



Merkezi ters V ve X çaprazlı çerçevesel yüksek katlı çelik yapıların mod birleştirme yöntemi ile yapısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Comparison of structural analysis results of central inverted V and X braced frames high-rise steel structures using modal combine method

Oğuz Düğenci¹, Hüseyin Hilmi Aslanbay^{2*}, Selçuk Serdar Serpil³

^{1,2,3} Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38030, Kayseri Türkiye

Öz

Çalışma kapsamında, yüksek katlı çelik yapılarda yapı planının çekirdek bölümünde ve planın dış açıklıklarında ters V çaprazların veya X çaprazların kullanılmasının yapının performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. TBDY-2019 ve ÇYTHYE-2018 dikkate alınarak Etabs programı kullanılarak modellenen 35 katlı çelik yapı modelinde 4 farklı tipte yapı modellenerek ters V ve X çaprazların farklı konumlandırılmasının etkisi incelenmiştir. Yapısal davranış mod birleştirme yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Yapısal analiz sonucunda farklı tip bina modellerinin ağırlıkları, periyotları ve yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Çaprazların çekirdek bölümünde modellenmesi çaprazları çevreleyen kolonlarda eksenel kuvvette zorlanmaya sebebiyet verdiğinden yapı ağırlıkları dış açıklardaki çapraz modellerine kıyasla daha fazladır. Çekirdek bölümündeki çaprazları çevreleyen kolon profilleri büyütülmüştür. Bu değişiklik diğer modellere kıyasla %40-50 oranında yapı ağırlığında artışa sebebiyet vermiştir. Çalışma kapsamında çapraz profil değişiminin analiz sonuçlarına etkisi az iken çaprazların konumunun analiz sonuçlarına büyük etkisi mevcuttur. Çaprazların çekirdekte konumlandığı modeller için ters V çaprazlı model X çaprazlı modele kıyasla %4.9 oranında daha fazla deplasman gerçekleştirmiştir. Çaprazların dış açıklıklarda konumlandığı modeller için X çaprazlı model ters V çaprazlı modele kıyasla %0.57 oranında daha fazla yatay deplasman gerçekleştirmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek çelik yapılar, Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, Ters V çaprazlı çerçeveler, X çaprazlı çerçeveler, Mod birleştirme yöntemi

1 Giriş

Ülkemizin büyük bir bölümünün deprem bölgesinde yer alması sebebiyle yapıların tasarımında deprem etkisi büyük önem teşkil etmektedir. Deprem etkisi altında yapı performansı ve süneklik açısından özellikle yüksek katlı yapılarda çelik sistemler günümüzde daha çok yaygınlaşmıştır. Çelik yapıların malzeme sünekliğinden ötürü deprem etkileri altında enerji tüketme kapasiteleri yüksektir. Yüksek çelik yapılarda rüzgar ve deprem gibi yatay yükler altında yanal rijitliğin sağlanabilmesi için

Abstract

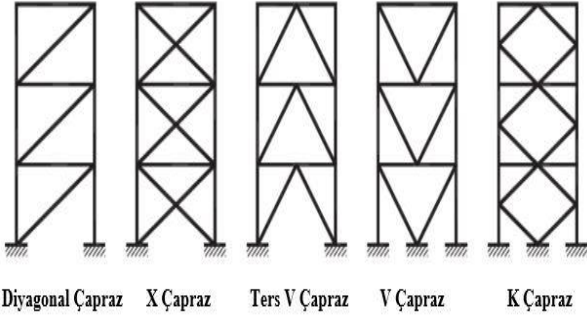
Within the scope of the study, the effects of using inverted V braces or X braces on the performance of the structure have been investigated in the core section and outer centers of the building plan in high-rise steel structures. Considering the TBDY-2019 and ÇYTHYE-2018, 4 different types of structures were modeled in the 35-storey steel structure model, which was using the Etabs program, and the effect of different positioning of the inverted V and X braces was examined. Structural behavior was analyzed using the modal combine method. As a result of the structural analysis, different types of building models were compared over their weights, periods and displacement values. Since the modeling of the braces in the core section causes strain in the axial force in the columns surrounding the braces, the structural weights are higher than the bracing models in the outer openings. The column profiles surrounding the braces in the core section have been enlarged. This change has resulted in an increase in the weight of the structure by 40-50% compared to other models. Within the scope of the study, the cross profile change has little effect on the analysis results, while the position of the crosses has a great effect on the analysis results. For models in which the braces are located in the core, the inverted V braced model performed 4.9% more displacement than the X braced model. For the models in which the braces are located in the outer openings, the X braced model performed 0.57% more horizontal displacement than the inverted V braced model.

Keywords: High-rise steel structures, External steel braced frames, Eccentrically braced frame, Concentrically braced frame, Mod combine method.

moment aktaran yapı elemanları ve çelik çapraz sistemleri tercih edilmektedir. Çelik çapraz sistemler merkezi ve dış merkez çaprazlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Kolon, kiriş ve çapraz elemanlardan oluşan merkezi çaprazlı çelik çerçeveler (MÇÇÇ) TBDY 2019'da belirtildiği üzere Şekil 1'de gösterilen tiplerle gruplandırılmıştır [1]. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemler yatay yükler altında enerji tüketme kapasitesi farklı olan çapraz elemanlarının basınç etkisi altında burkulma oluşturarak akma noktasına

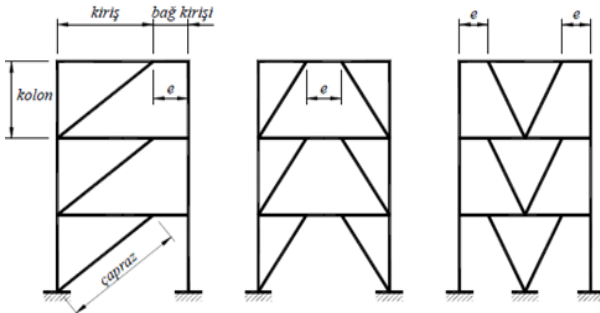
* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: aslanbay@erciyes.edu.tr (H. H. Aslanbay)
Geliş / Recieved: 31.01.2023 Kabul / Accepted: 29.05.2023 Yayımlanma / Published: 15.07.2023
doi: 10.28948/ngumuh.1244391

ulaşmasıyla ve çekme etkisinde akma noktasına ulaşmasıyla enerji tüketimini sağlamaktadırlar.



Şekil 1. TB DY-2019 yönetmeliğinde bulunan merkezi çaprazlı sistemler

Şekil 2.'de gösterilen dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler moment aktaracak şekilde ve süneklik düzeyi yüksek olarak boyutlandırılmalıdır. Dış merkez çaprazlı çerçevelerde çapraz eleman kuvvetini kesme ve eğilme yoluyla aktarabilmesi için bağ kirişlerine her çaprazın en az bir ucunun bağlanması gerekmektedir. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler özelliği ile merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin rijitlik özelliği ile moment aktaran çerçeve sistemlerin sünekliğini bir arada bulunduran sistemlerdir. Bu sebeple, dışmerkez çaprazlı çerçeveler çevrimsiz yatay yükler altında sabit bir elastik ötesi davranışa, yüksek elastik rijitliğe ve yüksek düzeyde enerji tüketme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle özellikle deprem etkisinin yüksek düzeyde görüldüğü bölgelerde kullanılması uygun olan sistemlerdir. Burulma etkilerinin hesaba katılmadan oluşturulduğu sistemlerde şiddetli depremler etkisi altında yapı ağır hasar görebilir hatta göçme durumuna ulaşabilmektedir.



Şekil 2. TB DY-2019 yönetmelikte bulunan dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler

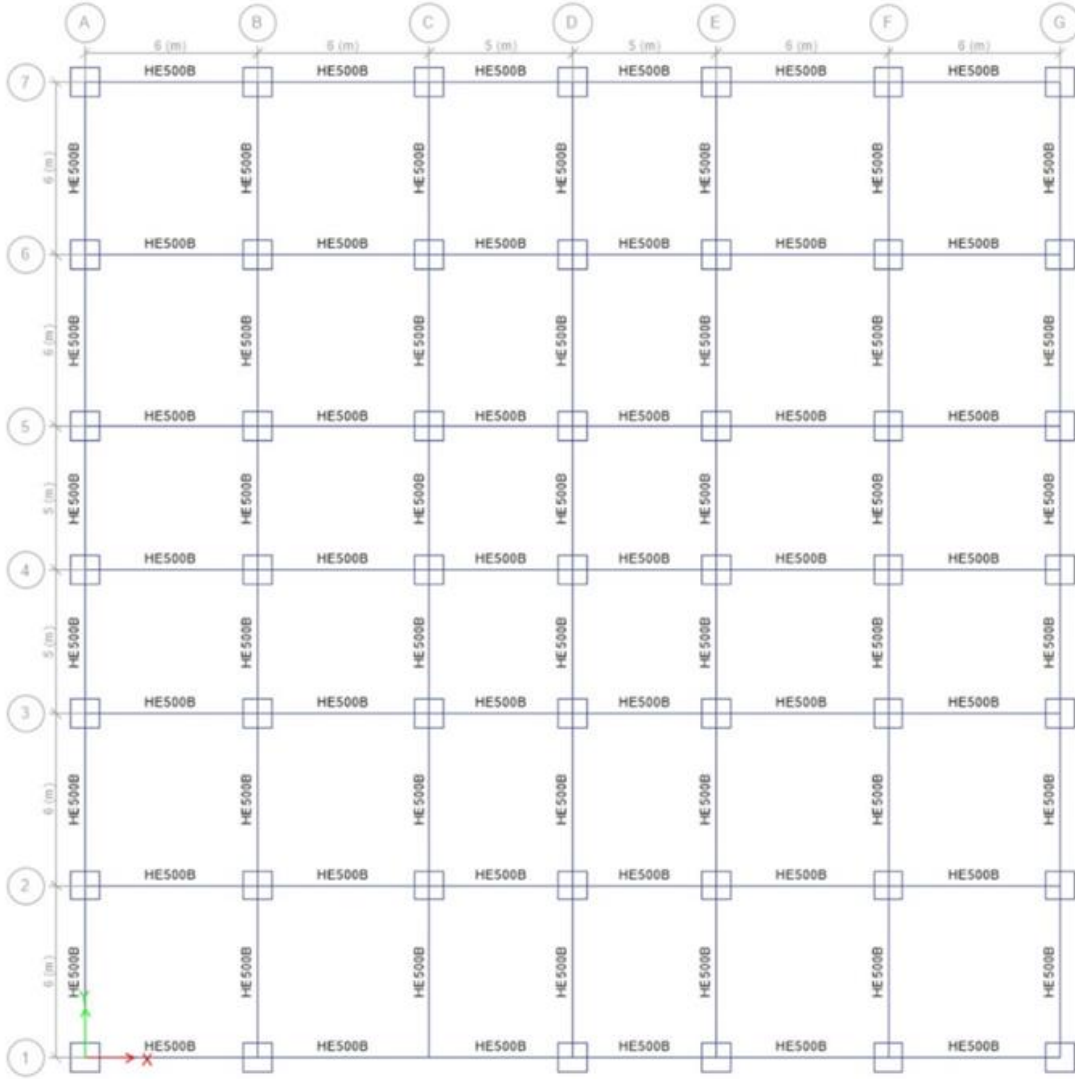
Literatürde çelik çaprazlarla ilgili olarak birçok çalışma mevcuttur. Merkezi çelik çaprazlarla ilgili yapısal performans dikkate alındığında ilk çalışmalar 1970' li yıllara dayanmaktadır. X çapraz konfigürasyonu kullanılarak tasarlanan tek kat ve tek açıklıktan oluşan planlar üzerinden nümerik araştırmalar yapılmıştır [2]. Bir çalışmada ise eksantrik desteklenmiş çerçeveler ve moment etkisinde dayanıklılık gösteren çerçevelerden oluşan sistemlerin sismik davranışları tasarım ilkelerine uyarak incelenmiştir

[3]. Akbaş B. çalışmasında merkezi çelik çerçevelerin sünek tasarım ilkelerini açıklamıştır [4]. Elastik ötesi burulmalı davranışın yapılar üzerinde çözümlenmesi oldukça karmaşıktır. Birçok araştırma mevcut olsa da genel çıkarımlar konusunda eksikler mevcuttur [5,6]. Goel ve Hanson çalışmalarında çok katlı ve tek açıklıklı diyagonal çaprazlardan oluşan çelik çerçeve sistemini incelemişlerdir [7]. Çelik yapıların gerçekçi olarak davranışının belirlenebilmesi için birleşim elemanlarının dışında malzeme ve geometrik özelliklerinde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [8]. Shen J. ve arkadaşları ise ters V çaprazlarla oluşturulmuş çerçeveleri 6 ve 12 katlı yapılar için farklı deprem kayıtları etkisi altında incelemişlerdir [9]. Bir başka çalışmada çaprazsız ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve sistemlerde burulma etkisinin analizi yapılmıştır [10]. Lee ve Brunea Merkezi çelik çaprazlı sistemlerle alakalı deneysel çalışmalarda basınca maruz kalmış çapraz elemanların enerji tüketme kapasitesini incelemişlerdir [11]. Çavdar ise çalışmasında farklı türde çapraz elemanlar kullanarak oluşturduğu üç farklı yapıyı eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanarak analiz etmiştir [12]. Nassani ve ark. farklı olarak oluşturdukları merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveleri farklı kat yükseklikli yapılar için incelemiş ve modellere ait kapasite eğrileri ve deplasman değerleri elde etmişlerdir [13]. Roeder ve ark. X tipi çaprazları kullanılan MÇÇÇ sistemlerde guse plakasının ve çaprazların yapısal performansa etkisini deneysel olarak analiz etmişlerdir [14]. Bir başka çalışmada ise emniyet gerilmeleri yöntemi kullanılarak çaprazlı yüksek katlı çelik yapılar için ikinci mertebe analizleri yapılmıştır [15]. Bir diğer çalışmada farklı kat yüksekliği ve planlara göre oluşturulan X, ters V ve parçalı-X çapraz konfigürasyonlarının kullanıldığı MÇÇÇ sistemlerde doğrusal elastik yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Çapraz konfigürasyonlarının MÇÇÇ sistemlerin tasarımına ve dinamik performansına etkisi analiz edilmiştir [16]. Bu çalışmada ise amaç, yüksek katlı çelik yapılarda merkezi çelik çapraz kullanarak X çapraz ve ters V çapraz kullanımının yapısal davranış üzerindeki etkilerini incelemektir. Çaprazların plan üzerinde farklı noktalarda konumlandırılmasının yapının periyodu, sünekliği ve yatay deplasman değerlerindeki değişimini analiz etmektir.

2 Materyal ve metot

30.337° enleminde ve 40.755° boylamında plan ebatları 36x36 m, olarak 35 katlı ofis binası olarak tasarlanan yapının planı Şekil 3'de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında ETABS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Yapıda herhangi bir burulma düzensizliği gözlenmemesi bakımından X ve Y yönünde eşit sayıda açıklık planlanmış olup kolonların ve çaprazların yerleşimlerinin simetrik olmasına dikkat edilmiştir.

Çalışma kapsamında 4 farklı türde yapı modellenmiştir. Yapı modelleri X çapraz ve Ters V çaprazlarının kullanımına bağlı olarak çekirdek ve dış açıklıkların merkezlerinde modellenmiştir. Tüm modellere ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1' de verilen özellikler TB DY 2019 esasları dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Bina kat planı

Tablo 1. Modellerin özellikleri

Özellikler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Kat Sayısı	35	35	35	35
Deprem Hareket Düzeyi	DD2	DD2	DD2	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	ZC	ZC	ZC
S_{DS}	1.992	1.992	1.992	1.992
S_{D1}	0.6825	0.6825	0.6825	0.6825
Bina Kullanım Sınıfı	İş Yeri	İş Yeri	İş Yeri	İş Yeri
I (Bina Önem Katsayısı)	1	1	1	1
Deprem Tasarım Sınıfı	1	1	1	1
Bina Yükseklik Sınıfı	1	1	1	1
Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma Göre Tasarım	Dayanıma Göre Tasarım	Dayanıma Göre Tasarım	Dayanıma Göre Tasarım
R (Taşıyıcı Sistem Davranış K.)	8	8	8	8
D (Dayanım Fazlalığı Katsayısı)	3	3	3	3
Süneklik Düzeyi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Çelik Tipi	S235	S235	S235	S235
Çapraz Tipi	X	X	Ters V	Ters V
Çapraz Konumu	Çekirdek	Dış Açıklık	Çekirdek	Dış Açıklık

Modellere ait düşey taşıyıcı elemanlarda kullanılan çelik profil tipleri **Tablo 2**'de verilmiştir. **Tablo 2**'de verilen profiller zemin kattan 15. kata kadar olan profillerdir. 15. Kattan itibaren her 10 katta bir yapı ağırlığının düşürülmesi ve kesit yeterliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Kolon ve çaprazlardaki profil tipleri küçültülmüştür. Bileşik kesitler 20. kata kadar modellenmiştir.

Katlara göre değişen yapı elemanlarının profil tipleri **Tablo 3**'de verilmiştir. Çelik profil tipleri tüm modeller için aynıdır. Döşemeler betonarme döşeme olarak tanımlanmış olup her kata ayrı ayrı olarak yarı-rijit diyafram ataması yapılmıştır. Döşeme kalınlığı 15 cm olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Yapı elemanlarında kullanılan çelik profil tipleri

Taşıyıcı Sistem Elemanı	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Kolonlar	RHS 1000x30	RHS 1000x30	RHS 1000x30	RHS 1000x30
Merkez Kolonlar	Bileşik Kesit	RHS 1000x30	Bileşik Kesit	RHS 1000x30
Kirişler	HEB 500	HEB 500	HEB 500	HEB 500
Çaprazlar	RHS 400x20	RHS 400x20	RHS 400x20	RHS 400x20

Profil tiplerine ait özellikler modellere göre **Tablo 4-7**'de gösterilmiştir. Tabloda verilen özellikler modellenen yapı elemanları için kullanılan profillere ait özelliklerdir.

Modelde ETABS programında hazır olarak tanımlanan profil tiplerinin kesit analizi yapıldığında yeterli değildir. Bu

nedenen ötürü düşey taşıyıcı elemanlar için programda değişken boyutlarda kare kesit olarak yeterli dayanım ve kapasiteyi sağlayan **Şekil 4**'de gösterilen profiller tanımlanmıştır. Tüm modellerde düşey yükler altında kapasiteyi sağlayacak şekilde kesitler belirlenmiş ve analizler yapılmıştır. Çaprazların merkezde modellenmesi çaprazları çevreleyen merkez kolonlarda çok yüksek eksenel yük meydana getirdiğinden merkez kolonlar için ayrı bir bileşik profil tanımlanmıştır. Bu bileşik profiller model 1 ve model 3'de merkez kolonlarda 20.kata kadar modellenmiştir.

Yapıdaki yüklemeler **Tablo 8**'de gösterilen prototip binalar için kullanılan değerlerden alınarak tanımlanmıştır. Yapıya etki edecek rüzgar yükleri ise ETABS programında otomatik olarak etki ettirilmiştir.

Modellemede ÇYTHYE-2018'de belirtilen yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) yöntemi uygulanmıştır. ETABS programında modellenen 4 farklı modele ait kat planları **Şekil 5-8**'de gösterilmiştir [17]. Yatay yük hesabı yapılarak programa tanımlanan azaltılmış elastik deprem ivme spektrumu **Şekil 4**'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Yapı elemanlarında kullanılan katlara göre değişen çelik profil tipleri

Taşıyıcı Sistem Elemanı	Kat 1-15	Kat 16-25	Kat 26-35
Kolonlar	RHS 1000x30	RHS 700x30	RHS 600x30
Kirişler	HEB 500	HEB 500	HEB 500
Çaprazlar	RHS 400x20	RHS 400x20	RHS 400x20

Tablo 4. Model-1'deki yapı elemanlarında kullanılan çelik profil tiplerinin özellikleri

Taşıyıcı Eleman Bilgisi	Kat Bilgileri	Kesit Bilgisi	Yükseklik(mm)	Genişlik(mm)	Wt(mm)	Ft(mm)	A(cm ²)	I33(cm ²)	I22(cm ²)
Merkez Dışı Kolonlar	1-15. kat	RHS 1000X30	1000	1000	30	30	1164	1827092	1827092
Merkez Dışı Kolonlar	16-25. kat	RHS 700X30	700	700	30	30	804	602732	602732
Merkez Dışı Kolonlar	26-35. kat	RHS 600X30	600	600	30	30	684	371412	371412
Merkez Kolonlar	1-20. kat	Bileşik Kesit	1500	1500	80	80	10464	27131408	27131408
Merkez Kolonlar	21-25. kat	RHS 700X30	700	700	30	30	804	602732	602732
Merkez Kolonlar	26-35. kat	RHS 600X30	600	600	30	30	684	371412	371412
Kat Kirişleri	1-35. kat	HEB 500	500	300	28	28	239	107200	12620
Merkez X Çaprazlar	1-35. kat	RHS 400X20	400	400	20	20	304	73365	73365

Tablo 5. Model-2'deki yapı elemanlarında kullanılan çelik profil tiplerinin özellikleri

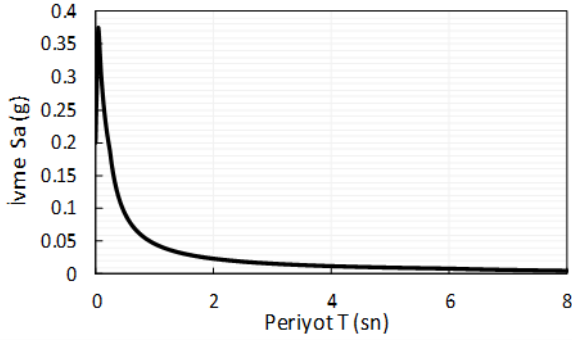
Taşıyıcı Eleman Bilgisi	Kat	Kesit Bilgisi	Yükseklik(mm)	Genişlik(mm)	Wt(mm)	Ft(mm)	A(cm ²)	I33(cm ²)	I22(cm ²)
Tüm Kolonlar	1-15. kat	RHS 1000X30	1000	1000	30	30	1164	1827092	1827092
Tüm Kolonlar	16-25. kat	RHS 700X30	700	700	30	30	804	602732	602732
Tüm Kolonlar	26-35. kat	RHS 600X30	600	600	30	30	684	371412	371412
Kat Kirişleri	1-35. kat	HEB 500	500	300	28	28	239	107200	12620
Merkez X Çaprazlar	1-35. kat	RHS 400X20	400	400	20	20	304	73365	73365

Tablo 6. Model-3'deki yapı elemanlarında kullanılan çelik profil tiplerinin özellikleri

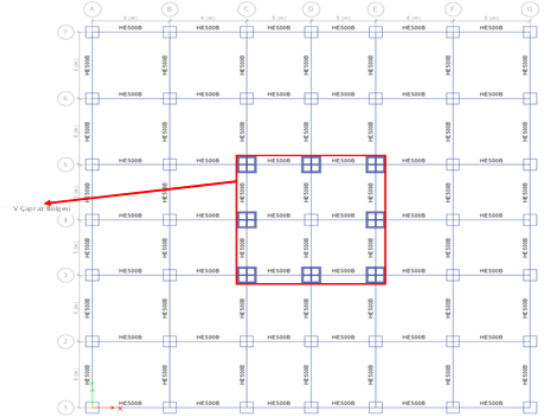
Taşıyıcı Eleman Bilgisi	Kat Bilgileri	Kesit Bilgisi	Yükseklik(mm)	Genişlik(mm)	Wt(mm)	Ft(mm)	A(cm ²)	I33(cm ²)	I22(cm ²)
Merkez Dışı Kolonlar	1-15. kat	RHS 1000X30	1000	1000	30	30	1164	1827092	1827092
Merkez Dışı Kolonlar	16-25. kat	RHS 700X30	700	700	30	30	804	602732	602732
Merkez Dışı Kolonlar	26-35. kat	RHS 600X30	600	600	30	30	684	371412	371412
Merkez Kolonlar	1-15. kat	Bileşik Kesit	1500	1500	80	80	10464	27131408	27131408
Merkez Kolonlar	16-20. kat	RHS 1000X30	1000	1000	30	30	1164	1827092	1827092
Merkez Kolonlar	21-25. kat	RHS 700X30	700	700	30	30	804	602732	602732
Merkez Kolonlar	26-35. kat	RHS 600X30	600	600	30	30	684	371412	371412
Kat Kirişleri	1-35. kat	HEB 500	500	300	28	28	239	107200	12620
Merkez Ters V Çaprazlar	1-35. kat	RHS 400X20	400	400	20	20	304	73365	73365

Tablo 7. Model-4'deki yapı elemanlarında kullanılan çelik profil tiplerinin özellikleri

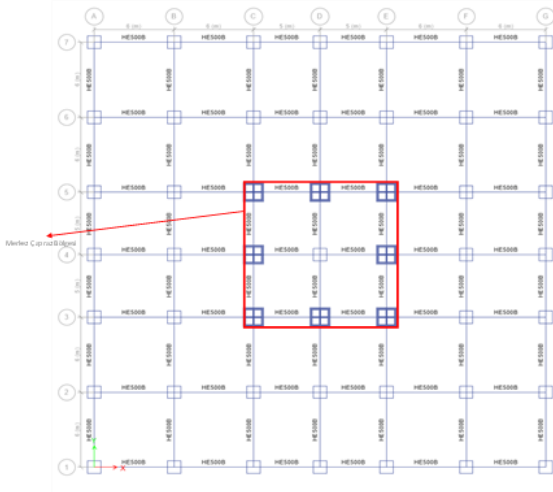
Taşıyıcı Eleman Bilgisi	Kat Bilgileri	Kesit Bilgisi	Yükseklik(mm)	Genişlik(mm)	Wt(mm)	Ft(mm)	A(cm ²)	I33(cm ²)	I22(cm ²)
Tüm Kolonlar	1-15. kat	RHS 1000X30	1000	1000	30	30	1164	1827092	1827092
Tüm Kolonlar	16-25. kat	RHS 700X30	700	700	30	30	804	602732	602732
Tüm Kolonlar	26-35. kat	RHS 600X30	600	600	30	30	684	371412	371412
Kat Kirişleri	1-35. kat	HEB 500	500	300	28	28	239	107200	12620
Merkez Ters V Çaprazlar	1-35. kat	RHS 400X20	400	400	20	20	304	73365	73365



Şekil 4. Programda tanımlanan azaltılmış elastik deprem ivme spektrumu



Şekil 6. Model-3 plan görünümü



Şekil 5. Model-1 plan görünümü



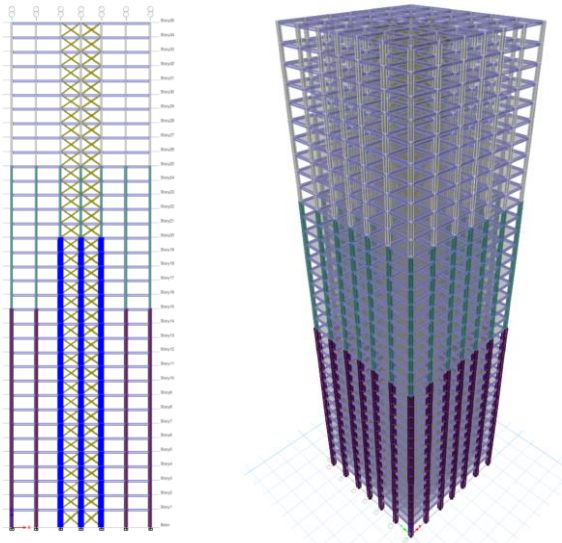
Şekil 7. Model-2 plan görünümü



Şekil 8. Model-4 plan görünümü

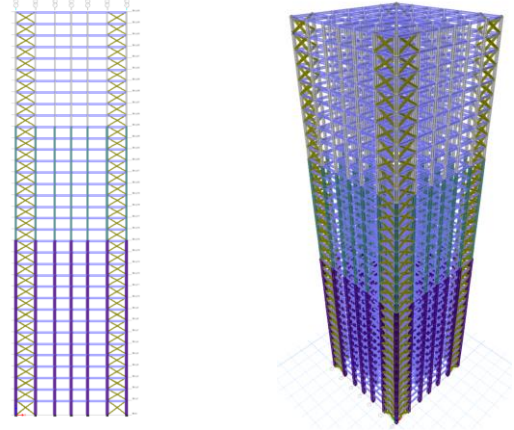
Hedef kütle katılım oranı her iki yön için de %99 olarak belirlenmiştir. TBDY 2018 Madde 4.5.10'a göre kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, kat kütle merkezlerine etkiyen yatay deprem yükleri göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyu kadar kaydırılması gerektiğinden bu madde doğrultusunda deprem hesapları yapılmıştır. Türkiye Çelik yönetmeliği Madde 5.2.1' e göre tüm depremler ve düşey yükler altındaki yük tanımlamaları ve kombinasyonları tanımlanmış ve uygulanmıştır.

Döşemeler her iki doğrultuda da belli boyutta sonlu elemanlara bölünerek sonlu elemanlar özellikleri tanımlanmıştır. Rijit diyafram atamaları her kat için ayrı ayrı oluşturuldu. Kütle kaynağı tanımlaması yapılarak TBDY 2018'e göre kütle katılım oranları belirlendi ve gerekli atamalar yapıldı. Modal analiz sonucu Modal kütle oranı TBDY 2018'e göre %95'in üstünde olması gerektiğinden hesaba katılacak mod sayısı bu oranı sağlayacak şekilde yükseltilmiştir. 4 farklı modele ait X-Z düzlemindeki görünüşleri ve 3 boyutlu görünüşleri Şekil 9-12'de gösterilmiştir.

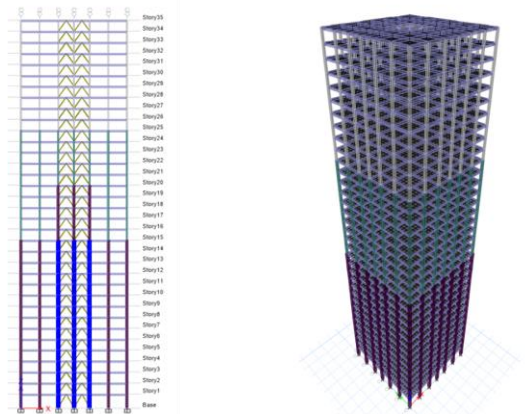


Şekil 9. Model-1 x-z ve 3 boyutlu görünümü

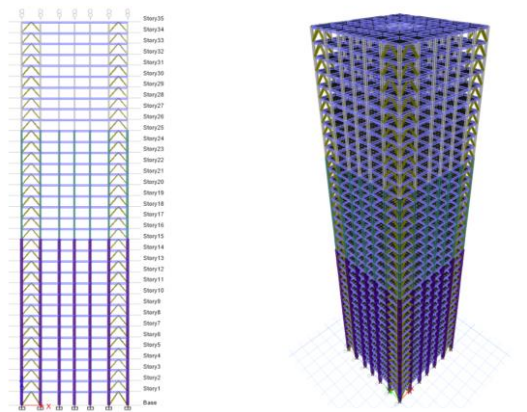
Düzensizlik kontrolleri yapılmış ve düşeyde (B-1, B-2, B-3) ve planda (A-1, A-2, A-3) herhangi bir düzensizlik saptanmamıştır. Görelî kat ötelemeleri kontrolleri yapılmış ve görelî kat ötelemesi sınırını aşan durum saptanmamıştır. 2. mertebe etkileri için gerekli hesaplar yapılmış ve 2. Mertebe etkilerinin gerekmediği belirlenmiştir. R katsayısı kontrolleri yapılmış ve R katsayısı başlangıçta belirlenen değer olan 8 olarak uygulanmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı (D) 3 olarak programa girilmiştir.



Şekil 10. Model-2 x-z ve 3 boyutlu görünümü



Şekil 11. Model-3 x-z ve 3 boyutlu görünümü



Şekil 12. Model-4 x-z ve 3 boyutlu görünümü

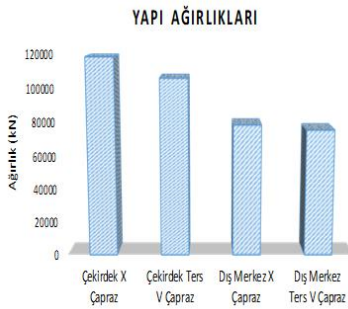
3 Bulgular ve tartışma

Mod Birleştirme Yöntemi ve modal analiz sonucunda model tiplerine göre yapı ağırlığı, yapı periyodu ve yatay yükler altındaki katlara göre deplasman değerleri elde edilmiş ve raporlanmıştır. Çapraz tipinin ve konumunun değişimine bağlı olarak elde edilen sonuçlar üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Deplasman ve ötelenme değerleri en dış akstaki kolonların üst düğüm noktalarından alınmıştır. Model 3’de serbest titreşimde 1. Modda burulma meydana gelmiştir. Tablo 9’da modeller ait analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 9. Modellerin analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Taşıyıcı Sistem Elemanları	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Periyot X yönü (sn)	2.71	3.439	2.65	3.425
Periyot Y yönü (sn)	2.71	3.439	2.65	3.425
Yapı Ağırlığı (kN)	118173	78575	105881	75523
Tepe Nokta Deplasman (mm)	42.48	55.18	44.95	54.86

X çaprazlı modeller ve ters v çaprazlı modellerin sonuçları kendi içlerinde benzerlik göstermektedir. Periyot değerleri, yapı ağırlığı ve tepe nokta deplasman değerleri açısından aynı çapraz tipine sahip modeller için çok yakın değerlerdedir. Şekil 13’de gösterilen yapı ağırlık değerlerinden hareketle çaprazların merkezde modellenmesi merkez kolonların profil boyutlarının büyümesine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle çaprazların merkezde modellenmesi dış açıklarda modellenmesine kıyasla yaklaşık olarak %40-50 aralığında yapı ağırlığında artışa sebebiyet vermektedir.



Şekil 13. Modellerin yapı ağırlıkları

Her modele ait metraj bilgileri Tablo 10-13’de gösterilmiştir.

Tablo 10. Model-1 yapı elemanlarının metraj bilgileri

Eleman	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Uzunluk (m)	Ağırlık (kN)
HE500B	Kiriş	2940	16660	25974
RHS 1000x30	Kolon	615	2193.5	19653
RHS 700x30	Kolon	450	1575	9447
RHS 600x30	Kolon	490	1715	9029
RHS 400x20	Çapraz	770	3427.8	8021
CMP	Kolon	160	568	45749

Tablo 11. Model-2 yapı elemanlarının metraj bilgileri

Eleman	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Uzunluk (m)	Ağırlık (kN)
HE500B	Kiriş	2940	16660	26322
RHS 1000x30	Kolon	735	2621.5	23488
RHS 700x30	Kolon	450	1715	10613
RHS 600x30	Kolon	490	1715	9029
RHS 400x20	Çapraz	770	3898.7	9123

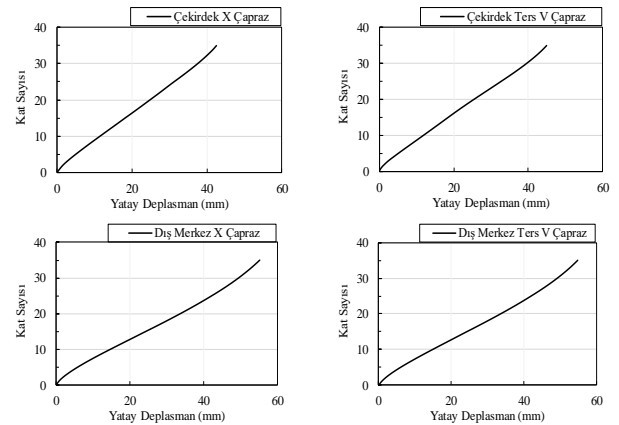
Tablo 12. Model-3 yapı elemanlarının metraj bilgileri

Eleman	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Uzunluk (m)	Ağırlık (kN)
HE500B	Kiriş	2940	16660	26056
RHS 1000x30	Kolon	655	2333.5	20907
RHS 700x30	Kolon	450	1575	9747
RHS 600x30	Kolon	490	1715	9029
RHS 400x20	Çapraz	560	2422.2	5668
Bileşik Kesit	Kolon	120	428	34473

Tablo 13. Model-4 yapı elemanlarının metraj bilgileri

Eleman	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Uzunluk (m)	Ağırlık (kN)
HE500B	Kiriş	2940	16660	26322
RHS 1000x30	Kolon	735	2621.5	23488
RHS 700x30	Kolon	490	1715	10613
RHS 600x30	Kolon	490	1715	9029
RHS 400x20	Çapraz	560	2594.25	6070

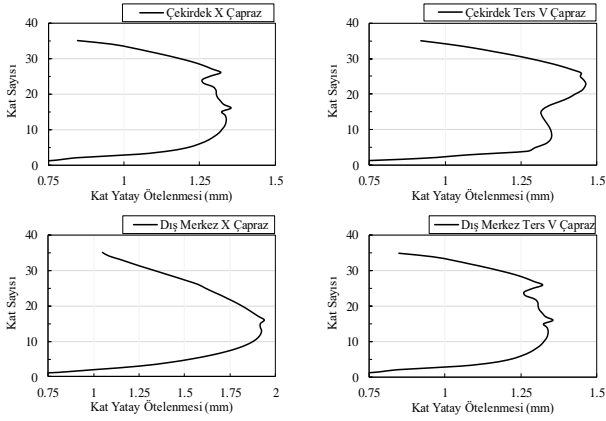
Her modele ait yatay deplasman grafikleri Şekil 14’de gösterilmiştir.



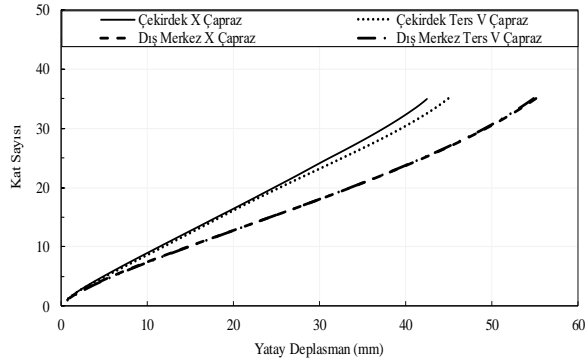
Şekil 14. Modellerin yatay deplasman grafikleri

Görelî kat ötelenmeleri grafikleri Şekil 15’de gösterilmiştir. Görelî kat ötelenmeleri hesabı Şekil 4’de gösterilen spektrum yüklemesiyle yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükü ile ötelenme hesabı yapılması yüksek katlı bir yapı için yüksek mertebelerde sonuçlar doğuracağından ötürü ötelenme hesabı için spektrum yüklemesi yapılmıştır.

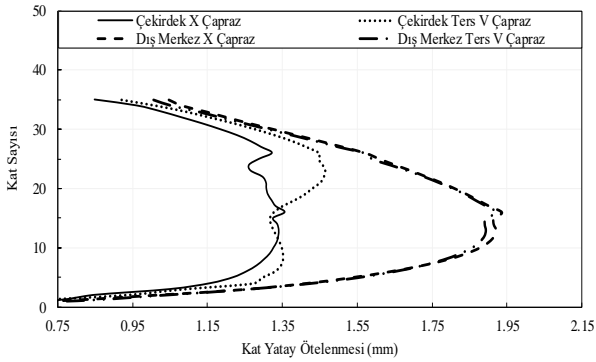
Karşılaştırmalı yatay deplasman ve ötelenme grafikleri Şekil 16-17’de gösterilmiştir. Şekillerden de gözlemlendiği üzere çekirdek bölümünde konumlanan çaprazlı modeller birbirine benzer davranış göstermiştir. Dış açıklarda modellenen çaprazlı modellerin ise grafikleri örtüşmüştür. Maksimum yatay deplasman miktarı 55.18 mm iken maksimum ötelenme miktarı 1.94 mm’dir.



Şekil 15. Modellerin kat yatay ötelenme grafikleri



Şekil 16. Karşılaştırmalı yatay deplasman grafikleri



Şekil 17. Karşılaştırmalı kat yatay ötelenme grafikleri

4 Sonuçlar

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve bu kapsamdaki değerlendirmeler, öneriler aşağıda belirtilmiştir.

•Çaprazların merkezde modellenmesi dış açıklıklarda modellenmesine kıyasla yaklaşık olarak %40-50 aralığında yapı ağırlığında artışa sebebiyet vermektedir.

•Çalışma kapsamında çapraz profil tipinin değişiminin analiz sonuçlarına etkisi az iken çaprazların konumunun analiz sonuçlarına büyük etki ettiği gözlemlenmiştir.

•Çaprazların çekirdekte konumlandığı modeller için ters V çaprazlı model-3, X çaprazlı model-1'e kıyasla % 4.9 oranında daha fazla yatay deplasman gerçekleştirmiştir. Çaprazların dış açıklıklarda konumlandığı modeller için X

çaprazlı model-2, ters v çaprazlı model-4'e kıyasla %0.57 oranında daha fazla yatay deplasman gerçekleştirmiştir.

•Model-1 ve model-2 gerek yatay deplasman davranışında gerekse öteleme davranışında çok büyük oranda benzer davranış göstermiştir. Aynı benzerlik model-3 ve model-4 için geçerlidir.

•Çaprazların çekirdekte modellendiği durumlar için maksimum göreceli kat ötelenmesi miktarı 1.46 mm iken dış açıklıklarda modellendiği durumlar için 1.94 mm'dir. Dış açıklıklarda ötelenme miktarlarının fazla olmasının nedeni çekirdek bölgesinde modellenen çaprazları çevreleyen kolonların kesitlerinin büyütülmesidir.

•Model-1 ve model-2 kıyaslamasında kat ötelemelerinin model-2'de fazla çıkmasının sebebi maliyetin model-2'de daha düşük olması ile birlikte, model-1 merkez çaprazların kenar kolonlarının özel kesit olma zorunluluğudur. Dayanım açısından ise bu durum yatay rijitliğin dış akslara kaydığı model 2'de daha az maliyetli kolonlar ile çözümlenmiştir. Benzer durum model-3 ve model-4 kıyaslaması için de mevcuttur.

•Çaprazların çekirdek bölgesinde konumlandığı modellerde çaprazlar aksel yönde zorlanmasından ötürü çaprazları çevreleyen kolon kesitleri büyütülmüştür. Alternatif çalışma olarak tüm profiller aynı tipte seçilerek deplasman değerleri karşılaştırılabilir.

•Genel olarak değerlendirme yapılacak olursa kesitlerin kapasite açısından yeterli durumu sağladığı modellenmelerde yapı ağırlığı açısından daha düşük olmaları sebebiyle dış merkez çaprazların daha az maliyetli ve dolayısıyla ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Ötelenme ve deplasman değerleri baz alındığında ise çekirdekte oluşturulan çapraz modellerin dış merkez çapraz modellere göre daha düşük değerlerde olduğu saptanmıştır. Ters V ve X çaprazlar kendi içinde karşılaştırıldığında ise X çaprazların kullanıldığı modellerin Ters V çaprazların kullanıldığı modellere göre daha az yapı ağırlığı oluşturduğu belirlenmiştir. X çaprazlı modeller Ters V çaprazlı modellere kıyasla daha düşük deplasman ve ötelenme değeri göstermişlerdir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %8

Kaynaklar

- [1] TBDY-2019. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar. Ankara, 2019.
- [2] E. Bazán and E. Rosenblueth, Seismic response of one-story X-braced frames. Journal of the Structural Division, 100(2), 489-493,1974. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0003732>.
- [3] M. Bosco, and P.P. Rossi, A design procedure for dual eccentrically braced systems: Analytical formulation. Journal of Constructional Steel Research, 80: 440-452, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.08.003>
- [4] B. Akbaş, Endüstriyel çelik yapıların sismik detaylandırılması. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara, 2011

- [5] E. Engng, S. Dyn, I. Peruä, and P. Fajfar, On the inelastic torsional response of single-storey structures under bi-axial excitation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 34.8: 931-941, 2005. <https://doi:10.1002/eqe.462>.
- [6] P. Fajfar, D. Marušić, I. Peruš, Torsional effects in the pushover-based seismic analysis of buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 9.06: 831-854, 2005. <https://doi:10.1080/13632460509350568>.
- [7] S. C. Goel and R. D. Hanson, Seismic behavior of multistory braced steel frames. *Journal of the Structural Division*, 100.1: 79-95, 1974. <https://doi:10.1061/JSDEAG.0003706>.
- [8] Ö. Bozdağ, M. Seçer, Yarı rijit birleşimli çelik çerçevelerin analizi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği On yedinci Teknik Kongre ve Sergisi*, İstanbul, 2004.
- [9] J. Shen, R. Wen, B. Akbas, B. Doran, Seismic demand on brace-intersected beams in two-story X-braced frames. *Engineering Structures*, 76: 295-312, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.07.022>.
- [10] A. Lucchini, G. Monti, and S. Kunnath, Nonlinear response of two-way asymmetric single-story building under biaxial excitation. *Journal of Structural Engineering*, 137.1: 34-40, 2011. [https://doi:10.1061/\(ASCE\)ST.1943541X.0000266](https://doi:10.1061/(ASCE)ST.1943541X.0000266).
- [11] K. Lee and M. Bruneau, Energy dissipation of compression members in concentrically braced frames: review of experimental data. *Journal of Structural Engineering*, 131.4: 552-559, 2005. [https://doi:10.1061/\(ASCE\)07339445\(2005\)131:4\(552\)](https://doi:10.1061/(ASCE)07339445(2005)131:4(552)).
- [12] Ö. Çavdar, Farklı çapraz elemanlı çelik yapıların dinamik davranışının incelenmesi. 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, Gaziantep, Türkiye, 27-29 Ekim 2017.
- [13] D. E. Nassani, A. K. Hussein, A. H. Mohammed, Comparative response assessment of steel frames with different bracing systems under seismic effect. In *Structures*, 11: 229-242, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2017.06.006>.
- [14] C. W. Roeder et al., Influence of gusset plate connections and braces on the seismic performance of X braced frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 40.4: 355-374, 2011. <https://doi:10.1002/eqe.1024>.
- [15] M. E. Kural and Ö. Zeybek, Merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş çok katlı çelik yapıların ikinci mertebe analizi. *Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10.20: 1-14, 2011.
- [16] M. B. Bozkurt ve Ö. Zeybek, Çapraz konfigürasyonunun merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımına ve dinamik performansına etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23.68: 399-412, 2021. <https://doi:10.21205/deufmd.2021236805>.
- [17] Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇYTHYE-2018, Ankara, 2018.

