

Dışmerkez V Çaprazların Çelik Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi

Investigation of Eccentric V Braces on a Steel Structure

Semih ARIBAŞ¹, Sadrettin SANCIOĞLU^{1,*}, Serdar ÇARBAŞ^{1,2}

¹İnşaat Müh. Bölümü, Müh. Fakültesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye

² İnşaat Müh. Bölümü, Müh. Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Karaman, Türkiye

*Sorumlu yazar: sadrettin.sancioglu@karatay.edu.tr

Öz

Betonarme yapılarda deprem etkilerine karşı betonarme perdeler kullanılırken, çelik yapılarda ise çelik çaprazlar tercih edilmektedir. Çelik çaprazlar yatay yükler altında yapının daha fazla yük taşıırken, daha az deplasman yapmasını sağlar. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) farklı tipte çelik çaprazlara yer verilmiştir. Dışmerkez çelik çaprazlar yapıdaki kolon, kiriş gibi taşıyıcı elemanların yatay yükler altında elastik bölgede kalmasını sağlarken, bağ kirişlerinin elastik ötesi davranış göstermesine izin vermektedir. Bu çalışmada beş katlı, moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan bir bina ile dışmerkez “V” çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan bir binanın düşey yük ve deprem etkileri altında tasarımı yapılarak yapısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Tasarımda TBDY-2018, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE-2018) yönetmeliklerine ve ilgili standartlara bağlı kalınmıştır. Simetrik bir yapıda tüm çapraz bağlantılar yapı üzerine simetrik olarak yerleştirilmiştir. Sonuç olarak, dışmerkez “V” çaprazlı binanın deprem etkisi altında en üst kat ötelenmesinin daha az olduğu ve buna bağlı olarak kesit boyutlarının küçüldüğü görülmüştür. Kesit boyutlarının küçülmesi ile kullanılan çelik malzeme miktarı ve toplam bina ağırlığında azalma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik yapılar, deprem, dışmerkez çelik V çapraz, yapı yönetmelikleri

Abstract

While reinforced concrete shear walls are used for the effects of earthquakes in reinforced concrete structures, steel braces are preferred for steel structures. Steel braces

allow the structure to carry more loads and less displacement under horizontal loads. Turkey Building Seismic Code suggests different types of steel braces. The eccentric steel braces allow the structural elements such as columns and beams to remain in the elastic region under horizontal loads while permitting the links to exhibit plastic behavior. In this study, a five-story building with moment resisting steel frames and a building with eccentric “V” steel braces frames are designed by under vertical loads and earthquake effects. Structural analysis results are compared with each other. In design, the provisions included by Turkey Building Seismic Code, Regulation on Steel Structures of Turkey and related standards are obeyed. In a symmetrical structure, all brace-links are placed symmetrically on the structure. As a result, it is observed that the eccentric “V” steel braced building has less displacement to the top floor under the effect of the earthquake loads and the sizes of the cross-sections, consequently, are reduced. The amount of steel material utilized and so the total weight of the building decreased with the reduction of the cross-sectional sizes.

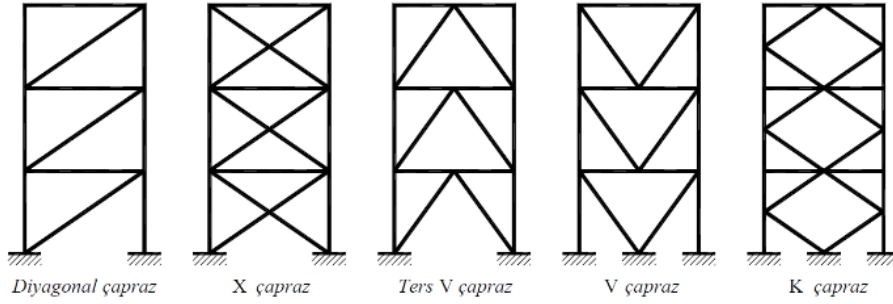
Key words: Steel structures, earthquake, eccentric steel V brace, building codes

1. Giriş

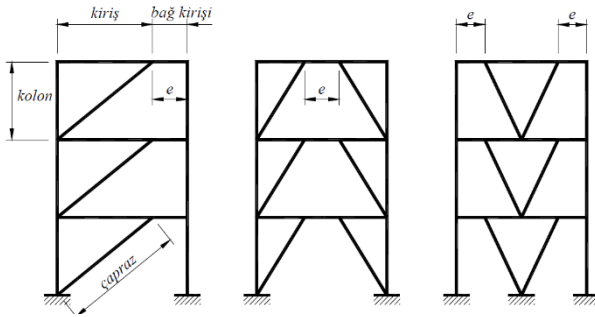
Teknolojideki gelişmelerle birlikte kullanım alanı giderek yaygınlaşan çelik yapılar, özellikle sanayi yapılaşmasında fazlaca kullanılmaktadır. Çelik malzemelerin dayanımının ve elastisite modülünün diğer malzemelerden çok daha yüksek olması, yapı inşa süresinin hızlı olması v.b. sebepler, çeliği diğer malzemelerden daha üstün kılmaktadır. Fakat çeliğin malzeme olarak yüksek sünekliğe sahip olması, çelik yapılarda da aynı oranda sünekliğe sahip olduğu anlamına gelmemektedir. Bunun sebebi, sistem sünekliğinin malzeme sünekliği ile birlikte sistem geometrisine de bağlı olmasıdır.

Çelik yapı sistemlerinde deprem etkilerini en aza indirmek için moment birleşimleri veya çelik çapraz elemanları kullanılmaktadır. İşçilik kolaylığından dolayı çapraz sistemlerinin kullanımı daha yaygındır. Çapraz sistemlerinin kullanımı yapılarda yanal stabilitenin sağlanmasına ve deprem anında enerji sönmleme özelliği ile yapıdaki hasarların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Çapraz elemanların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği TBDY-2018’e göre eş merkezli (konsantrik) ve dışmerkezli (eksantrik)

olmak üzere Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterildiği üzere iki farklı uygulama şekli bulunmaktadır.



Şekil 1. TB DY-2018' e göre eş merkezli çapraz uygulama şekilleri



Şekil 2. TB DY-2018' e göre dışmerkezli çapraz uygulama şekilleri

Eş merkezli çapraz bağlantılar, çelik yapılarda deprem kaynaklı yatay kuvvetlere dayanım göstermesi ve bu kuvvetlerin oluşturduğu enerjiyi sönmülmesi için sıkça kullanılmaktadır [1]. Eş merkezli çapraz çerçevelerde yapısal elemanlar orta noktada kesişen düşey kafes sistemden oluşmaktadır. Eş merkez çaprazlı çelik çerçevelerde (Concentrically Braced Frames (CBF)), çerçeve elemanları elastik sınır içerisinde sadece normal kuvvet taşımaktadır. Yine bu sistemde çapraz bağlantı elemanları ise, sadece yatay yükler etkisi altında aksenal yük taşımaktadır.

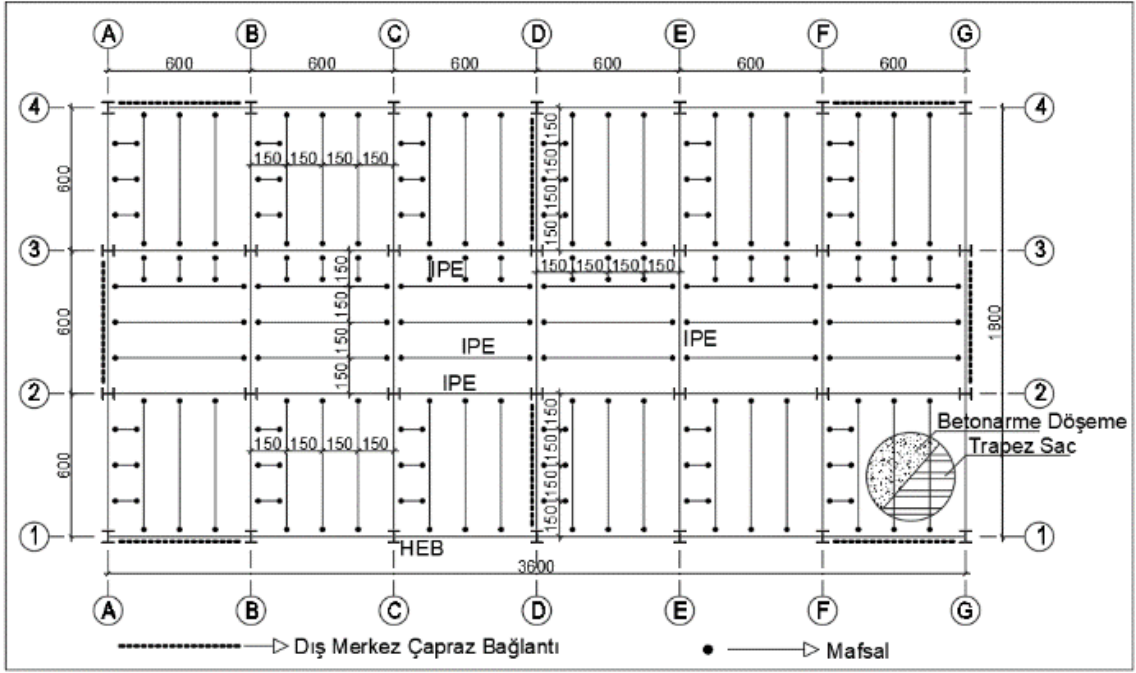
Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde, deprem etkisiyle meydana gelen yatay kuvvetin ortaya çıkardığı enerji, çapraz elemanlar tarafından sönmülürken diğer yapı elemanları elastik davranış sergilemektedir. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevenin (Eccentrically Braced Frames (EBF)) tasarımındaki ana fikir, hem moment aktaran çelik çerçevenin (Moment Resisting Frames (MRF)) hem de merkezi çelik çaprazlı çelik çerçevenin (CBF) yatay yük dirençli sistemlerini tek bir yapısal sisteme entegre etmektir [2]. Buradaki temel mantık moment aktaran çelik çerçevelerin yüksek sünekliği ile merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin dayanım ve rijitliğinin birleştirilmesidir [3]. Dışmerkez

çaprazlı sistemlerin ana parçalarından olan bağ kirişi, yapının deprem etkisi altında sigortasıdır. Bağ kirişi deprem etkisi altında ortaya çıkan enerjiyi yutarak sönümler. Bu elemanlar önemli plastik gerilmelere neden olabilecek döngüsel yüklere maruz kalabilir [4]. Bu nedenle sönümleme sırasında bağ kirişi deformasyona uğrar. Bu sistemin temel dezavantajı, ağır bir deprem sonrasında hasar alan bağ kirişinin onarılmasının veya değiştirilmesinin çok zor olmasıdır. Literatürde, bu durumun önüne geçmek amacıyla yapılmış, kolaylıkla değiştirilebilir bağ kirişli sistemler için bazı çalışmalar vardır [5].

Bu çalışmada tasarım ve hesap kolaylığı açısından değiştirilebilir bağ kirişli çapraz sistemleri tercih edilmemiştir. Bunun yerine klasik, yönetmelikte belirtilen dışmerkez “V” çaprazlı sistem kullanılmıştır [6]. Çalışmanın temel amacı, moment aktaran çelik çerçevesel bir yapı ile dışmerkez çaprazlı çelik çerçevesel bir yapının deprem ve düşey yükler etkisi altında karşılaştırmalı incelenmesidir. Bu karşılaştırmalar daha temel kriterlere göre yapılmış olup, yapı tasarımı sırasında TBDY-2018 başta olmak üzere, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE-2018) ve ilgili standartlara bağlı kalınmıştır.

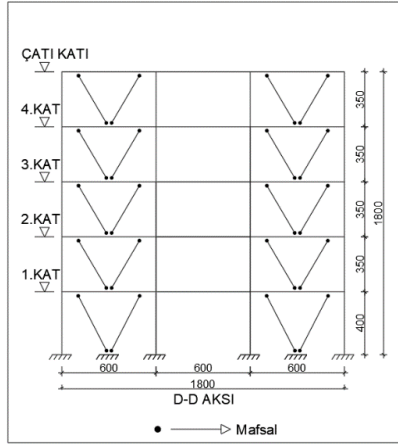
2. Materyal ve Metot

Tasarımı yapılacak olan binanın herhangi bir burulma düzensizliğine maruz kalmaması ve tasarım kolaylığı açısından simetrik bir mimari tercih edilmiştir. Çapraz bağlantıların bina üzerindeki konumu yine simetrik bir şekilde tayin edilmiştir. Binaya ait tipik kat planı Şekil 3’ te verilmiştir.



Şekil 3. Tipik kat planı

Binanın statik ve dinamik analizleri “SAP2000” kullanılarak yapılmıştır [7]. Bu ticari yazılım üzerinde modelleme yapılırken öncelikle, moment aktaran çelik çerçevesel bina modellenmiş daha sonra ise bu yapı üzerine dışmerkez “V” çaprazlar eklenerek ikinci bir yapı modeli oluşturulmuştur. Dışmerkez çelik çapraz bağlantı elemanlarının yerleşim şekli tüm çerçevelerde benzer olup, örnek gösterim amacıyla Şekil 4’te verilmiştir. Bina tasarımı sırasında mimari özellikler belirlenmeden önce, binanın bir iş merkezi olarak kullanılacağı varsayılmıştır. Bu durum göz önüne alınarak mimari özellikler belirlenmiştir. Mimari olarak bina Z+4 kat olmak üzere 5 katlı tasarlanmıştır. Zemin katın kat yüksekliği 4 m, diğer katların kat yüksekliği ise 3,5 m olarak tayin edilmiştir. Bina “X” yönünde 6 açıklıklı, “Y” yönünde 3 açıklıklı olarak belirlenmiştir. Bina mimari ve statik tasarımına ait diğer bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 4. D-D aksı görünüşü ve dışmerkez çaprazların yerleşimi

Bu bölümden itibaren süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve bina “1. model”, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve bina ise “2. model” olarak anılacaktır.

Tablo 1.

Tasarımı yapılan binalara ait mimari ve statik özellikler

Kriterler	1. Model	2. Model
Kat Adedi	5	5
Z. Kat Kat Yüksekliği (m)	4	4
1., 2., 3., 4. Kat Kat Yüksekliği (m)	3,5	3,5
"X" Yönü Açıklığı (m)	6	6
"X" Yönü Çerçeve Adedi	7	7
"Y" Yönü Açıklığı (m)	6	6
"Y" Yönü Çerçeve Adedi	4	4
Çerçeve Tipi	MRF	EBF
Çapraz Bağlantı Adedi	-	40

2.1. Statik ve Dinamik Analiz

Mimari ve statik tasarım kriterleri belirlenen binanın öncelikli olarak yönetmelik tabanlı yük analizi yapılmıştır. Yük analizi sonucunda döşemelere gelen sabit yükler G , 400 kg/m^2 olarak belirlenmiştir. Bölme duvarlar iç duvarlarda ve dış duvarlarda farklı tipte düşünülmüştür. Ayrıca çapraz bağlantı elemanlarının yapı içinde gizlenmesi amacıyla,

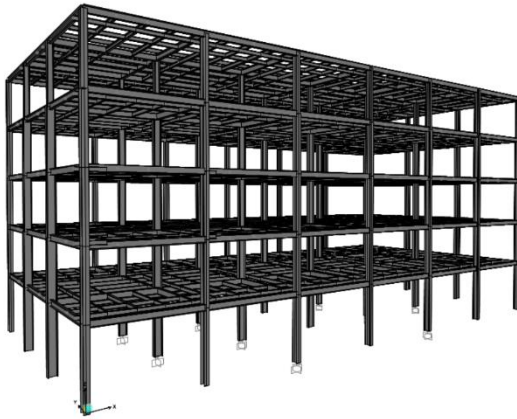
çapraz bağlantı elemanlarının bulunduğu kısımlarda duvarlar çift katman olarak konumlandırılmıştır. Bu durumlar göz önüne alındığında tek katmanlı iç duvarları taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler G , 130 kg/m; çift katmanlı iç duvarları taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler G , 260 kg/m; tek katmanlı dış duvarları taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler G , 410 kg/m; çift katmanlı dış duvarlı taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler G , 820 kg/m olarak belirlenmiştir. Yapının taşıyıcı elemanlarının zati yükleri ise SAP2000 tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

Yapı üzerine gelen hareketli yükler Q , TS498' de [8] belirtilen koşullara göre ofisler için 200 kg/m^2 , ofis koridorları için 500 kg/m^2 olarak belirlenmiştir.

Tasarımı yapılan binanın İstanbul şehrinde inşa edileceği düşünüldüğünden kar yüklerine (S) maruz kalacağı bilinmektedir. Bu nedenle TS EN 1991-1-3' de [9] belirtilen koşullara göre 60 kg/m^2 olarak belirlenmiştir.

Yük analizinde son olarak binaya etki edecek olan rüzgâr yükleri W , TS EN 1991-1-3' de [10] belirtilen koşullara bağlı kalmak şartıyla SAP2000 tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

Analizi yapılan bu yükler altında 1. model' in taşıyıcı elemanlarının ön boyutlandırılması yapılmış ve toplam bina ağırlığı SAP2000 aracılığı ile hesap edilmiştir. Şekil 5' te SAP2000 modeline ait görsel sunulmuştur. Kesit boyutlandırmasında yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) yaklaşımı kullanılmıştır.



Şekil 5. 1. Model 3D görünüş

Deprem hesabında, tasarımı yapılan binanın TBDY-2018’de [6] verilen koşulları sağlaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Deprem yükleri belirlenirken hesapta kullanılan değer ve kriterler Tablo 2’ de verilmiştir.

Deprem yükleri belirlendikten sonra 1. model üzerine, katlara göre ağırlık merkezlerinden etki ettirilmiştir. Bu duruma göre kesitler yeniden boyutlandırılmış ve 1. model için en ideal kesitlere ulaşılmıştır.

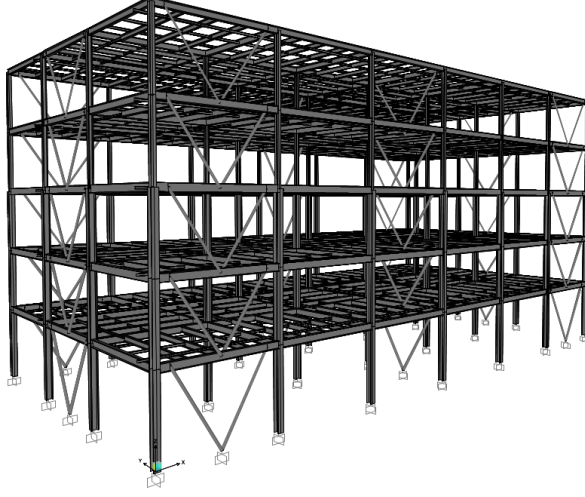
Tablo 2.

Deprem hesabında kullanılan değer ve kriterler

Kriterler ve Değerler	1. Model	2. Model
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	ZC
S_{Ds}	1	1
S_{D1}	0,489	0,489
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3	3
Bina Önem Katsayısı (I)	1	1
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	5	5
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3	3

Tasarımı tamamlanan 1. model üzerine, daha önceden konumları belirlenmiş olan dışmerkez “V” çaprazlar eklenerek 2. model elde edilmiştir. Bu model için yapısal analiz tekrarlanmış ve çapraz bağlantıların etkisiyle yapı daha rijit bir hale getirilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak yapı taşıyıcı elemanları için tekrar kesit boyutlandırması yapılmıştır. Rijitlik etkisi ve dışmerkez çaprazların düşey yüklerden dolayı oluşan aksenal yükleri taşıyabilme özelliği nedeniyle kesitler daha optimize hale gelerek, daha küçük kesitlerle aynı yükler taşınabilmiştir. Kesitlerin küçülmesi sonucu bina ağırlığında azalma olmuş ve elde edilen yeni bina ağırlığına göre, Tablo 2’ de verilen değer ve kriterler kullanılarak deprem hesabı tekrar yapılmıştır. Buna bağlı olarak

2. model için en ideal kesitlere ulaşılmıştır. 2. modelin SAP2000 modeline ait görsel Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6. 2. Model 3D görünüş

2.2. Bağ Kirişinin Boyutlandırılması

2. modelin tasarımı sırasında binaya eklenen dışmerkez çapraz bağlantı sisteminin en önemli elemanlarından birisi olan bağ kirişi TBDY-2018'e göre boyutlandırılmıştır. Bağ kirişlerin tasarım dayanım kontrolü TBDY-2018 Bölüm 9.8.2.2'ye göre belirlenen ve genel analiz yöntemi gereğince azaltılmış eleman rijitlikleri ile ikinci mertebe etkilerinde göz önüne alınması suretiyle, TBDY-2018 9.2.5'te verilen deprem etkilerini içeren yük birleşimleri altında hesaplanan en elverişsiz iç kuvvetler (gerekli dayanımlar) esas alınarak yapılmıştır.

TBDY-2018 Bölüm 9.8.2'ye göre süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde, her çapraz elemanın en az bir ucunda bağ kirişi bulunacaktır. Bağ kirişleri, deprem etkilerini içeren yük birleşimleri esas alınarak hesaplanan iç kuvvetler (eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti) altında boyutlandırılacaktır [6].

2. model göz önüne alındığında dayanım, rijitlik ve süneklik açısından, yapı geneli için en iyi performansı sağlaması sebebi ile kısa bağ kirişi tercih edilmiştir. Tavsiye edilen bağ kirişi boyu hesap formülü Eş.1' de verilmiştir.

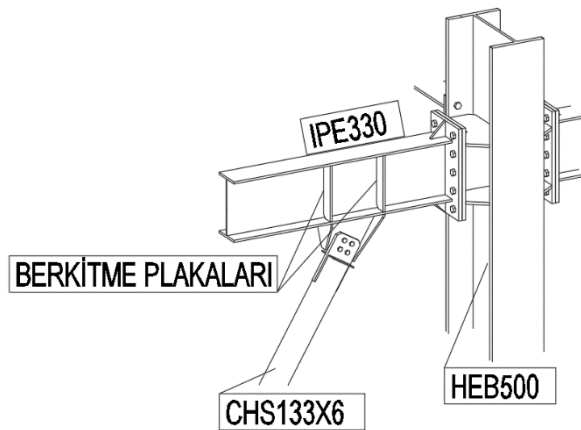
$$1,0 x (M_p) / V_p \leq e \leq 1,3 x (M_p) / V_p \quad (1)$$

Bu durumda bağ kirişinin plastik kesme dayanımı (V_p) ve plastik moment dayanımı (M_p) Eş.2-3 ile ifade edilebilir.

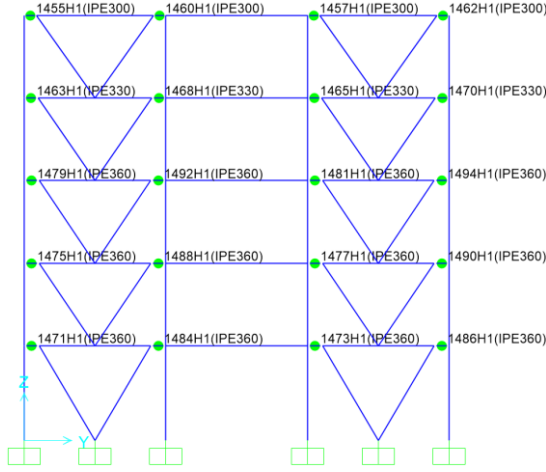
$$V_p = 0,6 x F_y x (d - 2t_f) x t_w \quad (2)$$

$$M_p = W_p x F_y \quad (3)$$

Bağ kirişleri program üzerinde modellenirken TBDY-2018 EK5C' de verilen bilgilerle uyumlu olarak, kiriş üzerinde ve geometrik olarak kiriş merkezinde plastik kesme mafsalları tanımlanmıştır. Bağ kirişine ait 3D görüntü Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca SAP2000 üzerinde tanımlanan plastik kesme mafsallarının konumuna ait görüntü sadece bir aks için Şekil 8'de verilmiştir. Diğer akslarda bulunan plastik kesme mafsalları yine benzer şekilde modellenmiştir.



Şekil 7. Bağ kirişi ve bağlantı detaylarına ait 3D görünüş



Şekil 8. Bağ kirişleri üstüne konumlandırılan plastik kesme mafsalları

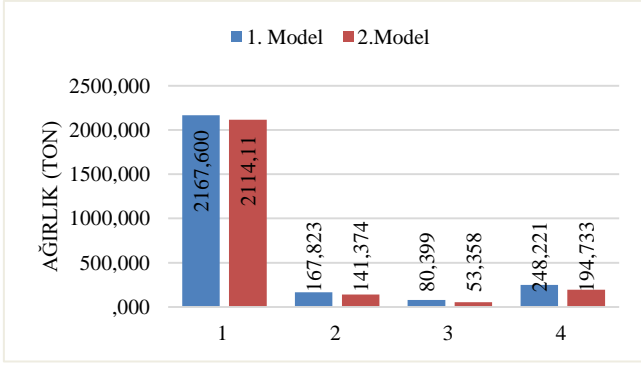
3. Bulgular

Analiz ve tasarımı tamamlanan yapısal modeller karşılaştırıldığında dışmerkez “V” çaprazlı binanın birçok açıdan daha avantajlı olduğu görülmüştür. Binalar toplam ağırlık ve imalat sürecinde taşıyıcı sistem elemanları için kullanılan malzeme ağırlığı bakımından kıyaslandığında 2. modelin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Detaylı karşılaştırma verileri Tablo 3’ te ve Şekil 9’ da verilmiştir.

Tablo 3.

1. Model ve 2. Model ağırlık karşılaştırması

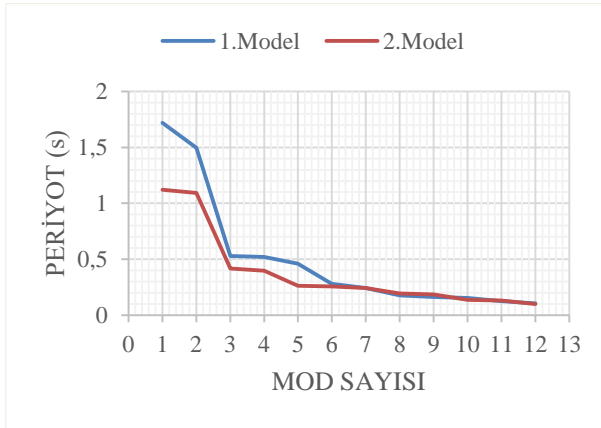
Kategoriler	1. Model	2. Model
1-Toplam Bina Ağırlığı (ton)	2167,60	2114,11
2-Kullanılan Toplam S275 Yapısal Çeliği (ton)	167,82	141,37
3-Kullanılan Toplam S355 Yapısal Çeliği (ton)	80,40	53,36
4-Kullanılan Toplam Yapısal Çelik (ton)	248,22	194,73



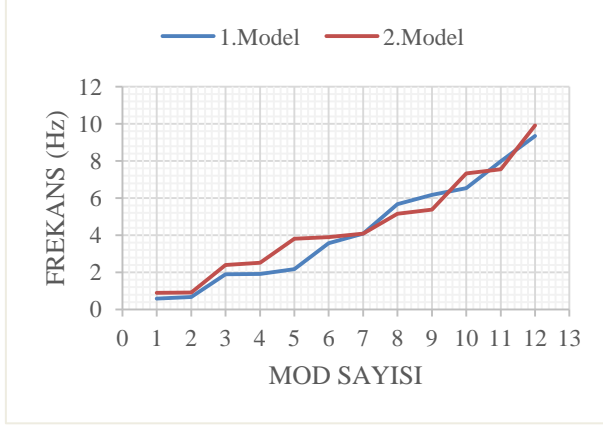
Şekil 9. 1.Model ve 2.Model karşılaştırma grafiği

Verilen grafik ve tablolar incelendiğinde, 2. modelin 1. modele göre toplam bina ağırlığında %2,47, kullanılan toplam S275 yapısal çeliğinde %15,76, kullanılan toplam S355 yapısal çeliğinde %33,63 ve son olarak kullanılan toplam yapısal çelikte %21,55 azalma görülmüştür.

Modeller rijitlik bakımından karşılaştırıldığında ise yine dışmerkez “V” çaprazlı binanın daha rijit olduğu gözlemlenmiştir. Daha detaylı inceleme yapılabilmesi için modellere ait periyot ve frekans grafikleri Şekil 10 ve Şekil 11’ de verilmiştir.



Şekil 10. 1. Model ve 2. Model periyot grafiği



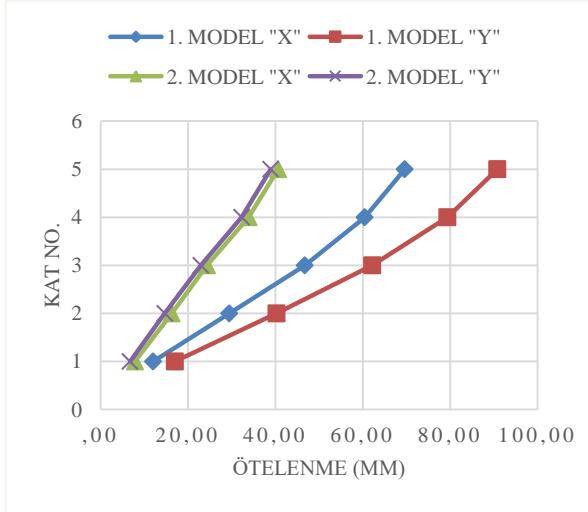
Şekil 11. 1. Model ve 2. Model frekans grafiği

Modellere ait periyot ve frekans grafikleri incelendiğinde 2. modelin 1. modele göre salınım periyodunun daha düşük, frekansının ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda 2. modelin 1. modele göre daha rijit bir yapı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte modellere ait en üst katların yatay ötelenmeleri karşılaştırıldığında 2. modelin kat ötelenmesinin 1. modele göre daha az olduğu görülmüştür. Detaylı karşılaştırma bilgileri Tablo 4 ve Şekil 12' de verilmiştir.

Tablo 4.

Deprem yükleri etkisi altında maksimum kat ötelenmeleri

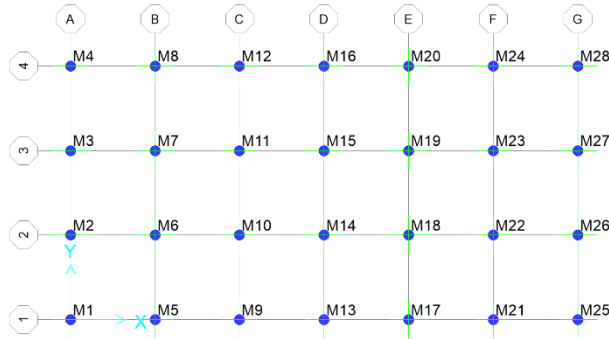
Kategoriler	1. Model	2. Model
X Yönü Yatay Ötelenme (mm)	69,57	40,61
Y Yönü Yatay Ötelenme (mm)	90,76	38,91



Şekil 12. Kat ötelenmeleri grafiği

Tablo 4 incelendiğinde 1. modele göre 2. modelin “X” yönündeki yatay ötelenmesi %41,63, “Y” yönündeki yatay ötelenmesi %57,63 azalmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda 2. modelin 1. modele göre daha rijit bir yapı olduğu görülmektedir.

Son olarak iki modelin taban mesnetlerindeki kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çapraz bağlantıların yer aldığı aksların taban mesnetlerindeki kesme kuvvetlerini karşılaştırmak daha detaylı bir sonuç vereceğinden sadece M1, M2, M3, M4, M5, M8, M13, M14, M15, M16, M21, M24, M25, M26, M27 ve M28 isimli mesnetlerde karşılaştırma yapılmıştır. Bu mesnetlerin yapı üzerindeki konumları Şekil 13’ de verilmiştir.



Şekil 13. Mesnetlerin yerleşimi

Karşılaştırma sonucunda 1. modele göre 2. modelin taban mesnetlerinde, çapraz bağlantının etkisiyle kesme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Detaylı karşılaştırma bilgileri Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5.

“X” ve “Y” yönündeki yatay kesme kuvvetleri

Mesnet Adı	1. Model		2. Model	
	Yükleme Durumu	Kuvvet (ton)	Yükleme Durumu	Kuvvet (ton)
M1	Ex	-8,27	Ex	-59,56
M2	Ex	-15,05	Ex	-6,00
M3	Ex	-15,05	Ex	-6,00
M4	Ex	-8,27	Ex	-59,56
M5	Ex	0,96	Ex	56,40
M8	Ex	0,96	Ex	56,40
M13	Ex	0,00	Ex	0,00
M14	Ex	0,00	Ex	0,00
M15	Ex	0,00	Ex	0,00
M16	Ex	0,00	Ex	0,00
M21	Ex	-0,96	Ex	-56,40
M24	Ex	-0,96	Ex	-56,40
M25	Ex	8,27	Ex	59,56
M26	Ex	15,05	Ex	6,00
M27	Ex	15,05	Ex	6,00
M1	Ey	-12,20	Ey	-3,92
M2	Ey	2,65	Ey	-56,04
M3	Ey	-2,65	Ey	56,04
M4	Ey	12,20	Ey	3,92
M5	Ey	-15,42	Ey	-4,15
M8	Ey	15,42	Ey	4,15
M13	Ey	-15,45	Ey	-74,02
M14	Ey	4,22	Ey	68,33

M15	Ey	-4,22	Ey	-68,33
M16	Ey	15,45	Ey	74,02
M21	Ey	-15,42	Ey	-4,15
M24	Ey	15,42	Ey	4,15
M25	Ey	-12,20	Ey	-3,92
M26	Ey	2,65	Ey	-56,04
M27	Ey	-2,65	Ey	56,04

4. Tartışma ve Sonuç

Analiz ve araştırma sonuçları değerlendirilip karşılaştırıldığında dışmerkez “V” çaprazlı çelik binanın herhangi bir çapraz bağlantısı olmayan çelik bir binaya göre çok daha avantajlı olduğu görülmüştür. Çapraz bağlantısı olan çelik binanın çaprazsız çelik binaya göre daha rijit bir yapıda olması ve dışmerkezli çaprazların eksenel yük taşıma özelliği sayesinde taşıyıcı sistem kesitlerinde küçülme görülmüş, bu sayede ekonomik açıdan daha uygun bir bina elde edilmiştir. Yine çapraz bağlantı sistemi bulunan binanın daha stabil bir yapıda olması, deprem etkilerine karşı daha dayanıklı olmasını sağlamıştır.

Çapraz bağlantı sistemi bulunan binanın deprem etkilerine karşı bir diğer avantajlı yönü ise yukarıda bahsedildiği üzere taşıyıcı sistem kesitlerinin küçülmesi sonucunda toplam bina ağırlığının azalmasıyla, binaya etkiyecek deprem yüklerinin doğru orantılı olarak azalmasıdır. Kullanılan yapısal çeliğin toplamda %21,55 azalmasıyla malzeme kullanımından tasarruf edilmiş ve böylece ekonomik avantaj sağlanırken, bununla bağlantılı olarak toplam bina ağırlığında %2,47 azalma olmuştur. Bu azalmalar sonucunda yukarıda bahsedildiği üzere bina deprem etkilerine daha az maruz kalmaktadır.

Bu çalışmada, projelendirmesi yapılan çelik bina boyutlarına göre değerlendirildiğinde, az katlı ve nispeten küçük bir yapı olarak düşünülebilir. Tasarımı yapılacak olan binanın çok katlı ve büyük boyutlara sahip olması durumunda yukarıda bahsedilen farklar daha büyük olacak ve dışmerkezli çaprazların etkisi daha efektif olarak görülebilecektir.

Kaynaklar

- [1] Sen A, Roeder C, Lehman D, Berman J. Nonlinear modeling of concentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2019
- [2] Azad S, Topkaya C. A review of research on steel eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2017
- [3] Ay Z, Çelik İ. Dışmerkez çelik çapraz perde bir sistemde bağ kirişi boyunun 2007 Türk Deprem Yönetmeliği açısından incelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2012
- [4] Chacón R, Vega A, Mirambell E. Numerical study on stainless steel I-shaped links on eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2019
- [5] Bozkurt M, Topkaya C, Replaceable links with direct brace attachments for eccentrically braced frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2017
- [6] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara, 2018
- [7] SAP2000, Linear and nonlinear static and dynamic analysis of three-dimensional structures, Advanced Version 20.2, Computer and Structures, Berkeley, CA.
- [8] TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1997
- [9] TS EN 1991-1-3, Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-3: Genel Etkiler – Kar Yükleri, EUROCODE 1, Nisan 2007
- [10] TS EN 1991-1-4, Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-3: Genel Etkiler – Rüzgar Etkileri, EUROCODE 1, Aralık 2007

- [11] Bosco M, Rossi P. A design procedure for dual eccentrically braced systems: Numerical investigation. *Journal of Constructional Steel Research*, 2013
- [12] Sabol T, Nishi, D. Application of performance-based design to an eccentrically braced frame structure. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2011
- [13] Dubina D, Stratan A, Chesoaan A. Design recommendations for dual moment-eccentric braced frames with replaceable links. *Eurosteel*, 2017
- [14] Bastami M, Jazany R. Development of eccentrically interconnected braced frame (EIC-BF) for seismic regions. *Thin-Walled Structures*, 2018
- [15] Kuşyılmaz A, Topkaya C. Displacement amplification factors for steel eccentrically braced frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2015
- [16] Al-Mashaykhi, M, Rajeev P, Wijesundara K, Hashemi, M. Displacement profile for displacement based seismic design of concentric braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2019
- [17] Mohammadrezapour E, Danesh F. Experimental investigation of bolted link-to-column connections in eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2018
- [18] Vetr M. Experimentally and analytically study on eccentrically braced frame with vertical shear links. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2018
- [19] Kuşyılmaz A, Topkaya C. Fundamental periods of steel eccentrically braced frames. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2014
- [20] Fakhraddini A, Saffari H, Fadaee M. Peak displacement patterns for the performance-based seismic design of steel eccentrically braced frames. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2019

- [21] Tashakori J, Razzaghi J, Ansari S. Reassessment of current design criteria of plastic hinges in shear links. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019
- [22] Azad S, Topkaya C, Astaneh-Asl A. Seismic behavior of concentrically braced frames designed to AISC341 and EC8 provisions. *Journal of Constructional Steel Research*, 2017
- [23] Shayanfar M, Rezaeian A, Zanganeh A. Seismic performance of eccentrically braced frame with vertical link using PBPD method. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2012