat sayısına göre enerji tüketim grafiği.

Figure 47. Energy consumption capacity for storey number.



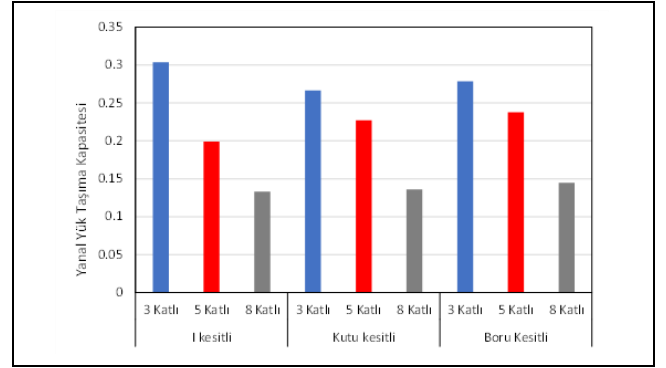
Şekil 48. Kesit tiplerine göre rijitlik.

Figure 48. Rigidity for section type.



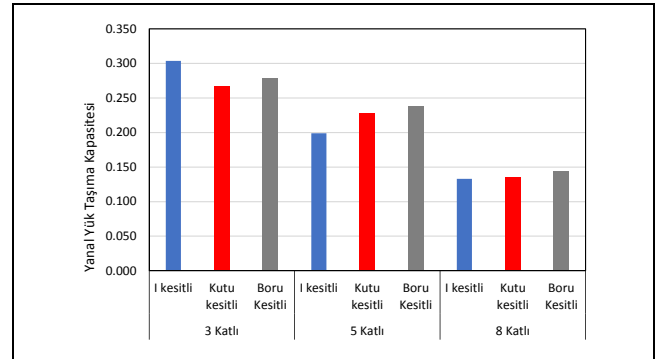
Şekil 49. Kat sayısına göre rijitlik.

Figure 49. Rigidity for storey number.



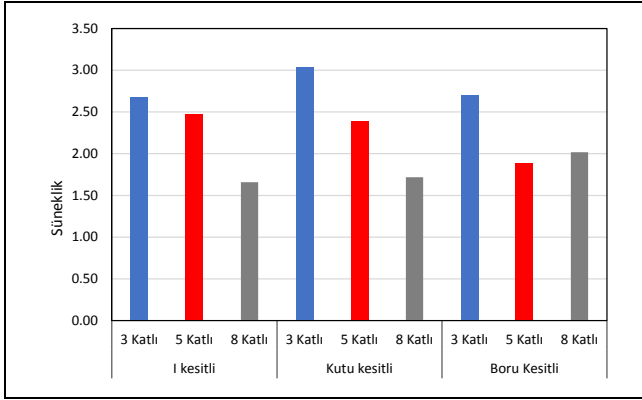
Şekil 50. Kesit tiplerine göre yanal yük taşıma kapasitesi.

Figure 50. Lateral load capacity for section type.



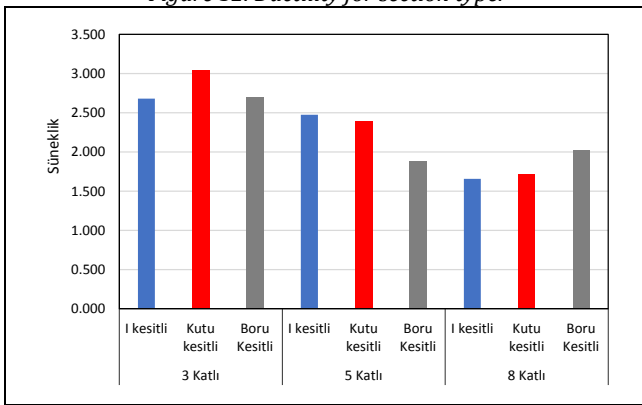
Şekil 51. Kat sayısına göre yanal yük taşıma kapasitesi.

Figure 51. Lateral load capacity for storey number.



Şekil 52. Kesit tipine göre süneklik kapasitesi.

Figure 52. Ductility for section type.



Şekil 53. Kat sayısına göre süneklik kapasitesi.

Figure 53. Ductility for storey number.

Merkezi çaprazlı çerçevelerin ağırlığı Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Merkezi çaprazlı çerçevelerin ağırlığı.

Table 11. Weight of frames.

Model	Çaprazlı Çerçeve Ağırlıkları (kN)	Çapraz Eleman Ağırlıkları (kN)
3K-I	400.64	47.81
3K-K	392.92	40.09
3K-B	389.69	36.86
5K-I	689.02	73.84
5K-K	693.86	78.67
5K-B	690.73	75.54
8K-I	1177.75	144.93
8K-K	1164.49	131.67
8K-B	1157.52	124.70

Merkezi çaprazlı çerçeve modellerinin enerji tüketimi kapasiteleri, 3 ve 8 katlı modellerde tüm kesit tipleri için yaklaşık aynıdır. 5 katlı modellerde boru ve kutu çaprazlı modeller yaklaşık aynı miktarda enerji tüketirken, I çaprazlı çerçeve daha düşük enerji miktarda enerji tüketmiştir. Bunun nedeni birinci ve ikinci kat çapraz elemanların kapasite oranının nispeten 1’e daha yakın olması ve bu çaprazların burkularak göçme durumuna gelmesi olarak düşünülebilir. 8 ve 3 katlı modellerde ise elemanların kapasite oranları birbirine daha yakın ve mafsallaşma durumları da benzerdir.

Çerçeve rijitlikleri 8 ve 5 katlı çerçevelerde yaklaşık aynı iken 3 katlı çerçevelerde, çapraz elemanı I kesitli olan çerçeve daha rijit bir davranış göstermiştir. Bunun nedeni olarak, 3 katlı “I”

çaprazlı çerçevede, alt kat çapraz elemanın dayanım koşulunu sağlaması için seçilen minimum kesitin, 5 ve 8 katlı çerçevelerdeki I çaprazına göre nispeten daha az narin olması düşünülebilir.

Çerçevelerin yanal yük taşıma kapasiteleri, 8 katlı çerçevelerde tüm kesit tipleri için yaklaşık aynıdır. Tüm çerçeveler genelinde, kutu ve boru çaprazlı çerçeveler yaklaşık aynı mertebelerde yanal yük taşıma kapasitesine sahipken, I çaprazlı çerçeve değişkenlik göstermiştir. Bu durum elemanların kesit kapasite oranları ve mafsallaşma durumları ile örtüşmektedir.

Merkezi çaprazlı çerçevelerin enerji tüketim, rijitlik ve yük taşıma kapasiteleri bakımından yüksekte düşüğe doğru sırasıyla, 3, 5 ve 8 kat olarak sıralanabilirken, süneklik kapasitesi değişkenlik göstermiştir.

Çelik malzeme gideri değerlendirildiğinde, genel olarak I kesitli çerçeveler daha fazla ağırlık ve malzeme giderine sahiptir.

5 Sonuç ve değerlendirmeler

Bu çalışmada, 3, 5 ve 8 katlı toplam dokuz adet merkezi ters V çaprazlı çelik çerçeve sistem, farklı çapraz kesitleri (boru, kutu ve I kesitler) dikkate alınarak tasarlanmıştır. SAP 2000 [20] programı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik ve statik itme analizleri yapılmıştır. Analiz edilen çaprazlı çerçevelerin deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışları incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Ele alınan merkezi çaprazlı çerçeveler kat sayılarına göre değerlendirildiğinde, tüm kesit tipleri için enerji tüketim, rijitlik ve yük taşıma kapasitesi bakımından 3 katlı çerçeveler en yüksek, 8 katlı çerçeveler ise en düşük değeri almışlardır.

Çalışmada merkezi çaprazlı çerçevelerin genel olarak, çapraz elemanlarının kesitlerinin narinlikleri ve kesit alanları (dolayısıyla ağırlığı) kesit tipi “I” olanlarda en yüksek, “boru” kesitlerde ise en düşüktür. Buna rağmen, özellikle 8 katlı modellerde I çaprazlı çerçevenin, boru ve kutu çaprazlı çerçevelerle yaklaşık aynı performans gösterdiği söylenebilir. Bu durum, literatürden bilindiği gibi kutu kesitlerin, eşit kesit alanına sahip diğer kesit tiplerine (örneğin T veya I) sahip çaprazlara kıyasla nispeten daha yüksek burkulma kapasitesine sahip [29] olması durumunu desteklemektedir.

Çalışmada ele alınan çerçeveler bakımından enerji tüketim kapasitesi, yanal yük taşıma kapasitesi, süneklik kapasitesi ve malzeme gideri değerlendirildiğinde çapraz elemanlar için en avantajlı kesitin sırasıyla boru, kutu ve I kesit olduğu söylenebilir. Ancak, sonuçların genelleştirilmesi için kesitler ile ilgili daha fazla parametrenin dikkate alınarak analiz sayısının artırılması, elde edilecek sonuçlarla birlikte değerlendirmeler yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

6 Conclusions

In this study, 3, 5 and 8 storey inverted V concentrically braced steel frame systems were designed. A total of nine concentrically braced frame models with different cross-sections (pipe, box and I-sections) were modeled and static pushover analyzes were performed using the SAP 2000 [20] program. The nonlinear seismic behavior of the analyzed braced frames was examined and evaluated.

The results obtained from the study can be summarized as follows.

The concentrically braced frames are evaluated according to the number of storeys, 3-storey frames have the highest value and 8-storey frames have the lowest value in terms of energy consumption, stiffness and load carrying capacity for all section types.

In this study, in general, the slenderness and areas (hence weight) of the diagonal member's cross-sections of the concentrically braced frames are the highest for the "I" section type and the lowest for the "pipe" sections. But it can be said that the I-braced frame performs about the same as the pipe and box-braced frames, especially in 8-story models. This supports what is known from the literature [29] that box sections have relatively higher global buckling capacity compared to braces with other section types (e.g. T or I) with the equal cross-sectional area.

Considering the energy consumption capacity, lateral load carrying capacity, ductility capacity and material cost are evaluated for the frames considered in the study, it can be said that the most advantageous cross-sections for diagonal members are pipe, box and I sections, respectively. However, in order to generalize the results, it is thought that it would be more appropriate to increase the number of analyses by considering more parameters related to the sections and to evaluate the results to be obtained.

7 Teşekkür

Bu çalışma, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: 535-MP-18).

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Gülhan İNCE fikrin oluşması, tasarımın yapılması ve sonuçların incelenmesi; Ayşe GİRGIN tasarımın ve analizlerin yapılması, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

10 Kaynakça

- [1] Akgönen Aİ. "Yüksek sünek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışının incelenmesi". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 16-23, 2017.
- [2] Bozkurt MB, Zeybek Ö. "Çapraz konfigürasyonunun merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımına ve dinamik performansına etkisi". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 68, 399-412, 2021.
- [3] Karamanoğlu N. Yatay Yük Taşıyıcı Sistemi Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçevelerden Oluşan Çelik Binalarda Yerdeğiştirme Büyütme Katsayısının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [4] Sancioğlu S, Çarbaş S. "Merkezi çelik çaprazların bir çelik yapı üzerinde incelenmesi". *1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, Konya, Türkiye, 1-3 Kasım 2021.

- [5] Bozkurt MB, Serin B. "DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esas alınarak boyutlandırılan MÇÇÇ'lerin deprem performanslarının karşılaştırılması". *Teknik Dergi*, 598, 10441-10476, 2021.
- [6] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği". Ankara, Türkiye, 30324, 2018.
- [7] Dok G, Aktaş M. "Düşeyde düzensiz çelik çaprazlı yapıların sismik performansının değerlendirilmesi". *Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2-4 Mart 2016.
- [8] Yaman Z, Ağcakoca E. "Dairesel kesite sahip merkezi çelik çaprazların performans analizi". *Sakarya Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 340-350, 2017.
- [9] Cano P, Imanpour A. "Evaluation of seismic design methods for steel multi-tiered special concentrically braced frames". *Proceedings of the Annual Stability Conference*, Baltimore, Maryland, 10-13 April 2018.
- [10] Adalı M. Seismic Performance Assessment of Steel Chevron Braced Frames Designed to The Turkish Building Earthquake Code 2018. MSc Thesis. Özyeğin University, İstanbul, Turkey, 2021.
- [11] Imanpour A, Tremblay R. "Seismic design method for steel multi-tiered braced frames". *Eurosteel 2014*, Naples, Italy, 10-12 September 2014.
- [12] Kıymaz G. "Depreme Karşı Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı". <https://muhaaz.org/depreme-karsi-dayanikli-celik-yapi-tasarimi-yard-doc-dr-guven.html>. 22.03.2022.
- [13] Özçelik R. "Burkulması engellenmiş çelik çaprazlar burkulma emniyetli payandalar". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 160-170, 2016.
- [14] Akşar B, Doğru S, Çakır F, Shen J, Akbaş B. "Merkezi çaprazlı çerçevelerde dayanım farklılığı sonucu oluşan burulma etkileri". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1), 13-30, 2018.
- [15] Doğan FF. Birbirine Dik Doğrultudaki Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Ortak Kolonlarının Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.
- [16] Serin B. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019'a Göre Tasarlanmış Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Sismik Davranışlarının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2019.
- [17] Yıldızhan Sağer B. Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2021.
- [18] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Ankara, Türkiye, 26551, 2007.
- [19] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar". Ankara, Türkiye, 30333, 2018.
- [20] Computers & Structures INC. "Structural and Earthquake Engineering Software SAP2000". <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>. 12.06.2018.
- [21] Applied Technology Council. "ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1". ATC, California, USA, Technical Report, SSC 96-01, 1996.
- [22] Federal Emergency Management Agency. "Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings". Washington DC, USA, FEMA 356, 2000.

- [23] Federal Emergency Management Agency. "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures". Washington DC, USA, FEMA 440, 2005.
- [24] Durgun Y, Vatansever C, Girgin K, Orakdöğen E. "Dış merkez çaprazlı bir çelik perdenin deprem performansının doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemi ile değerlendirmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 266-274, 2013.
- [25] Vatansever C, Şimşek YE. "Taşıyıcı sistemi beton dolgulu kompozit kolonlar ve çelik kirişlerden oluşan çok katlı binanın tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27, 264-273, 2013.
- [26] Uzun S. Beton Dolgulu Kompozit Kolonlu Bir Ofis Binasının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 Esas Alınarak Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [27] Açıkelli GS. Çelik Gömme Kompozit Kolon, Kiriş ve Bağ Kirişli Bir Binanın Yapısal Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [28] Şeker O. "Düşey yük taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeyi yüksek çelik moment aktaran çerçevelerin göçme performansına etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26, 1086-1097, 2019.
- [29] Dicleli M, Anshu M. "Simulation of inelastic cyclic buckling behavior of steel box sections". *Computers & Structures*, 7-8, 446-457, 2007.