



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Dış Merkezi Çelik Çapraz Tiplerinin Çerçeve Davranışına ve Yapı Maliyetine Etkisinin İncelenmesi

 Şenol GÜRSOY^{a,*},  Ayşegül YILMAZ^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sgursoy@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.905031

ÖZ

Bugün Türkiye’de çelik yapıların tasarımı ve deprem davranışları, özellikle yüksek yapıların projelendirilmesinde, inşaat mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Diğer taraftan özellikle deprem ve rüzgâr gibi yatay etkilere karşı değişik yanal yük taşıyıcı çelik çerçeve türleri uygulanmaktadır. Bu nedenle doğru çelik taşıyıcı sistem seçiminin önemli olduğu açıkça ortadır. Bu çalışmanın temel amacı çelik yapıların özellikle depremlere karşı dayanımını artıran, farklı dış merkezi çelik çapraz tiplerinin söz konusu yapıların davranışına etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Yapısal çözümlerden elde edilen sonuçlar, dış merkezi çelik çaprazlara sahip olan yapı modellerinin moment aktaran çerçeveye göre daha güvenli olduğunu ve çelik yapıların yanal rijitliği artıran dış merkezi çelik çapraz elemanların varlığının yapı performansını artırdığını ortaya koymaktadır. Bu husus Türkiye’de inşa edilecek çelik yapılarda, yapı güvenliği bakımından çapraz elemanlara sahip çelik taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesinin daha rasyonel olacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Taşıyıcı Sistemler, Dış Merkezi Çelik Çaprazlar, Sta-Steel, Yapı Maliyeti

Investigation of the Effect of Eccentrically Steel Braced Types on Frame Behaviour and Structure Cost

ABSTRACT

Today, design and seismic behaviour of steel structures in Turkey, especially in the design of high-rise buildings, it is very important in terms of civil engineering. On the other hand, different types of lateral load carrying steel frames are applied against horizontal effects such as especially earthquake and wind. Therefore, it is obvious that the right steel structural system selection is important. The main purpose of this study is to examine comparatively the effects of different external central steel cross types on the behaviour of these structures, which increase the resistance of steel structures, especially against earthquakes. The results obtained from the structural analyses reveal that the building models having external central steel braces are safer than the moment transmitting frame and the presence of external central steel cross members, which increase lateral rigidity in steel structures, increases the performance of the structure. This matter, the steel structures will be built in Turkey, it shows that it would be more rational to prefer steel structural systems having cross members in terms of safety.

Keywords: Steel Structural Systems, External Central Steel Braces, Sta-Steel, Structure Cost

I. GİRİŞ

İnsanoğlu yapıları inşa etmek için birçok malzeme ve yapım tekniği geliştirilmiştir. Bu malzeme ve yapım tekniklerden biri de çelik ve onun yapım tekniğidir. Ancak son yıllarda daha çok betonarme yapım tekniğine yönelme olmuştur. Buna karşın 17 Ağustos Gölcük ve 12 Kasım Düzce 1999 depremlerinden sonra yaşanan tecrübeler çelik taşıyıcı sistemlerin kullanımı gündeme getirmiştir [1]. Çelik üretiminde ülkemiz dünyada ön sıralarda yer almasına rağmen maalesef bu durumu yapı tasarımına yansımamıştır. Günümüzde Türkiye’de çelik yapıların köprüler ve sanayi tesislerinin dışında kullanımı oldukça azdır.

Çelik yapıların taşıyıcı elemanlarının deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklere karşı yeterli performansı göstermesi istenilmektedir. Bunun için birçok yapım tekniği uygulanmaktadır. Bu uygulamalardan biri de çelik diyagonal (çapraz) elemanların kullanılmasıdır. Zira diyagonal elemanların çelik çerçevelerde katlararası şekildeğiştirmeleri azaltıcı, enerji dağıtıcı ve rijitlik arttırıcı gibi işlevleri bulunmaktadır. Böylece tüm yapının davranışının iyileştirilmesinde ve oluşabilecek hasarları azaltıcı yönde katkılarının olduğu söylenebilir [2-9]. Çelik yapılarda kullanılacak diyagonal eleman tipinin seçimi, taşıyıcı sistemin yüksek yanal rijitliğe ve enerji tüketimine katkısıyla birlikte diyagonalin burkulmasını da etkilemektedir [10]. Bunlardan dışmerkezi çelik diyagonal elemanlar (çelik çaprazlı perdeler) iki sakıncayı gidermek için kullanılmaktadır. Dışmerkezi çelik çaprazlı perdelerin (DÇÇP), yüksek elastik rijitliğe ve deprem, rüzgâr, yanal zemin itkisi vb. gibi yatay yükler etkisinde mükemmel bir enerji yutma kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bunlar, deprem bölgeleri için oldukça uygun taşıyıcı sistemlerdir [11]. Bugün dışmerkezi çelik çaprazlı perdeler birçok geometrik biçimde uygulanabilmektedir.

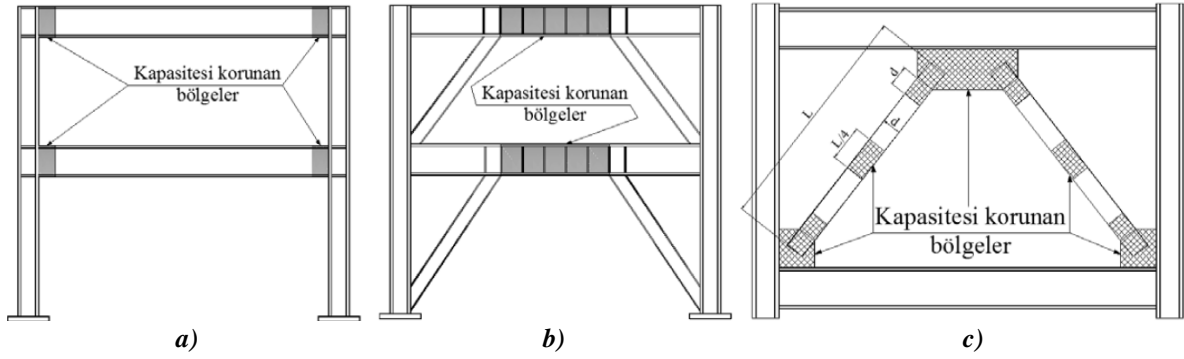
Bu çalışmada çelik yapılarda kullanılan dış merkezi çapraz türlerinin yapısal performans ve yapı maliyeti üzerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla farklı dış merkezi çelik çapraz tiplerine sahip çelik yapı modellerinin yapısal çözümlenmeleri Sta-Steel [12] programı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Yapısal çözümlenmelerden elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılarak bazı sonuç ve öneriler sunulmaktadır.

II. TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ÇELİK YAPILARIN TASARIM İLKELERİ

Dünyanın aktif deprem kuşakları biri üzerinde bulunan Türkiye’de hızlı bir yapılaşma süreci birlikte son yıllarda çelik yapılar daha geniş bir uygulama alanına bulmuşlardır. Durum böyle olunca çelik yapıların depremlere dayanıklı tasarımlarının gerekliliği açıkça ortadadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kabul edilen tasarım felsefesi, oluşacak şiddetli depremlerde taşıyıcı sistemin tamamen göçmemesi ve can kaybının yaşanmamasıdır. Buna göre oluşan depremler sonrası yapının işlevine devam etmesi ve meydana gelen yapı hasarının da sınırlı ve onarılabilir düzeyde olması, yapı içindekilerinin can güvenliğinin sağlanması ve göçmenin önlenmesi şeklinde olmak üzere farklı performans seviyelerine göre belirli düzeylerde güvenliğin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla depremler etkisindeki çelik yapı taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve birleşim detaylarının düzenlenmesi ilgili standart ve yönetmeliklere göre yapılmalıdır. Çelik yapıların depreme dayanıklı tasarımları ve uygulama esaslarıyla ilgili Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) bilgiler yer almaktadır [13].

TBDY’de çelik yapı sistemlerinden; yeterli sünekliğine sahip olması, doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapabilmesi ve sistemin plastik şekildeğiştirmeler sırasında taşıyıcı elemanlarında ve/veya sistem genelinde gevrek göçme mekanizmalarının meydana gelmemesi istenmektedir. Buna göre süneklik düzeyi yüksek yatay yük taşıyan sistemlerin kapasitesi korunmuş bölgeleri; moment aktaran çelik çerçevelerde plastik mafsal bölgeleri, dışmerkez çelik çaprazlı çerçevelerin bağ kirişleri

ve merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin çapraz elemanlarının uç ve orta bölgelerinden oluşmaktadır (bkz. Şekil 1).



Şekil 1. Farklı çelik çerçeve türleri için kapasite korunan bölgeler a) Moment aktaran çelik çerçeve b) Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeve c) Merkezi çelik çaprazlı çerçeve [13].

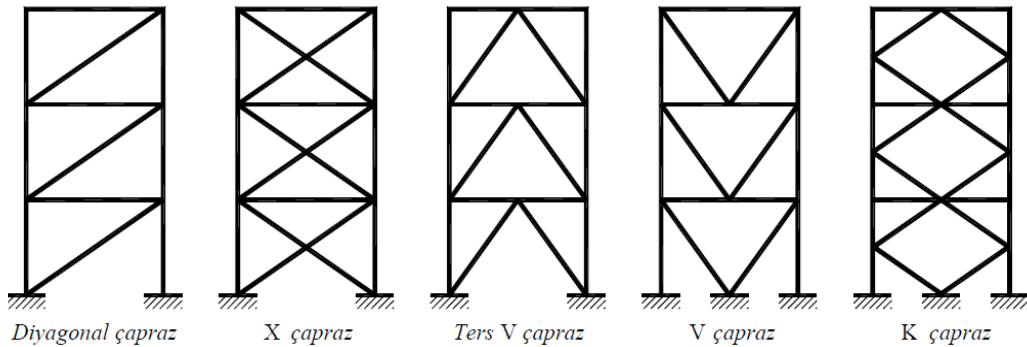
Çelik yapıların aşırı yer değiştirmelerini engellemek için yeterli rijitliğe ve aşırı yükleme durumunda da göçmeyi önlemek için yeterli sünekliğe sahip olmaları gerekmektedir. Çelik yapılarda bu iki kriteri sağlamak için TBDY’de üç ana taşıyıcı sistem önerilmektedir. Bunlar; moment aktaran çelik çerçeveler (MAÇÇ), merkezi çelik çaprazlı çerçeveler (MÇÇÇ) ve dış merkez çelik çaprazlı çerçeveler (DMÇÇÇ) şeklindedir.

A. MOMENT AKTARAN ÇELİK ÇERÇEVELER

TBDY’de moment aktaran çelik çerçeveler, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı olmak üzere iki tip olarak tanımlanmıştır. Moment aktaran sistemlerin tasarım amacı, oluşabilecek plastik mafsalların kolonlar yerine kirişlerde ve/veya kolon-kiriş birleşimlerinde meydana gelmesini sağlamaktır. MAÇÇ’in çalışma prensibi, söz konusu çerçevenin deprem enerjisini sönmüleyecek şekilde yerdeğiştirme yapmasına dayanmaktadır.

B. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

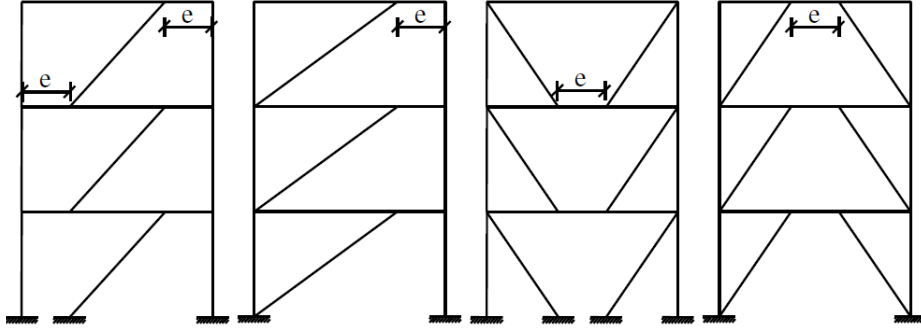
MÇÇÇ çapraz elemanların merkez çizgileri ana çerçevenin düğüm (birleşim) noktalarına düzenli bir şekilde birleşimiyle oluşturulmaktadır. Diğer bir ifadeyle düşey taşıyıcı çerçeve sistemin düğüm noktalarının birleştirilmesiyle oluşturulan kafes sistemlerdir. MÇÇÇ sistemler, MAÇÇ sistemlerine göre daha büyük yatay rijitliğe sahip olmaktadır. MÇÇÇ sistemlerde kat ötelemeleri sınırlandırılırken aynı zamanda kullanılan malzemeden de tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu tür sistemleri X, V, K ve Δ şeklinde tasarlamak mümkündür (bkz. Şekil 2).



Şekil 2. Merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemlerinin türleri [13].

C. DIŞ MERKEZ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

DMÇÇÇ sistemler yüksek süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptirler. Bu tür sistemler; diyagonal dışmerkez çaprazlı sistemler, V dışmerkez çaprazlı sistemler ve Λ dışmerkez çaprazlı sistemler olarak tasarlanabilmektedir (bkz. Şekil 3).



Şekil 3. Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeve sistemlerin türleri [13].

Çelik yapılarda deprem yüklerini karşılamak için kullanılan MAÇÇ ve MÇÇÇ yerine son dönemlerde çerçeve kirişlerini iki veya daha fazla parçalara bölen dış merkez çapraz elemanların yerleştirilmesiyle oluşturulmuş moment taşıyabilen çerçeveler kullanılmaktadır. Bu çerçevedeki bölünmüş kirişlerin en küçük parçasına bağlantı (bağ) kirişi adı verilmektedir. Söz konusu çerçevedeki bu bağlantı kirişleri önemli ölçüde doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapabilme özelliğine sahiptirler. Bu nedenle söz konusu bağlantı kirişleri depremler esnasında ortaya çıkan deprem enerjisinin büyük kısmını plastik kesme ve eğilme şekildeğiştirmeleri ile tüketebilmektedirler. DMÇÇÇ boyutlandırılması ve tasarımına ilişkin TBDY'e bakılabilir [13].

III. ÇELİK YAPILARIN TASARIM, HESAP VE YAPIM ESASLARINA DAİR YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARIM İLKELERİ

Günümüzde deprem tehlikesi bulunan ülkelerde çelik yapıların inşasının önemi daha da artmaktadır. Buna bağlı olarak, sürekli gelişmekte olan inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak yönetmelikler oluşturulmuştur. Türkiye'de çelik yapıların tasarımına ilişkin hususlar Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliğinde (ÇYTHYEDY) verilmektedir [14]. Bu yönetmeliğe göre;

- 1) Çelik yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan yapısal elemanların ve birleşimlerinin tasarımı, söz konusu yapının kullanım ömrü boyunca kendisinden beklenen tüm işlevlerini güvenli bir şekilde yerine getirebilecek yeterli dayanım, kararlılık ve rijitliğe sahip olacak biçimde dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları esas alınarak yapılması gerekmektedir.
- 2) Dayanım sınır durumu, dayanım ya da stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tamamen göçme durumunu tanımlamaktadır. Buna karşılık kullanılabilirlik sınır durumu ise, yapıdan beklenen işlevleri engelleyen aşırı şekil değiştirmeler ve benzeri özellikleri tanımlamaktadır.

Bu yönetmeliğe göre birleşimlerin tasarımında esas alınacak iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, yapısal çözümlemenin kabullerini ve birleşimden beklenen performans özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Birleşimler genellikle mafsallı ve moment aktaran birleşimler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Birleşim ve birleşim elemanlarının tasarımıyla ilgili koşullar için çelik yapılar yönetmeliğine bakılabilir [14].

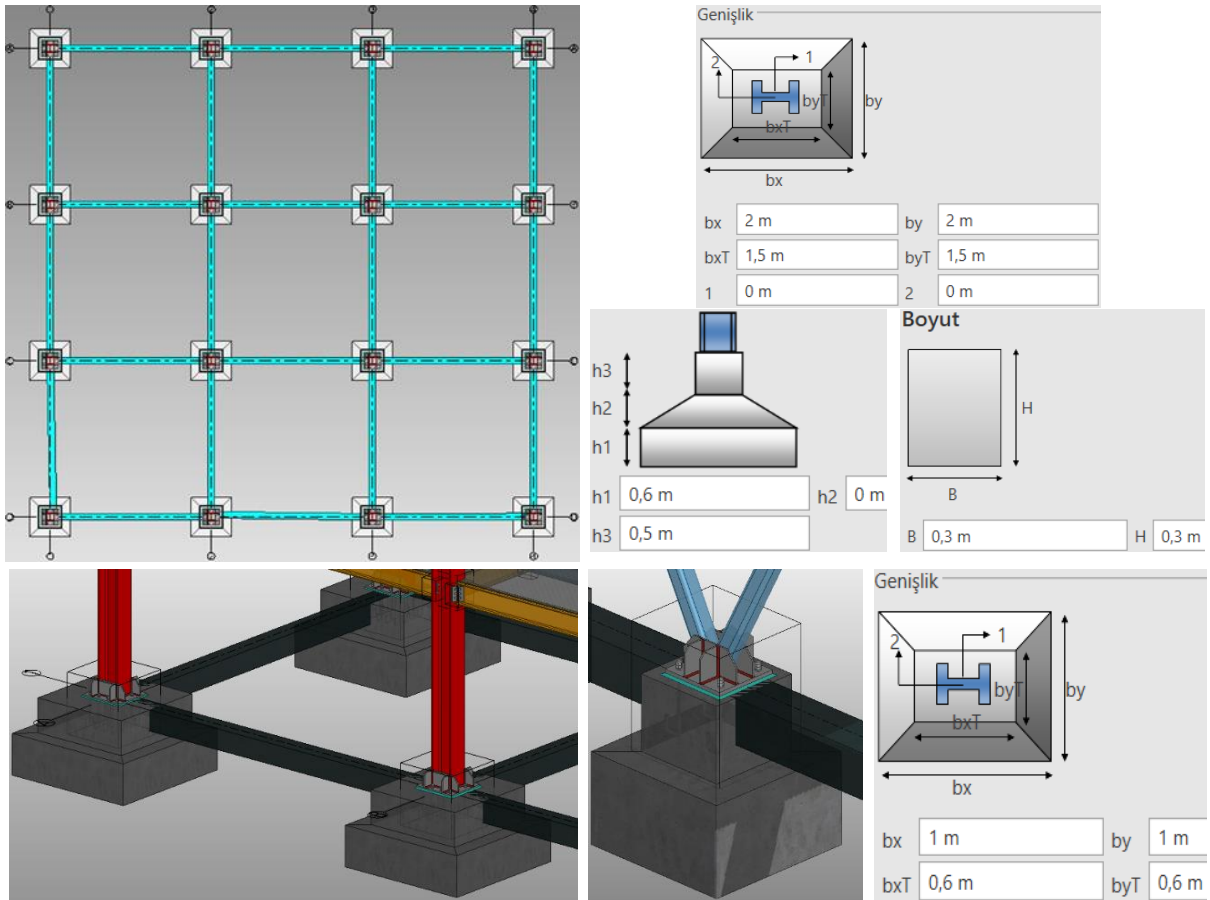
Mafsallı birleşimler; eğilme momentinin sıfır veya sıfıra yakın olduğu, buna karşılık birleşim elemanları arasında dönme hareketine izin veren birleşimlerdir.

Moment aktaran birleşimler; bunlar rijit moment aktaran birleşimler ve yarı rijit moment aktaran birleşimler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

IV. ÇELİK YAPI MODELLERİNİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada aynı boyutlara sahip yedi adet çelik yapı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan yapı modellerine farklı şekillerde ve konumlarda dış merkezi çelik çaprazlar eklenmiştir. Bu şekilde tasarlanarak oluşturulan çelik yapı modellerinin yapısal çözümlenmeleri Sta-Steel programı [12] yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece oluşturulan her bir modelin yeterli emniyeti sağlayan en ekonomik kesitlerinin belirlenmesi ve modellerin deprem etkisi karşısındaki, özellikle dış merkezi çelik çaprazların, davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çelik yapı modelleri 5 kat olarak tasarlanmış, her bir katın yüksekliği 3 m ve aks aralıkları 6 m olup toplam 3 açıklıktan oluşmaktadır (bkz. Şekil 4). Çubuk elemanlar kullanılarak oluşturulan modellerin kolon ve kiriş boyutları Çizelge 1'deki gibi seçilmiş ve ikincil ara kirişler 1,5 m aralıklarla yerleştirilmiştir [15]. Ayrıca çelik yapı modellerinin tüm taşıyıcı sistemlerinde S335 çelik malzeme kullanıldığı kabul edilmektedir [14]. Deprem yükleri etkisindeki yapısal elemanların birleşim ve ekleri ile temel bağlantılarında bulonların akma gerilmesi $F_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Yapı modellerinde kullanılan çeliğin Elastisite Modülü $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ 'dir.



Şekil 4. Yapı modellerinin temel planı ve temel detay-boyutlarından görünüm

Çizelge 1. Çelik yapı modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan profiller

Yapı modellerinin taşıyıcı sistem elemanları	Kullanılan profiller
Kolonlar	HE 340B
Ana kirişler	IPE 300
Ara kirişler	IPE 220
Çapraz elemanlar	R120x10

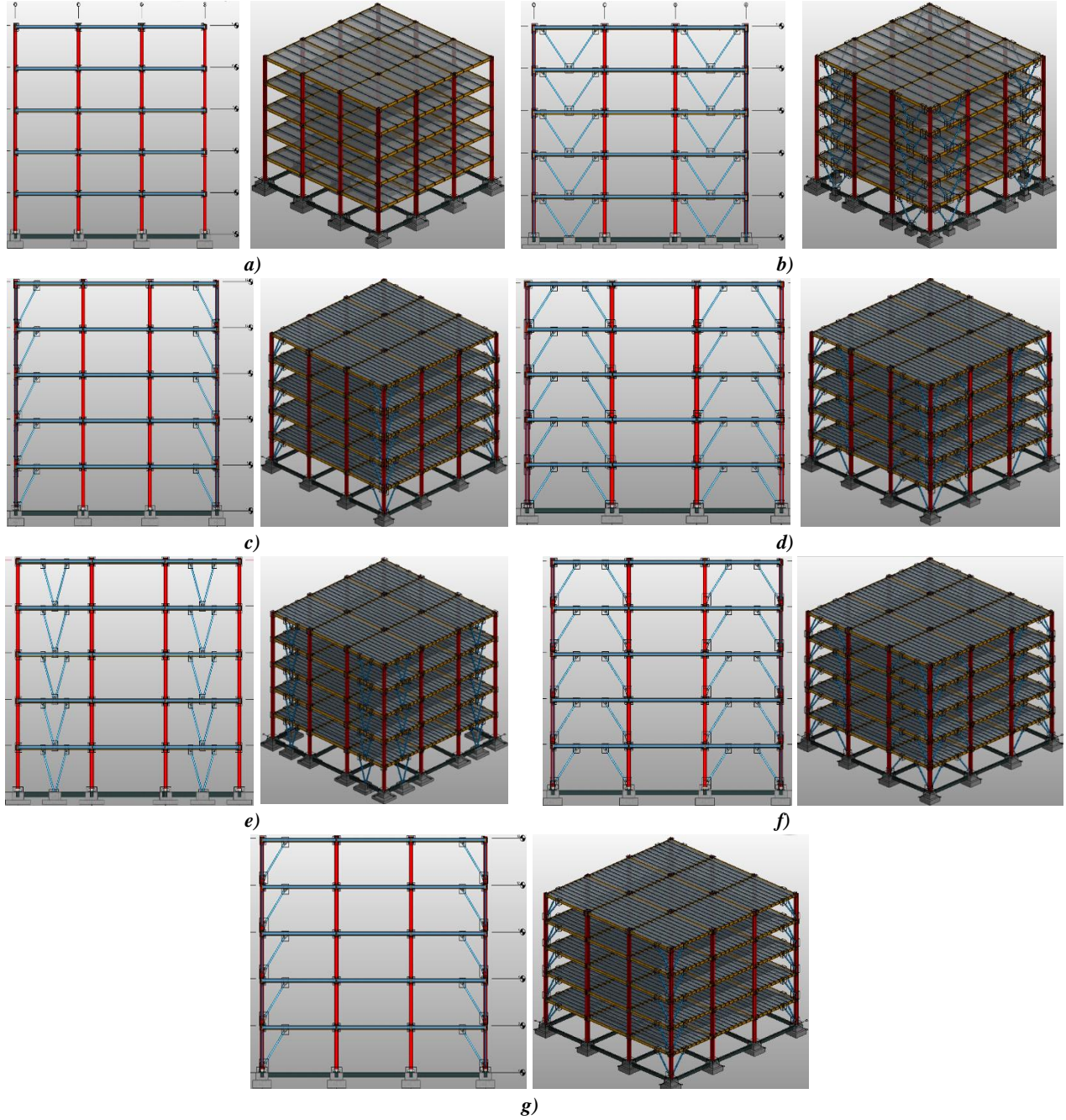
Örnek olarak seçilen çelik yapı modellerine ilişkin diğer özellikler aşağıda verilmektedir.

- Model 1 moment aktaran çerçeve olarak tasarlanmış, bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir (bkz. Şekil 5a).
- Model 2'de bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 80 cm uzunluğunda bağ kirişler ve R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi V çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5b).
- Model 3'te bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslarda R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi çelik diyagonal çaprazlar oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5c).
- Model 4'te bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 80 cm uzunluğunda bağ kirişler ve R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi A çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5d).
- Model 5'te bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 1,5 m uzunluğunda bağ kirişler ve R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi V çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5e).
- Model 6'da bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 80 cm uzunluğunda bağ kirişler ve kolona merkezden 35 cm yukarıdan R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi A çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5f).
- Model 7'de yine bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 1,5 m uzunluğunda bağ kirişler ve kolona merkezden 35 cm yukarıdan R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi çelik diyagonal çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5g).

Burada Şekil 5'te verilen modelin referans model olduğunu, diğer modellerin bağ kirişlerin (e) uzunluğuna bağlı olarak ve söz konusu çaprazların kolonlara farklı noktalardan bağlantı yapılarak dış merkezi çelik çaprazlar tiplerinin oluşturulduğunu belirtmek uygun olacaktır. Söz konusu modellerin bu ayrıntıları Çizelge 2'de özetlenmektedir.

Çizelge 2. Yapı modellerinin bağlantı ayrıntılarına ilişkin bilgileri

Modeller	Çapraz elemanlar	Bağ kiriş uzunlukları (m)	Çapraz elemanların kolon birleşim noktası
Model 1	-	-	-
Model 2	R120x10	0,80	Merkezden
Model 3	R120x10	1,5	Merkezden
Model 4	R120x10	0,80	Merkezden
Model 5	R120x10	1,5	Merkezden
Model 6	R120x10	0,80	0,35
Model 7	R120x10	1,5	0,35



Şekil 5. Yapı modellerinin kesitleri ve 5 katlı görünüşleri **a)** model 1, **b)** model 2, **c)** model 3, **d)** model 4, **e)** model 5, **f)** model 6 ve **g)** model 7 görünümü

Oluşturulan yapı modellerinin TBDY'ye göre her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek (SDY) çerçeveler olarak dikkate alınacaktır. Burada dikkate alınan bütün çelik yapı modellerinin kat alanları eşit olarak seçilmiştir. Ayrıca bütün modellerin Karabük ili Kurtuluş mahallesinde inşa edileceği buna bağlı olarak Türkiye deprem haritasından 41,21329 enlem ve 32,63601 boylama ilişkin tasarım parametrelerinin alındığı kabul edilmektedir [15]. Ayrıca çelik yapı modelleri elemanlarına etkileyen yüklerin hesaplanmasında bugün yürürlükte bulunan TS-498 *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri* yönetmeliği kullanılmaktadır [16]. Yapısal çözümlerinde dikkate alınan diğer tasarım parametreleri Çizelge 3'te verilmektedir.

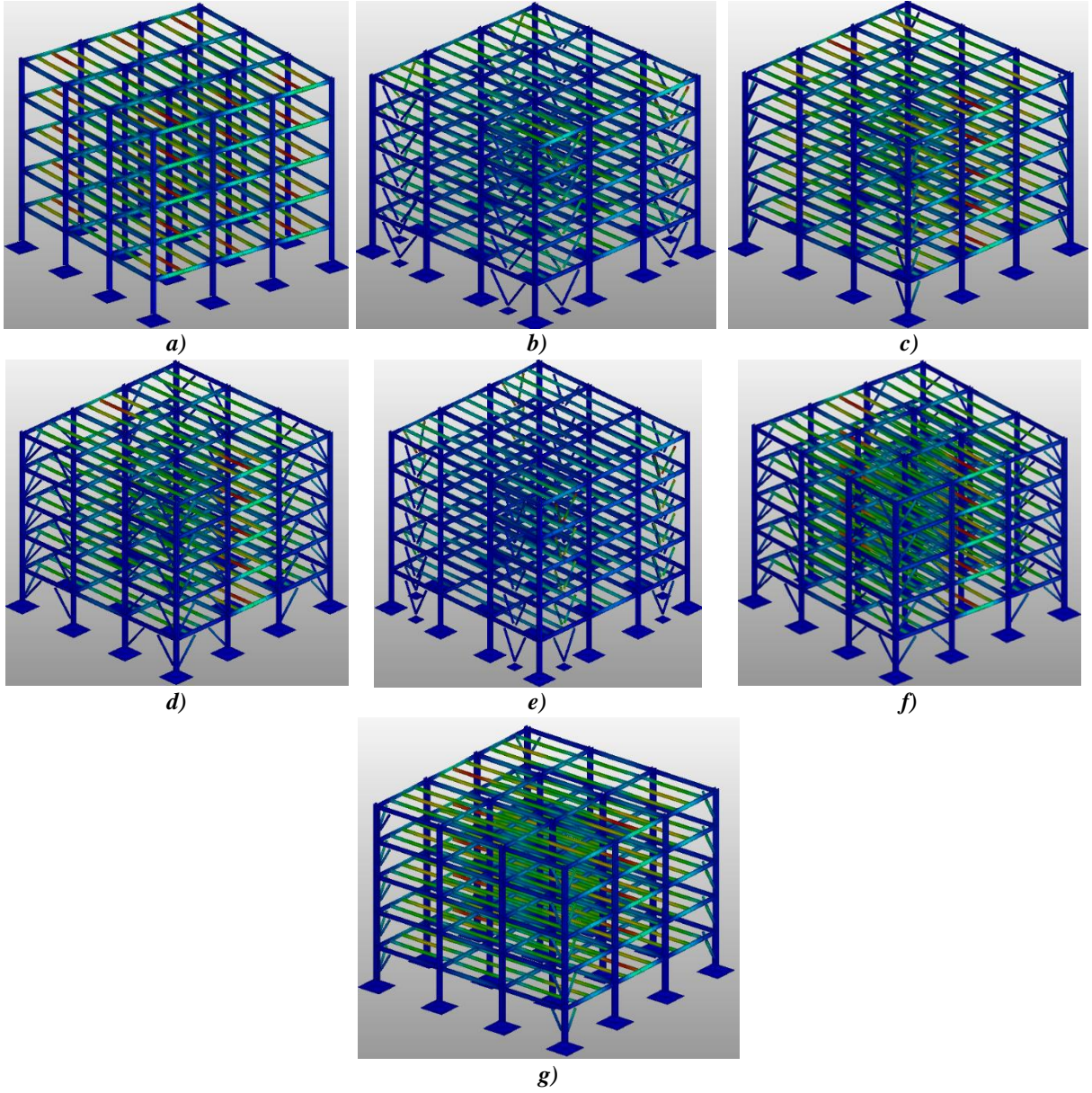
Çizelge 3. Yapısal çözümlerinde dikkate alınan diğer tasarım parametreleri

Bina önem katsayısı (konut ve işyeri), I	1
Taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R_x ve R_y)	8
Hareketli yük katılım katsayısı (konutlar ve işyeri)	0,30
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	0,722
1s'lik periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,2337
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{ds})	0,8744
1s'lik periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{d1})	0,351
Deprem yer hareketi düzeyi	DD2
Deprem tasarım sınıfı	DTS1
Dayanım fazlalığı katsayıları (D_x ve D_y)	3
ZC yerel zemin sınıfı için temel zemini taşıma gücü (kN/m^2)	150
ZC yerel zemin sınıfı için temel zemini yatak katsayısı (kN/m^3)	10000
Modal analiz min yük oranı (β)	0,90
Deprem ek dışmerkezliliği	0,05
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T_A (s)	0,08021
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T_B (s)	0,40103
Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu, T_L (s)	6
Kar yükü (kN/m^2)	0,75
Hareketli yükü(kN/m^2)	2
Rüzgar yükü (kN/m^2)	8 m yüksekliğe kadar 0,5 20m yüksekliğe kadar 0,8

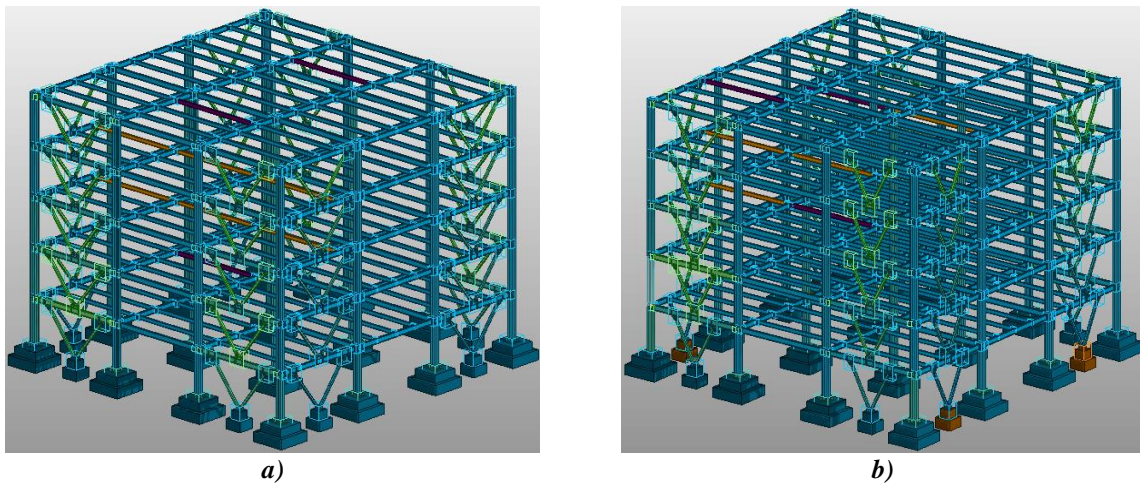
V. YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çelik yapı modellerinin sabit yüklere göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerini sonucu taşıyıcı sistem elemanlarının zorlanmalarının görünüşleri Şekil 6'da verilmektedir. Böylece statik analiz sonuçlarına göre en olumsuz kesitlerinin bulunduğu elemanlar ve/veya noktalar seçilmiştir.

Bu çalışmada dikkate alınan farklı dış merkezi çaprazlara sahip çelik yapı modellerinin Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerini sonucu yetersiz kalan yapısal elemanlarının görünüşleri Şekil 7'de verilmektedir. Bu şekillerden model 2 ve model 5'in ara kirişlerde kullanılan profillerin bazılarının yetersiz olduğu görülmektedir. Bu bulgu söz konusu modellerin mevcut durumuyla emniyetsiz olduğunu dolayısıyla da yeterli emniyeti sağlamak için model 2 ve model 5'in yetersiz olan yapısal elemanlarının kesit boyutlarının artırılması gerekliliği ortaya koymaktadır. Durum böyle olunca yetersiz olan ara kirişlerde IPE 220 yerine IPE 240 profili kullanılarak yeterli emniyet sağlanmıştır. Ayrıca model 5'te çapraz elemanların açıklık ortasında mesnetlendiği bazı temellerinin yetersiz olduğu görülmektedir. Söz konusu temeller boyutları 1,5 x 1 m seçilerek güvenli duruma getirilmiştir.

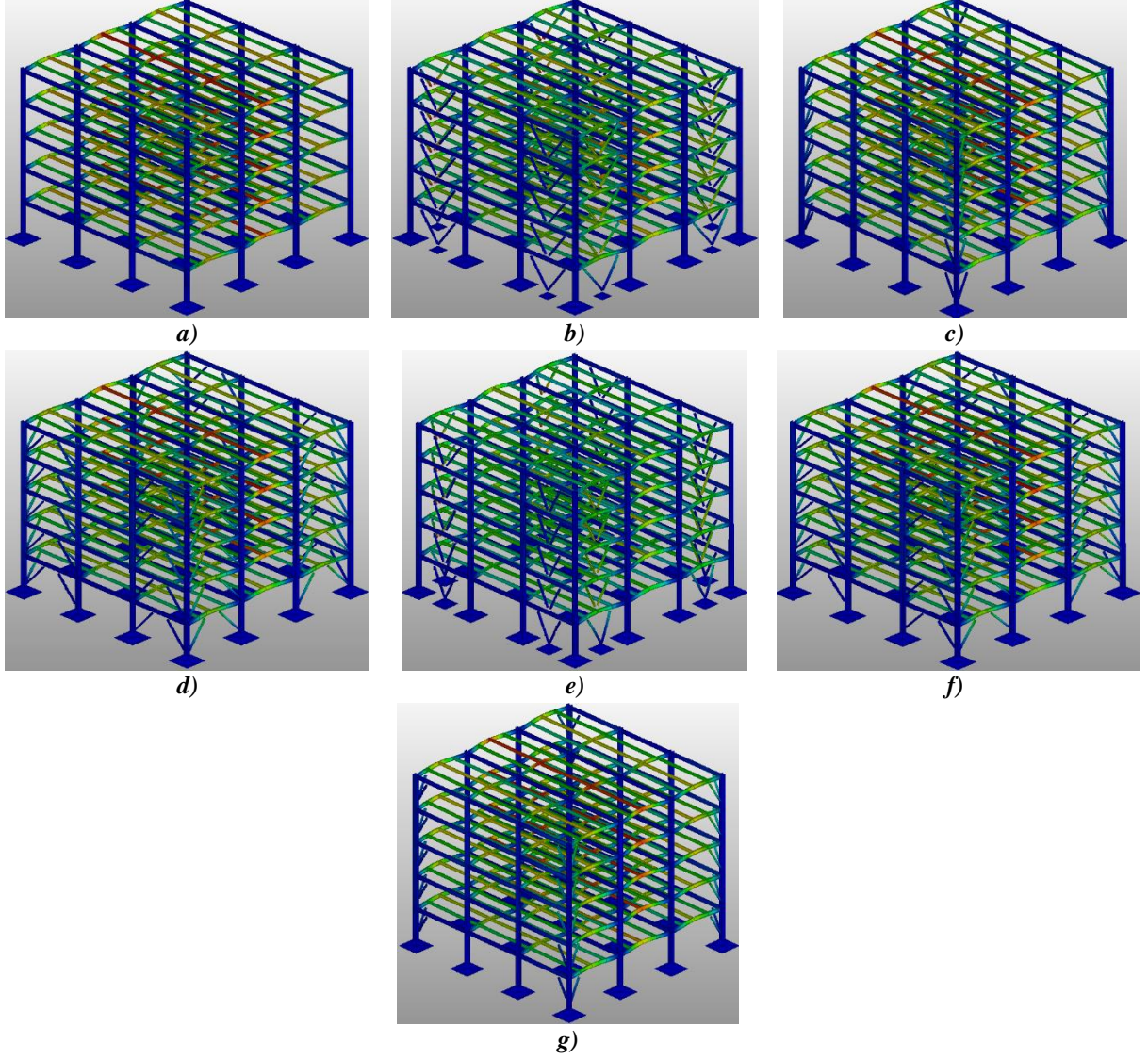


Şekil 6. Çelik yapı modellerinin sabit yükler için yapısal elemanlarının zorlanmalarından görüntümler **a)** model 1, **b)** model 2, **c)** model 3, **d)** model 4, **e)** model 5, **f)** model 6 ve **g)** model 7



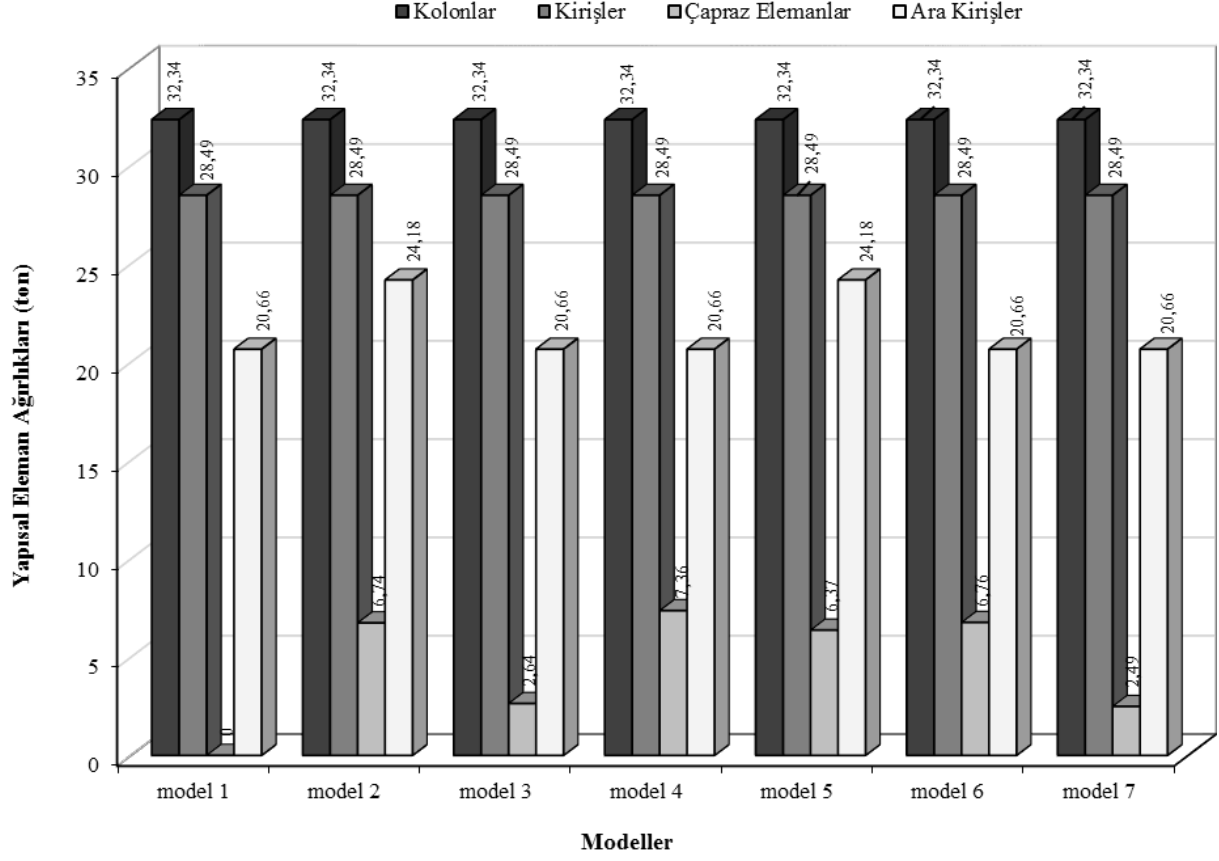
Şekil 7. Sabit yükler için model 2 ve 5'in yetersiz olan yapısal elemanlarından görüntümler **a)** model 2, **b)** model 5

Bu makalede dikkate alınan farklı çelik yapı modellerinin depreme göre gerçekleştirilen yapısal çözümleri sonucu yetersiz olan yapısal elemanlarının görünümü Şekil 8’de verilmektedir. Bu şekillerden model 2 ve model 5 hariç diğer yapı modellerinin bazı ara kirişlerinin yetersiz olduğu görülmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi yeterli emniyeti sağlamak için model 2 ve model 5’in ara kirişlerinde IPE 240 profilinin kullanıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 8. Yapı modellerinin deprem yükü için yetersiz olan yapısal elemanlarından görünüm a) model 1, b) model 2, c) model 3, d) model 4, e) model 5, f) model 6 ve g) model 7

Dikkate alınan modellerin taşıyıcı sistem yapısal elemanlarında kullanılan malzeme ağırlıklarının değişimleri Şekil 9’da ve 1 m^2 ’ye düşen çelik ağırlıkları ise Çizelge 4’te verilmektedir. Bu şekil ve çizelgeden taşıyıcı sistem ağırlığı bakımından 1 m^2 ’deki çelik ağırlığı $41,9 \text{ kg/m}^2$ ve toplam ağırlığı 81,499 ton olan moment aktaran çerçeve sistemin (model 1’in) en ekonomik taşıyıcı sistem olduğu görülmektedir. Buna karşın en ağır taşıyıcı sistemin, 1 m^2 ’deki çelik ağırlığı 47 kg/m^2 ve toplam ağırlığı 92,266 ton olan dış merkezi V çaprazlı sistemin (model 2’nin) olduğu görülmektedir. Diğer taraftan genel olarak tüm modellerin için 1 m^2 ’deki çelik ağırlıklarına bakıldığında aralarındaki farkın fazla olmadığı, 1 m^2 ’deki çelik ağırlığına ilişkin değerler $41,9 \text{ kg/m}^2$ ile $47,5 \text{ kg/m}^2$ arasında değişmektedir.



Şekil 9. Yapı modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme ağırlıklarının değişimleri

Çizelge 4. Modellerin 1 m²'ye düşen ağırlıkları

Modeller	1 m ² 'ye çelik miktarı (kg)
model 1	41,9
model 2	47,5
model 3	43,4
model 4	45,7
model 5	47,0
model 6	45,4
model 7	43,2

Farklı dış merkezi çelik çaprazlara sahip yapı modellerinin, mod birleştirme yöntemine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden, elde edilen periyot değerleri Çizelge 5'te verilmektedir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi 1. mod için model 1'den elde edilen periyot değerleri dikkate alınan modellerden elde edilen periyot değerlerinden daha büyük olmaktadır. Buna karşın dış merkezi Λ çaprazlı sistemin (model 5'in) periyot değerinin en düşük olduğu görülmektedir. Bu durum rijitleştirici elemanların yapı modellerinde kullanılmasıyla birlikte periyot değerlerini önemli ölçüde azaldığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgu söz konusu yapı modellerinin çelik çapraz elemanlar kullanılarak yapının rijitliğinin artmasıyla periyot değerlerinin azaldığını göstermektedir.

Çizelge 5. Yapı modellerinin mod şekillerine bağlı periyot değerleri

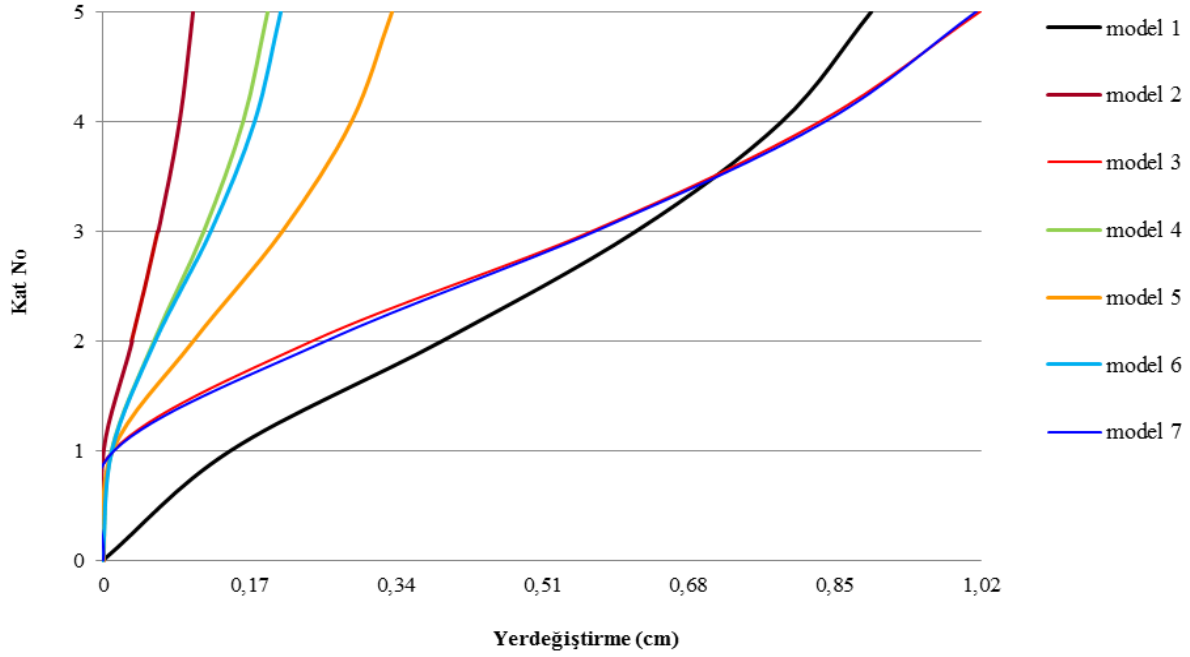
Modeller	Periyot değerleri (s)		
	1.mod	2.mod	3.mod
model 1	0,5445	0,2350	0,2335
model 2	0,2438	0,2421	0,2404
model 3	0,3812	0,2353	0,2330
model 4	0,2402	0,2385	0,2364
model 5	0,2374	0,2357	0,2327
model 6	0,2395	0,2372	0,2361
model 7	0,3809	0,2355	0,2333

Farklı dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin Sta-Steel programıyla mod birleştirme (MB) ve eşdeğer deprem yükü (EDY) yöntemleriyle yapılan yapısal çözümlerinden x ve y doğrultularında elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri Çizelge 6'da verilmektedir. Çizelge 6'dan hem x doğrultusunda hem de y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri mod birleştirme yöntemiyle elde edilenlerden büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çizelgeden EDY yöntemine göre hem x hem de y doğrultularında model 2'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değeri diğer modellerden daha büyük olmaktadır. Buna karşın MB yöntemine göre hem x hem de y doğrultularında model 1'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bulgular özellikle MB yöntemine göre dış merkezi çelik çaprazla sahip olmayan yapı modellerinin (model 1'in) daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kaldığını göstermektedir.

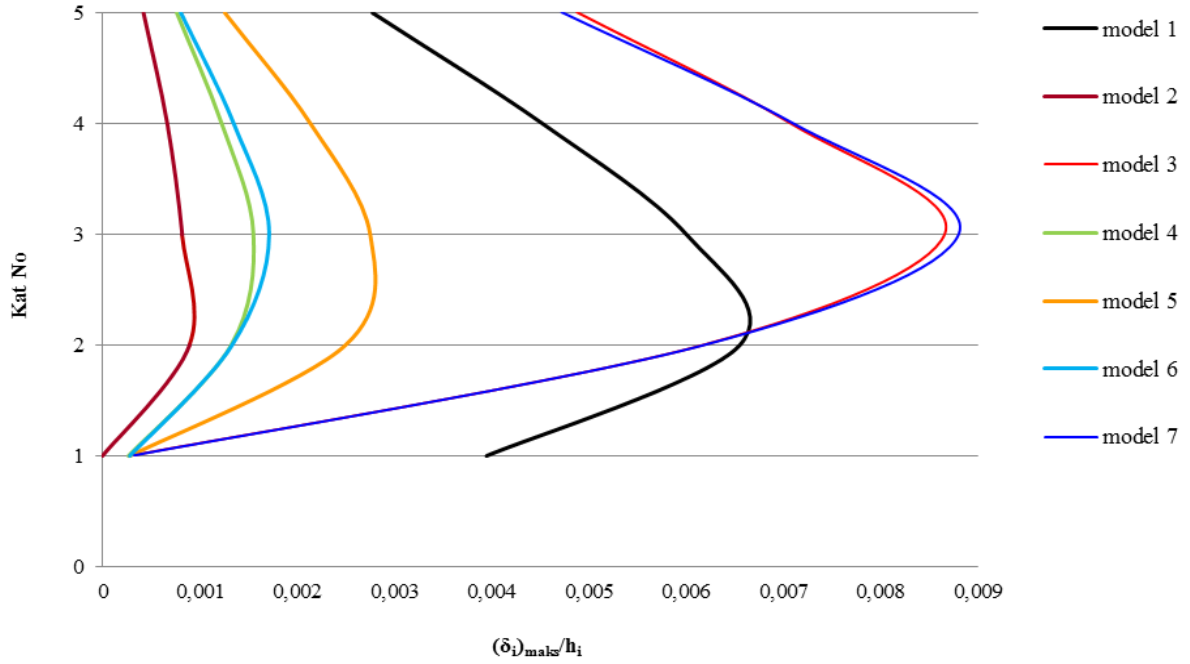
Çizelge 6. Farklı dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri

Modeller	Maksimum taban kesme kuvveti değerleri (kN)			
	X doğrultusundaki deprem etkisi		Y doğrultusundaki deprem etkisi	
	MB yöntemi	EDY yöntemi	MB yöntemi	EDY yöntemi
model 1	121,17	212,03	181,94	214,28
model 2	107,59	221,01	171,87	220,68
model 3	98,887	214,47	173,54	216,18
model 4	104,86	214,63	167,38	216,77
model 5	103,43	219,58	174,34	219,89
model 6	104,22	214,48	168,2	216,62
model 7	98,93	214,64	175,57	216,29

Bu makalede dikkate alınan farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlar ile oluşturulan yapı modellerinin deprem etkisinde gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden yapı yüksekliği boyunca kat seviyelerinde elde edilen maksimum yer değiştirme dağılımları ve etkin görelî kat ötelemeleri değerleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmektedir. Bu şekillerden dışmerkezi çelik çapraz elemanlara sahip çelik yapı modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme ve etkin görelî kat ötelemeleri dağılımlarının moment aktaran çerçeveye (model 1'e) göre daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca model 1'den elde edilen kat seviyelerindeki yer değiştirme ve etkin görelî kat ötelemeleri değerleri genellikle burada dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Ancak üst katlarda model 3 ve model 7'den elde edilen yer değiştirme ve etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin dikkate alınan diğer yapı modellerinde daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bulgular dışmerkezi çelik çapraz elemanlar sahip yapı modellerinin daha iyi davrandığını diğer bir ifadeyle özellikle depremlerde daha iyi performans göstereceğini ortaya koymaktadır. Ancak elde edilen bu bulgulara göre üst katlarda tek yönlü çapraz elemana sahip yapı modellerinin (model 3 ve model 7'nin) performansının daha kötü olacağı görülmektedir.

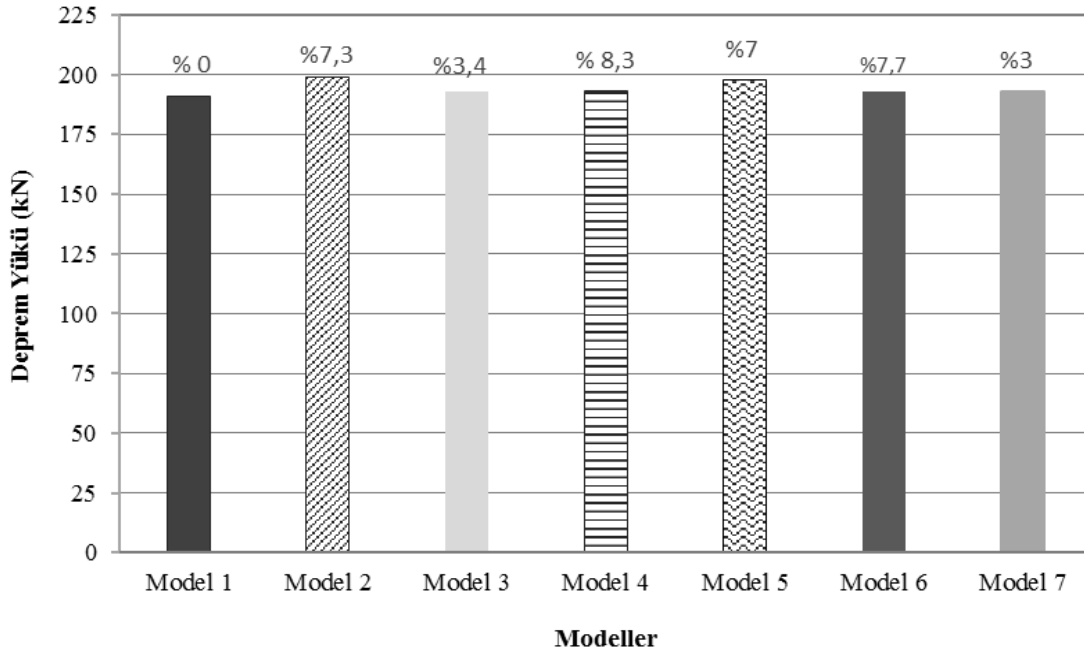


Şekil 10. Yapı modellerinin deprem etkisinde kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme değerleri



Şekil 11. Yapı modellerinin deprem etkisinde kat seviyelerindeki etkin göreceli kat ötelemeleri değerleri

Yapı modellerinin Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen farklı dış merkezi çelik çapraz oranına karşılık deprem yükünün değişimi Şekil 12’de verilmektedir. Bu şekilden de dış merkezi çelik çapraz oranının artmasıyla deprem yükü artmaktadır. Ancak dış merkezi çelik çapraz oranlarına (%3~8,3) bağlı olarak deprem yükünün artmasının çok fazla olmadığı görülmektedir. Bu bulgu dış merkezi çelik çapraz oranının değil, çapraz elemanlar yerleşimi ve tipinin deprem yükü daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 12. Dış merkezi çelik çapraz oranlarına göre yapı modellerinin deprem yükü değerleri

VI. SONUÇLAR

Bu makalede çelik yapıların tasarım ve inşasında yaygın olarak kullanılan farklı dış merkezi çapraz türlerinin söz konusu yapının performansı ve kaba inşaat maliyeti üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen başlıca sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden 1. mod için model 1'den elde edilen periyot değerleri dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Bu sonuç yapı yanal rijitliğini artıran farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanların söz konusu yapının periyot değerlerini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bu sonuç farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlarla söz konusu yapı modellerinin güçlendirmesinin periyot değerini azalttığını göstermektedir.
- Hem x doğrultusunda hem de y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri mod birleştirme yöntemiyle elde edilenlerden büyüktür. Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hem x hem de y doğrultularında maksimum taban kesme kuvveti değeri model 2'den elde edilmektedir. Buna karşın mod birleştirme yöntemiyle ise hem x hem de y doğrultularında maksimum taban kesme kuvveti değerinin model 1'den elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuç farklı dışmerkezi çelik çaprazlara sahip yapı modellerinin daha küçük kesme kuvvetlerine maruz kaldığını dolayısıyla da performanslarının daha iyi olacağını göstermektedir.
- Yapı modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme dağılımları moment aktaran yapı modeline (model 1'e) göre daha küçük olmaktadır. Bu husus yapı yanal rijitliğini artıran farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanların yapı performansı bakımından oldukça önemli olduğunu ortaya koymaktadır.
- Moment aktaran yapı modeli (model 1) ve tek yönlü çapraz elemanlara sahip modellerinde kat seviyesindeki etkin görel kat ötelemeleri değerleri arasındaki fark büyük olmaktadır. Diğer bir ifadeyle farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin, model 3 ve model 7 hariç, etkin görel kat ötelemeleri dağılımları moment aktaran çerçeveye (model 1'e) göre daha

küçük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin, model 3 ve model 7 hariç, daha iyi performans göstereceğini ortaya koymaktadır.

- Yapısal çözümler sonucu dış merkezi çelik çapraz eleman oranının artmasıyla deprem yükünün de arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuç dış merkezi çelik çapraz elemanların oranının, yerleşiminin ve tipinin deprem yükünü etkidiğini ortaya koymaktadır.
- Yapı modellerinden 1 m²'deki ağırlığı 47 kg/m² ve toplam ağırlığı 92,266 ton olan dış merkezi V çaprazlı elemanlı yapı sistemi (model 2) en ağır taşıyıcı sistemdir. Bu sonuç model 2'nin emniyet ve ekonomik bakımdan uygun olmadığını ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan Sta-Steel programının lisansı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü tarafından alınmıştır.

VII. KAYNAKLAR

- [1] C. Kurtay ve M. Badem, “Avrupa ülkeleri ve Türkiye’deki çelik yapı uygulama olanak ve kısıtlarının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 4, ss. 351-363, 2004.
- [2] Z. Ay, İ. D. Çelik ve N. A. Kımılı, “Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 7-17, 2010.
- [3] Y. S. Tama, “Çelik yapılarda moment dayanımlı çerçeveler”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s.1, ss. 63-72, 2003.
- [4] B. Bayram, S. Sancioğlu ve S. Çarbaş, “Çelik bir yapıda dışmerkez diyagonal çaprazların etkisi”, *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 1, s.1, ss. 128-145, 2019.
- [5] H. Gönen, “Çok katlı çelik yapılarda yatay deplasmanın diyagonallerle kontrolü”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, c. X, s. 1, ss. 59-70, 1997.
- [6] B. Akbaş ve S. Doğru, “Seismic energy demands of steel special moment frames”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 35, s. 3, ss. 1111-1128, 2020.
- [7] R. Özçelik, “Burkulması engellenmiş çelik çaprazlar”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 22, s. 3, ss. 160-170, 2016.
- [8] Z. Ay ve İ. D. Çelik, “Dışmerkez çelik çapraz perde bir sistemde bağ kirişi boyunun 2007 Türk Deprem Yönetmeliği açısından incelenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 372, ss. 5827-5843, 2012.
- [9] S. Arıbaş, S. Sancioğlu ve S. Çarbaş, “Dışmerkez V çaprazların çelik bir yapı üzerinde incelenmesi”, *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 79-97, 2019.
- [10] H. Özkan, “Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik yapıların tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2013.
- [11] E. Ar, “Çelik yapıların tasarım metodları ve bunların karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2009.
- [12] *Sta-Steel, Structural Analysis For Steel Structure*, ver.1.3.0.3. www.sta4.net/steeldefault.aspx, 2019.

[13] *TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2019.

[14] *ÇYTHYEDY, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018.

[15] A. Yılmaz, “Çelik çerçevelerde kullanılan dış merkezi çelik çapraz tiplerinin düğüm noktası birleşim detayına ve çerçeve davranışına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2020.

[16] *TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.