

Çelik Bir Binada Kullanılan Çapraz Tiplerinin Deprem Etkisi Altında Analizi

Sadrettin Sancioğlu¹, Semih Arıbaş¹, Berna Bayram¹,

Muhammed Şimşek¹, Serdar Çarbaş^{1,2}

¹KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, İstanbul'da rastgele seçilen bir koordinatta yer alan beş katlı simetrik çelik bir binanın ülkemizde yürürlükte olan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) nezdinde çaprazlı ve çaprazsız tasarımı ve boyutlandırılması yapılarak deprem etkisi altında performansı incelenmiştir. Tasarımda kar ve rüzgâr yüklerinin belirlenmesinde, TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 standartları baz alınmıştır. Çelik bina, çaprazsız çerçevelerden, merkezi çaprazlı çerçevelerden ve farklı dış merkez çaprazlı çerçevelerden oluşturularak statik itme analizine tabi tutulmuştur. Statik itme analizi için SAP2000 paket yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bina ağırlığı ve kat ötelemeleri yönünden kıyaslanarak çapraz kullanımının önemi vurgulanmıştır.

Anahtar sözcükler: Çelik Yapılar, Çelik Çaprazlar, SAP2000, TBDY2018, Türk Çelik Yapılar Şartnamesi, Statik İtme Analizi.

Analyzing The Brace Types in A Steel Structure under Earthquake Effect

Abstract

In this study, the design and sizing of a five-storey symmetrical steel building located on a randomly selected coordinate in İstanbul with and without bracings subjected to earthquake effect is examined under code provisions of Principles of Design, Calculation and Construction of Steel Structures and Turkey Building Earthquake Code in force in our country. The determination of design snow and wind loads is based on TS EN 1991-1-3 and TS EN 1991-1-4 standards. The steel structure made out of unbraced frames, central braced frames and different outer central braced frames has been subjected to pushover analysis. SAP2000 package software is utilized for pushover analysis. The obtained results are compared in terms of achieved frame weights and story drifts and the importance of brace application is emphasized.

Keywords: Steel Structures, Steel Braces, SAP2000, TBDY2018, Turkish Steel Structures Regulation, Pushover Analysis.

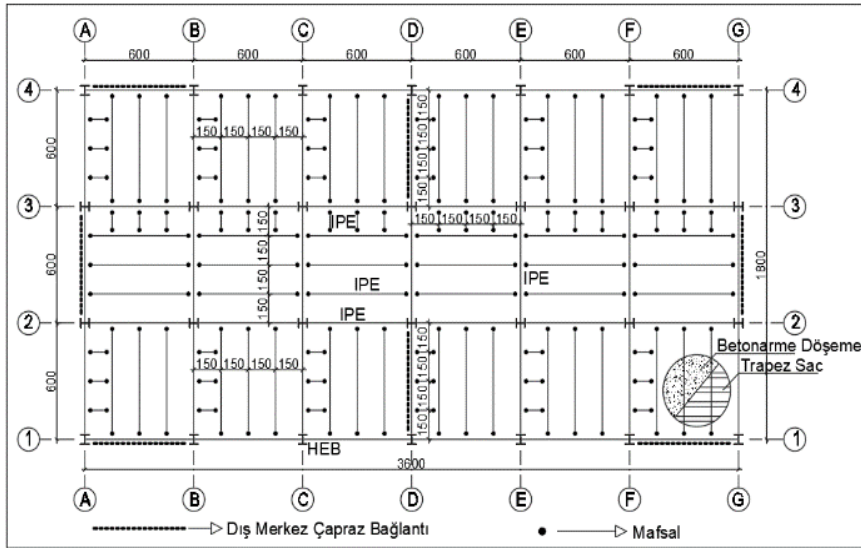
Giriş

Çelik yapıların deprem esnasında nasıl bir davranış gösterdiğinin bilinmesi önemlidir. Deprem riski yüksek yerlerde çelik yapılar diğer yapı türlerine göre kıyasla daha fazla tercih edilmektedir. Çelik yapıların süneklik düzeyinin yüksek olması, enerji yutma kapasitesi, yüksek dayanıma sahip olması, kolay onarımının olması gibi avantajları bu tercihin sebeplerindedir.

Çelik çerçeveler sünek davranış gösteren yapılardır. Katlar arası deplasmanların sınırlandırılması önemlidir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, yüksek yanal rijitliğe sahipken, enerji tüketimi çaprazların burkulmasını tetikler. Dışmerkez çaprazlı çerçeveler her iki tehlikeyi giderir. Bu sistemlerde kullanılan bağ kirişi deprem esnasında enerjinin düzgün şekilde emilmesini sağlar (Simur, 2007). Bağ kirişleri ile yapılan çalışmalarda kısa bağ kirişlerinin kesmeye, uzun bağ kirişlerinin ise kısa bağ kirişlerinin aksine eğilmeye çalıştığı görülmüştür (Deren ve diğ., 2012). Bu çalışmada çelik bir bina, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar-2018 (ÇYTHYDE, 2018) yönetmeliğine göre çaprazsız çerçevelerden, merkezi çaprazlı çerçevelerden ve farklı dış merkez çaprazlı çerçevelerden oluşturularak statik itme analizine tabi tutulmuştur.

Çelik Yapının Dizaynı

Statik tasarımı yapılacak olan çelik binanın mimarisi ülkemizde sıkça görülen tipik bir iş hanı mimarisine göre seçilmiştir. Hesap kolaylığı adına bina tam simetrik olarak tasarlanmıştır. Yine çapraz bağlantı elemanları bina üzerine tam simetrik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Binaya ait tipik kat planı Şekil 1’de verilmiştir. Mimari açıdan bina 5 katlı olarak düşünülmüş olup, bu tip binalarda giriş katın kat yüksekliği diğer katlara göre daha yüksek seçilmektedir. Bu sebeple giriş katın mimari kat yüksekliği 4 metre, diğer katların mimari kat yüksekliği ise 3,5 metre olarak seçilmiştir.



Şekil 1 Tipik kat planı.

Bina “X” düzleminde 6 açıklıklı, “Y” düzleminde ise 3 açıklıklı olarak tasarlanmıştır. Tüm açıklıklar hesap kolaylığı ve simetrinin korunması için 6 metre olarak tayin edilmiştir. Bina ağırlık ve rijitlik merkezinin çakışması ve tam bina ortasında konumlandırılabilmesi için

kolon yerleşimine ve güçlü eksen yönlerine dikkat edilmiştir. Tüm alternatifler göz önüne alınmış ve bu bina için en ideal kolon yerleşimi seçilmiştir. Şekil 1’de gösterilen “2” ve “3” numaralı akslar üzerindeki kolonların güçlü eksenleri “X” düzleminde olup, “1” ve “4” numaralı akslar üzerindeki kolonların güçlü eksenleri ise “Y” düzleminindedir. Böylece binanın her iki doğrultuda yeterli rijitliğe ulaşması sağlanmıştır. Binaya ait diğer mimari ve statik tasarım bilgileri Tablo 1’ de verilmiştir.

Bina esas mimari ve statik tasarımı belirlendikten sonra farklı modeller üzerinde, daha önceden statik açıdan belirlenmiş yerlere sırasıyla dış merkezli “V” çapraz, dış merkezli “Ters V” çapraz ve dış merkezli “Diyagonal” çaprazlar eklenmiştir. Bu kısımdan itibaren herhangi bir çapraz bağlantı içermeyen bina “1. Model”, dış merkezli “V” çapraz bağlantısı içeren bina “2. Model”, dış merkezli “Ters V” çapraz bağlantısı içeren bina “3. Model” ve dış merkezli “Diyagonal” çapraz bağlantısı içeren bina “4. Model” olarak adlandırılmıştır.

Tablo 1 Binaya Ait Özellikler.

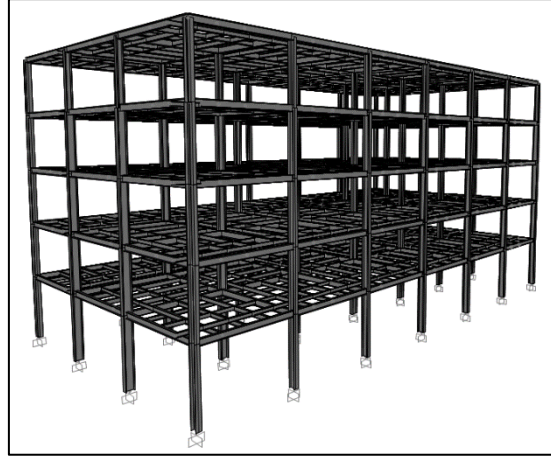
Kriterler	1. Model	2. Model	3. Model	4. Model
Kat Adedi	5	5	5	5
Z. Kat Kat Yüksekliği (m)	4	4	4	4
1., 2., 3., 4. Kat Kat Yüksekliği (m)	3,5	3,5	3,5	3,5
"X" Yönü Açıklığı (m)	6	6	6	6
"X" Yönü Çerçeve Adedi	7	7	7	7
"Y" Yönü Açıklığı (m)	6	6	6	6
"Y" Yönü Çerçeve Adedi	4	4	4	4
Çerçeve Tipi	MRF	EBF	EBF	EBF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

Statik Analiz

Çelik binanın mimari ve statik tasarımı yapıldıktan sonra hesap aşamasına geçilmiş ve ilk olarak TS498’e göre düşey yük analizi yapılmıştır. Düşey yük analizinden sonra ise TS EN 1991-1-3’e (TSE, 2007) göre kar ve TS EN 1991-1-4’e (TSE, 2004) göre rüzgâr yüklerinin analizi yapılmıştır.

Düşey yük analizi neticesinde sabit yük olarak kaplama, tesviye, betonarme plak, tesisat, asma tavan gibi ağırlıkların oluşturduğu döşemeye gelen toplam yük (G), 400kg/m^2 olarak bulunmuştur. Bölme duvarlarda kullanılan yapı malzemesi, mimari gerekçeler göz önüne alınarak, kalınlık bakımından iç ve dış duvarlarda farklı tipte düşünülmüştür. Ayrıca çapraz bağlantı elemanlarının bina içinde görünmesinin istenmemesi nedeniyle çapraz bağlantı elemanlarının yerleştirildiği konumlarda duvarlar çift katman olarak düşünülmüştür. Bu durumlara bağlı olarak kirişlere gelen duvar yüklerinin analizi yapıldığında tek katmanlı iç duvarları taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler (G), 130kg/m ; çift katmanlı iç duvarları taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler (G), 260kg/m ; tek katmanlı dış duvarları taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler (G), 410kg/m ; çift katmanlı dış duvarlı taşıyan kirişlerin üstüne gelen sabit yükler (G), 820kg/m olarak belirlenmiştir. Yapının taşıyıcı elemanlarının zati yükleri ise SAP2000 tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır (SAP 2000). Bina döşemeleri üzerine gelen hareketli yükler (Q) ise TS498’de belirtilen koşullara göre ofisler için 200kg/m^2 , ofis koridorları için 500kg/m^2 olarak belirlenmiştir (TSE, 1997).

Analizi yapılacak bina İstanbul şehrindeki herhangi bir konumda inşa edileceğinden kar yükleri etkisine (S) maruz kalacağı bilinmektedir. Bu sebeple TS EN 1991-1-3'de belirtilen şartlara göre kar yükü (S) 60kg/m^2 olarak belirlenmiştir. Yük analizinin son aşaması olarak binanın maruz kalacağı rüzgâr yükü etkileri (W) TS EN 1991-1-3'de belirtilen şartlara bağlı kalmak koşuluyla SAP2000 tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır. Modele ait SAP2000 görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. 1.Model üzerine bu yükler etki ettirilmiş ve bu yükler altında taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri için bir ön boyutlandırma yapılmıştır. Kesit boyutlandırması yapılırken Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yaklaşımı kullanılmıştır.



Şekil 2 Herhangi bir çapraz bağlantısı bulunmayan çelik binaya ait 3-D görünüş.

Dinamik Analiz

Eşdeğer Deprem Yükü Hesabı

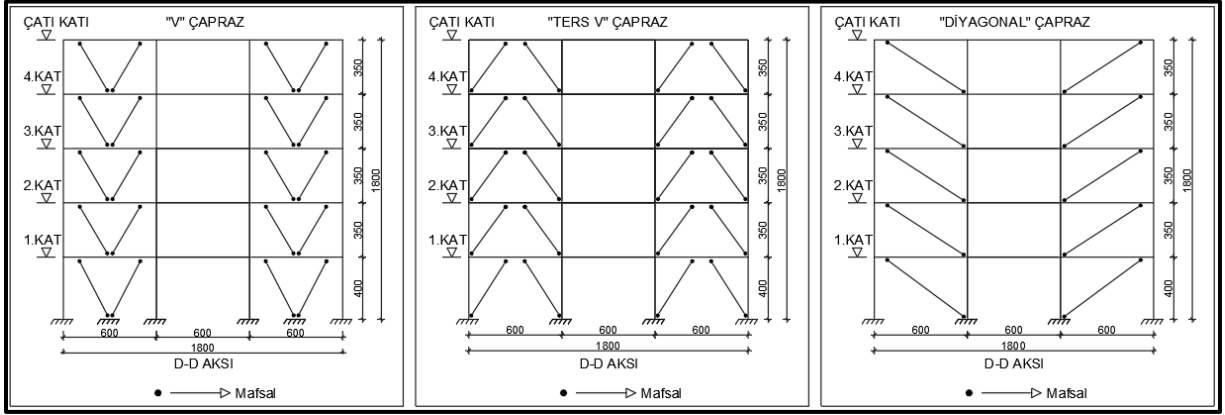
Düşey yükler ve rüzgâr yükleri etkisi altında, taşıyıcı eleman kesitlerinin ön boyutlandırması yapılmış ve 1.Model'in toplam ağırlığı SAP2000 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu ağırlıklar gözetilerek eşdeğer deprem yükü hesap yöntemiyle binaya etki eden deprem yükleri hesaplanmıştır. Bu yükler binanın ağırlık merkezine etki ettirilmiş, daha sonra düşey yükler, rüzgâr yükleri ve deprem yükleri etkisi altında bina taşıyıcı eleman kesitleri yeniden boyutlandırılmıştır.

1.Model'in tasarımı tamamlandıktan sonra binaya çapraz bağlantılar eklenmiş ve sırasıyla 2., 3. ve 4. Modeller elde edilmiştir. Binalara ait tipik çapraz yerleşimleri Şekil 3'de verilmiştir. Elde edilen bu modeller kesit optimizasyonuna tabi tutulmuş ve çapraz bağlantıların etkilerine göre taşıyıcı eleman kesitleri yeniden boyutlandırılmıştır. Bu boyutlandırma sonrası toplam bina ağırlıkları tekrar hesap edilmiş ve deprem yükleri yeniden hesaplanmıştır. Bu yüklerle göre binalar tekrar analize tabi tutulmuş ve bu şekilde kesit boyutları en optimize hale ulaştırılmıştır.

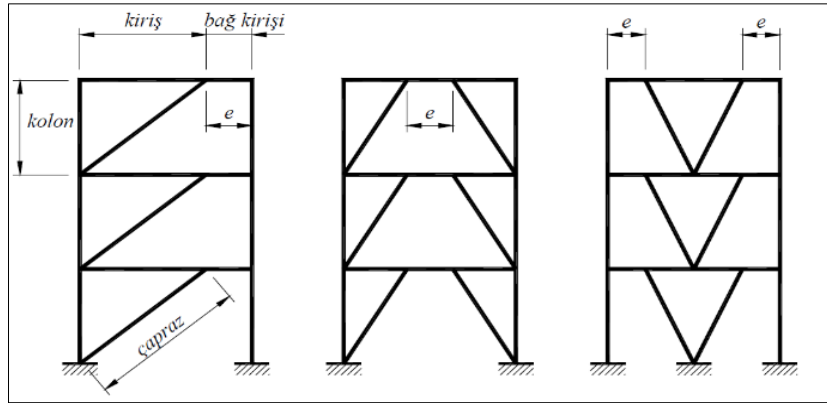
Bağ Kirişi Boyutlandırması

Dış merkezli çelik çaprazlı çelik çerçevelerde, çapraz bağlantı profilinin en az bir ucu kolon ve kiriş birleşim noktasında, kolondan belirli bir mesafe uzaklıkta kirişe bağlanmalıdır. Kirişe bağlanan çapraz bağlantı ucundan kolona kadar uzanan mesafe arasında kalan kiriş parçası ise

bağ kirişi olarak adlandırılmaktadır. Yine farklı tiplerde dış merkezli çapraz bağlantıların farklı bağlanma şekilleri ile bağ kirişinin oluşması sağlanmaktadır. TBDY2018'e göre dış merkezli çapraz bağlantı tipleri Şekil 4'de verilmiştir (TBDY, 2018).



Şekil 3 Tipik çapraz bağlantı yerleşimleri.



Şekil 4 TBDY2018'e göre dışmerkez çapraz bağlantı tipleri.

Deprem gibi elastik sınır düzeyini aşan yüklerin etkisi altında yapı elemanları arasında ilk olarak bağ kirişinin plastik deformasyona uğraması istenmektedir. 2.Model, 3.Model ve 4.Model göz önüne alındığında rijitlik, dayanım ve süneklik açısından en iyi performansı göstermesi sebebi ile kısa bağ kirişleri tercih edilmiştir. Bu durumda tavsiye edilen kısa bağ kirişi boyutlandırma eşitliği Eş. 1'de verilmiştir.

$$1,0 \times \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 1,3 \times \frac{M_p}{V_p} \quad (1)$$

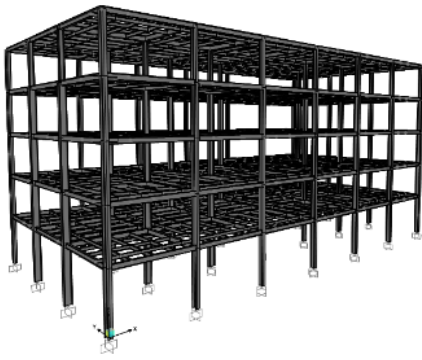
Bağ kirişleri SAP2000 yazılımında yapı üzerinde tanımlanırken TBDY2018 EK 5C' de verilen kurallara bağlı kalınarak kiriş üzerinde, bağ kirişinin geometrik merkezine plastik kesme mafsallı olarak tanımlanmıştır.

Statik İtme Analizi

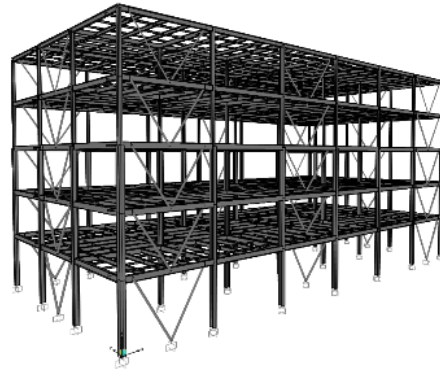
Yapıların yatay yükler etkisindeki davranış özelliklerinin ve performanslarının tespitine yönelik olarak yapılan statik itme (pushover) analizleri, genel olarak yapıda adım adım arttırılan yanal yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değişiminin yapı elemanlarındaki

inelastik davranış özellikleri dikkate alınarak hesaplandığı ve bu hesapların belli performans değerleri için tarif edildiği sayısal bir inceleme yöntemidir. Statik itme analizlerinde uygulanan iki farklı hesaplama yöntemi; deplasman kontrollü analiz ve yük kontrollü analizdir. Deplasman kontrollü analizde, yapının en üst katında (tepesinde) ağırlık merkezinin bulunduğu nokta belirli bir deplasman seviyesine ulaşmaya kadar yatay yükleme yapılır. Kuvvet kontrollü analizde ise yapı belli bir yatay yük seviyesine ulaşmaya kadar yüklenir. Bu yüklemeler belirli aralıklar ile artırılarak her bir adımda yapı elemanlarında ortaya çıkan kuvvet-deplasman ilişkileri incelenir ve yapının hasar düzeyi belirlenir.

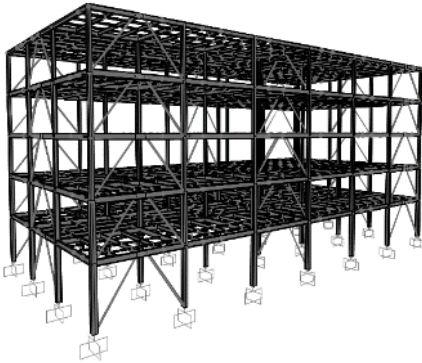
Bu çalışmada statik itme analizine tabi tutulacak olan modeller TBDY2018’de belirtilen koşullara göre değerlendirildiğinde, tek modlu statik itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Modeller tek modlu statik itme analizine tabi tutulduktan sonra kapasite grafikleri incelenmiş ve performans noktaları belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yer değiştirme istemine göre statik itme analizi tekrarlanmış ve modellerin performans düzeyleri belirlenmiştir.



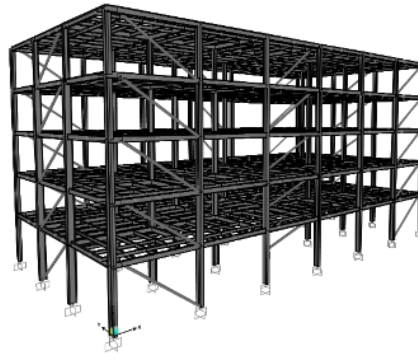
a) 1.Model çelik bina.



b) 2.Model çelik bina.



c) 3.Model çelik bina.



d) 4. Model çelik bina.

Şekil 5 1., 2., 3. ve 4.Model çelik binalara ait 3-D görünüşler.

Araştırma Bulguları

Yapılan analizler sonucunda, dış merkezli çapraz bağlantıları olan binaların herhangi bir çapraz bağlantısı bulunmayan binalara göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte çapraz bağlantı türlerinin birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı durumları da gözlemlenmiştir.

İlk olarak tüm bina modellerinin kesit optimizasyonu yapıldıktan sonra toplam bina ağırlığı ve kullanılan yapısal çelik malzemesi miktarı bakımından karşılaştırmaları yapılmış ve dış

merkez çelik çaprazlı modellerin daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Karşılaştırma bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Ağırlık Karşılaştırmaları.

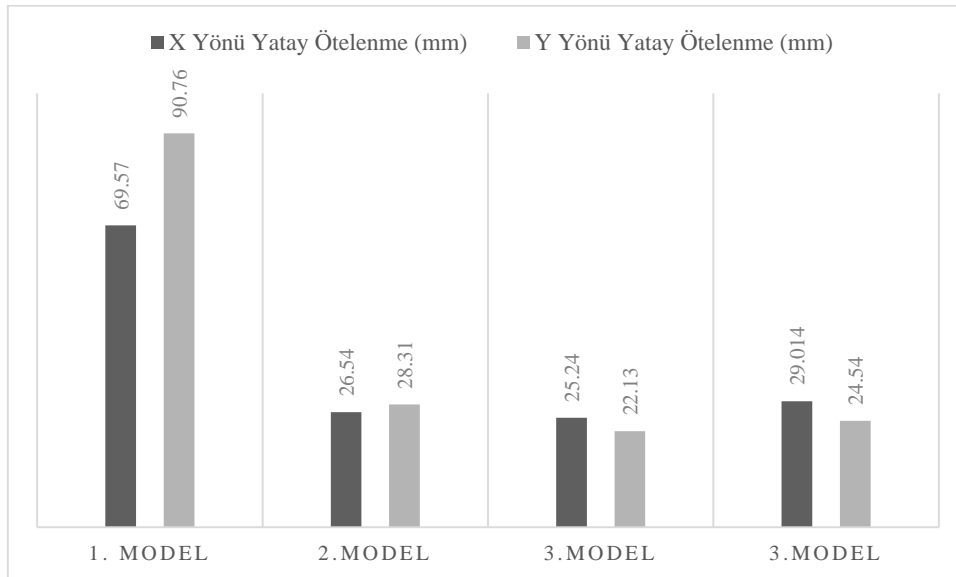
Kategoriler	1. Model	2.Model	3.Model	4.Model
1-Toplam Bina Ağırlığı (ton)	2167,60	2114,11	2002,11	2116,72
2-Kullanılan Toplam S275 Yapısal Çeliği (ton)	167,82	141,37	137,00	151,30
3-Kullanılan Toplam S355 Yapısal Çeliği (ton)	80,40	53,36	49,52	46,04
4-Kullanılan Toplam Yapısal Çelik (ton)	248,22	194,73	186,52	197,34

Tablo 2 incelendiğinde çapraz bağlantı türlerinin de birbirine göre farklı sonuçlar verdiği ve en avantajlı çapraz bağlantı sisteminin dış merkezli “Ters V” çapraz olduğu görülmektedir.

Bir diğer karşılaştırma kriteri olarak yatay yükler etkisi altında bina tepe ötelenmeleri incelenmiş olup dış merkez çelik çaprazlı modellerin daha rijit olduğu ve dış merkez “Ters V” çaprazın bina rijitliğine en çok katkı sağlayan çapraz türü olduğu görülmüştür. Tablo 3’ de modellere ait tepe noktası ötelenme değerleri verilmiş ve yine bu değerlere ait karşılaştırma grafiği ise Şekil 6’ da verilmiştir.

Tablo 3 Bina Tepe Noktası Ötelenme Değerleri.

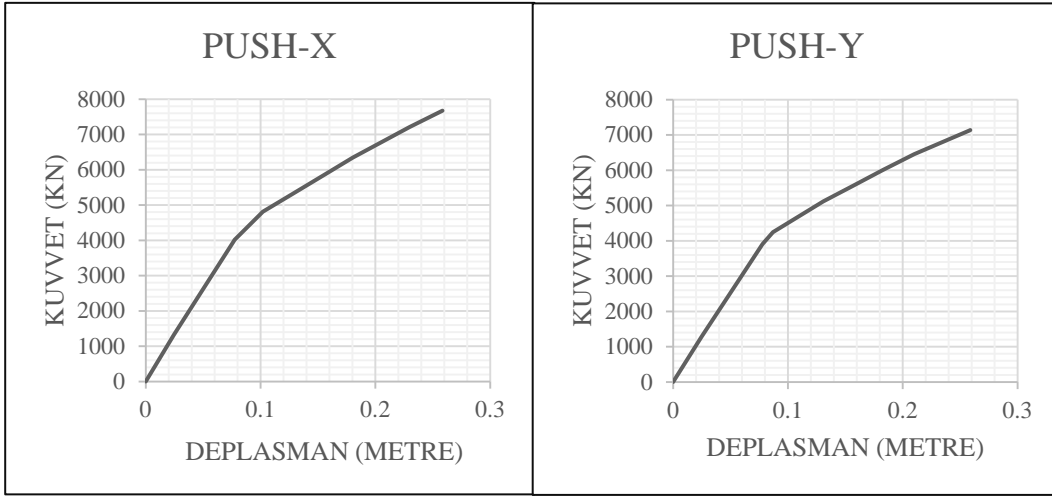
Kategoriler	1. Model	2.Model	3.Model	4.Model
X Yönü Yatay Ötelenme (mm)	69,57	26,54	25,24	29,014
Y Yönü Yatay Ötelenme (mm)	90,76	28,31	22,13	24,54



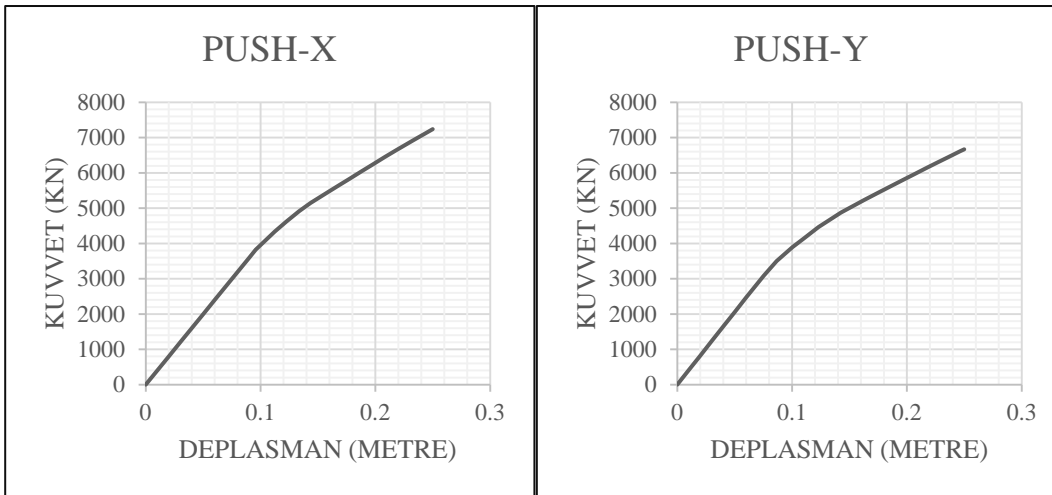
Şekil 6 Bina tepe noktası ötelenme değerleri karşılaştırma grafiği.

Son olarak sadece çapraz bağlantı elemanı içeren modeller Statik İtme Analizi yöntemi kullanılarak performans analizine tabi tutulup çapraz bağlantı türlerinin karşılaştırması yapılmış ve performans analizi sonuçları göz önüne alındığında dış merkez “Ters V” çapraz türünün en iyi performansı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Modellere ait kapasite grafikleri

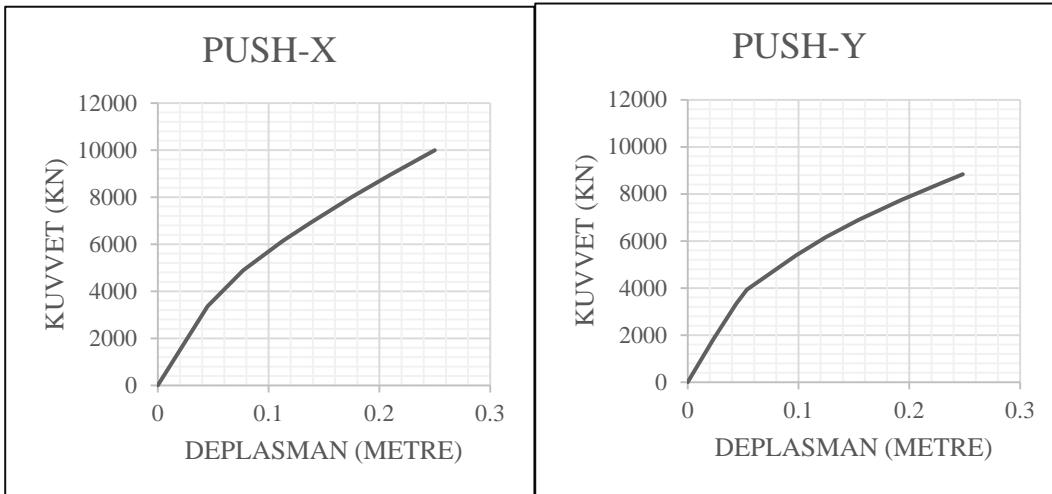
Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir. Ayrıca modellerin performans düzeyleri Tablo 4’de sunulmuştur.



Şekil 7 2.Model’e ait kapasite grafikleri.



Şekil 8 3.Model’e ait kapasite grafikleri.



Şekil 9 4.Model’e ait kapasite grafikleri.

Tablo 4 Modellerin Performans Düzeyleri.

Model Adı	Performans Düzeyi
2.Model	Kesintisiz Kullanım
3.Model	Kesintisiz Kullanım
3.Model	Kontrollü Hasar

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında çaprazlı ve çaprazsız olarak ilgili yönetmelikler ışığında gerekli yüklemelere tabi tutularak tasarımı yapılan çelik bir binanın analiz ve araştırma sonuçları değerlendirildiğinde dışmerkez çaprazlı modellerin herhangi bir çapraz bağlantısı olmayan bina modeline göre çok daha avantajlı olduğu görülmüştür. Çapraz bağlantısı olan modellerin çaprazsız çelik bina modeline göre daha rijit olması ve dış merkezli çaprazların eksenel yük taşıma özelliği sayesinde yapısal sistem kesitlerinde küçülme gözlemlenmiş, bu sayede ekonomik ve statik açıdan daha uygun binalar modellenebilmiştir.

Çapraz bağlantı sistemi bulunan modellerin deprem etkilerine karşı bir diğer avantajlı yönü ise sistem kesitlerinin küçülmesi sonucunda toplam bina ağırlığının azalmasıyla, binaya etkiyecek deprem yüklerinin doğru orantılı olarak azalmasıdır. Bu sebeple çapraz bağlantı sistemi bulunan modellerin depreme daha dayanıklı olduğu söylenebilir.

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 daha büyük boyutlara sahip olması durumunda yukarıda bahsedilen farklar daha büyük olacak ve dış merkezli çaprazların etkisi daha efektif olarak görülebilecektir.

Kaynaklar

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Ankara, Türkiye.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018) Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYDE), Ankara, Türkiye.

Deren H. ve diğ., (2012) Çelik Yapılar. Çağlayan Kitabevi.

İbrahim Simur, (2007) Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerin DBYBHY 2007'ye Göre Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi.

SAP 2000, Linear and nonlinear static and dynamic analysis of three-dimensional structures, Advanced Version 20.2., Berkeley, CA, US: Computer and Structures.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), (1997) TS498: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Ankara, Türkiye.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), (2004) Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgâr Etkileri (Eurocode 1), Ankara, Türkiye.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), (2007), TS EN 1991-1-3: Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükü (Eurocode 1), Ankara, Türkiye.