



Yüksek Sünek Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçevelerin

Yatay Yükler Altında Davranışının İncelenmesi

Investigation Behavior of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems

Under Lateral Loads

Alırza İlker AKGÖNEN¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Alırza İlker AKGÖNEN, ilkerakgonen@ksu.edu.tr

ÖZET

Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler (MÇÇÇ) başta endüstri tipi binalar olmak üzere birçok çelik taşıyıcı sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır. TBDY-2016 ve benzeri şartnamelerde çelik yapı sistemleri için tavsiye edilen çeşitli formlarda MÇÇÇ'ler bulunmaktadır. Tercih edilen çapraz formuna göre yapının yatay yük altındaki davranışı ve performansı değişiklik göstermektedir. Bu sebeple şartnamede tavsiye edilen her bir çaprazın deprem yükü altındaki davranışını bilmek önem arz etmektedir. MÇÇÇ'ler AISC341-16 ve TBDY-2016'ya göre normal sünek ve yüksek sünek olmak üzere iki türlü tasarlanabilir. Literatür çalışmaları da MÇÇÇ'lerin yüksek sünek olarak tasarlandığı ve detaylandırıldığı takdirde çevrimsel yük altında önemli miktarda enerji tükettiğini göstermektedir. Bu hususlar, MÇÇÇ tasarlanırken birleşim bölgesinin çapraz elemanın eksenel yük kapasitesinden daha güçlü tasarlanması, çapraz elemanların basınç kuvveti altında lokal ve global burkulmaların sınırlandırılabilmesi ve birleşim bölgesi guse levhasının deprem enerjisini tüketebilecek şekilde detaylandırılması olarak özetlenebilir.

Bu çalışmada MÇÇÇ'lerde sünekliği etkileyen parametreler incelenmiş ve TBDY-2016'da bulunan 4 farklı merkezi çapraz sistemi (Tek diyagonal çapraz basınç-çekme, X çapraz, V çapraz), ve çaprazsız yüksek sünek moment çerçeve sistemi bu çalışma kapsamında statik itme analizi uygulanarak araştırılmıştır. Taşıyıcı sistemlerin süneklikleri, rijitlikleri, nihai yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda X tipi MÇÇÇ modelinin rijitlik ve enerji tüketimi yönüyle diğer sistemlere göre yatay yük altında performansının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler, Statik İtme Analizi, Plastik Mafsallık

ABSTRACT

Concentric Steel Bracings are commonly used for steel framing systems especially for industrial buildings. There are several forms of Concentric Steel Bracings recommended by TBDY-2016 and other steel design codes. Behavior and performance of frame under lateral load varies according to preferred bracing form. For this reason, it is important to know characteristic behavior of each bracing form recommended by design codes. Concentrically Braced Frame (CBF) can be designed with nominal ductility level (OCBF) and high ductility level (SCBF) according to TBDY-2016 and AISC341-16. Literature studies also show that proper designed and detailed SCBF dissipate serious amount of energy under cyclic loading. Proper design of SCBF can be summarized as stronger design of bracing connection compared to bracing axial load capacity, limitation of local and global buckling of bracing under compression load and proper detailing of gusset plate allowing earthquake energy dissipation.

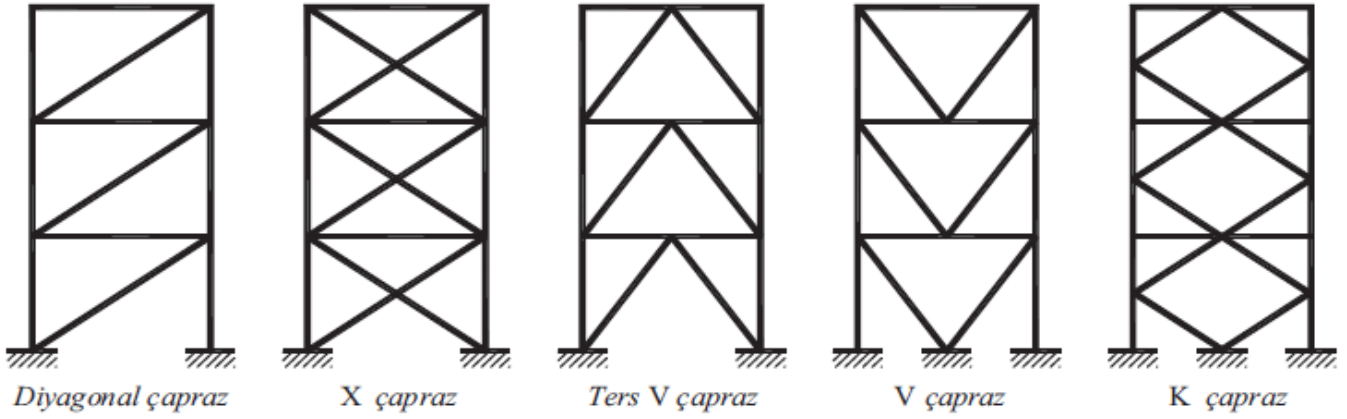
In this study, parameters affecting ductility of SCBF studied and four different framing form (Compression-Tension only type, X type, V type) given by TBDY-2016 and Special Moment Frame (SMF) without bracing were investigated applying static push-over analysis. Ductility, rigidity, ultimate loading capacity of frames were determined and compared. At the end of study, it was observed that X type SCBF model performed higher rigidity and energy dissipation compared to other models under lateral load.

Keywords: Concentric Steel Bracings, Static Push-over Analysis, Plastic Hinge

1. GİRİŞ

Ülkemizde yüksek katlı çelik yapı inşaatı gün geçtikçe artmaktadır. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde, bu yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanması büyük önem arz etmektedir. Çapraz elemanlar ve moment birleşimleri deprem ve rüzgâr yüklerine karşı yanallı rijitlik sağlayan en önemli elemanlardır. Ancak moment birleşimi kullanımı işçilik maliyetinin yüksek olması ve yanallı rijitliğin çaprazlı sistemlere göre daha az olması sebebiyle çelik çapraz sistemler daha çok rağbet görmektedir. Çok çeşitli çelik çapraz sistemleri bulunmaktadır. Çelik çapraz sistemine göre taşıyıcı sistemin yatay yük altındaki davranışı değişiklik gösterebilmektedir. Çelik çapraz sistemler genel olarak merkezi ve dış merkez çapraz sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 1'de TBDY-2016'da bulunan başlıca merkezi çapraz tipleri görülmektedir.

Taşıyıcı sistem sünekliği, depreme dayanıklı yapı tasarımı için önem arz etmektedir. MÇÇÇ'de 3-5 arasında bir değerde sünekliğe ihtiyaç duyulmaktadır (Akbaş B.,(2011)). Bu çalışmada tamamı merkezi çaprazlı olmak üzere tek diyagonal çapraz basınç-çekme, X çaprazlı, V çaprazlı, çaprazsız moment birleşimi taşıyıcı sistemler statik itme analizi uygulanarak incelenmiş ve taşıyıcı sistemler arasında kıyaslama yapılmıştır. Model çalışmaları için Avrupa tipi çelik profiller tercih edilmiştir. Çelik malzemesi S355JR olarak kabul edilmiştir. Plastik analiz, yatay yönde bir birimlik kuvvetin kademeli olarak artırılması ile gerçekleştirilmiştir. Tüm modellerin aynı tür zeminde bulunduğu kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistemlerde kolonlar zemine sabit mesnet (dönme serbestliği mevcut) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. TBDY-2016 Taslak yönetmelikte bulunan merkezi çapraz sistemler (TBDY-2016)

2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

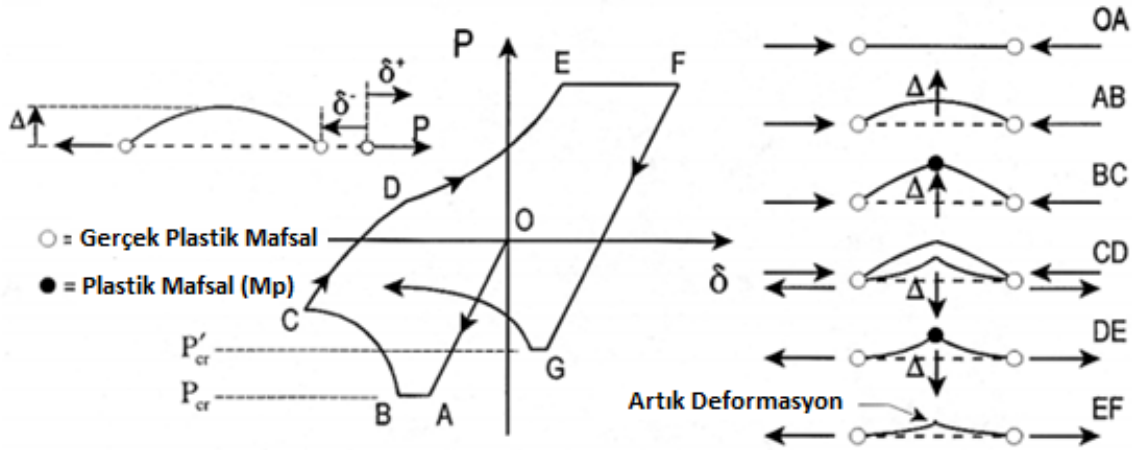
Tremblay R.(2002), çapraz elemanların çevrimsel yük altındaki davranışını incelemiştir. Diyagonal burkulma mukavemeti, burkulma sonrası çapraz eleman basınç mukavemeti, çekme kuvveti altında malzeme pekleşme etkisi dikkate alınarak diyagonal eleman mukavemeti araştırılmıştır. Akbaş B.(2011) çalışmasında merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin sünek tasarım ilkelerini detaylı olarak açıklamıştır. Shen J. ve ark. (2014) iki kat yüksekliğindeki X çaprazlı ve tek kat yüksekliğindeki ters V merkezi çelik çerçeveleri 6 ve 12 katlı binalar için farklı deprem ivme kayıtları kullanılarak incelemiştir. Nassani ve ark. (2017), tarafından çeşitli formlarda oluşturulmuş merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveleri farklı kat yükseklikleri için incelenmiş, modellerin kapasite eğrileri ve kat yer değiştirmeleri araştırılmıştır.

3. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLARIN TASARIMI

3.1. Çapraz Eleman Çevrimsel Davranışının İncelenmesi

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazların tasarımının yapılabilmesi için tek bir çapraz elemanın aksel yük altında çevrimsel davranışının anlaşılması gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde aksel kuvvet P , aksel yer-değiştirme δ , çapraz orta noktasının düzlem dışı yer değiştirme ise Δ ile gösterilmiştir. Çekme kuvveti altında yer değiştirme pozitif, basınç kuvveti altında yer değiştirme ise negatif yönde gösterilmiştir. Çapraz elemana ilk olarak basınç kuvveti uygulanmıştır. A noktasında elastik burkulma meydana gelmektedir. Yükleme devam ettiğinde (AB bölgesi) düzlem dışı hareket meydana gelecektir. Yük artışıyla bu aşamadan sonra kiriş orta bölgesinde plastik mafsallık meydana gelecek (BC bölgesi) ve çapraz eleman yük taşıma kapasitesinde düşüş meydana gelecektir. BC bölgesinde doğrusal olmayan bir davranış gözlemlenecektir. Aksel yük kalktığında ($P=0$ durumu için) (D noktası) çapraz elemanda her iki düzlemde bir miktar kalıcı yer değiştirme δ ve Δ meydana gelmiş olacaktır. Grafikte D noktası kalıcı δ yer değiştirmesini göstermektedir. Eleman çekme yönünde tekrar yüklendiğinde (DE düzlemi) düzlem dışında kalmış eleman eski düzlemine doğru yaklaşır ve E noktasında çekme elemanı olarak akmaya maruz kalır. F noktasında eleman tekrar aksel basınç altında yüklendiğinde (FG aralığı) artık burkulma mukavemeti önceki burkulma mukavemetinden daha düşük olacaktır. Bu durum G noktasında görülmektedir (Bruneau M. ve ark.,2011).

Şekil 2'de histeretik grafik altındaki alan elemanın enerji yutma kabiliyetini göstermektedir. Elemanın kompaktlık özelliği arttıkça ve narinliği azaldıkça bu alan artmaktadır. Statik itme analizinde taşıyıcı elemanlardaki tüm plastikleşmenin plastik mafsallık adı verilen bölgelerde meydana geldiği kabul edilmektedir. Çapraz elemanların orta bölgesi (şekil 2'de siyah nokta ile gösterilen bölge) plastik mafsallık olarak tanımlanır.

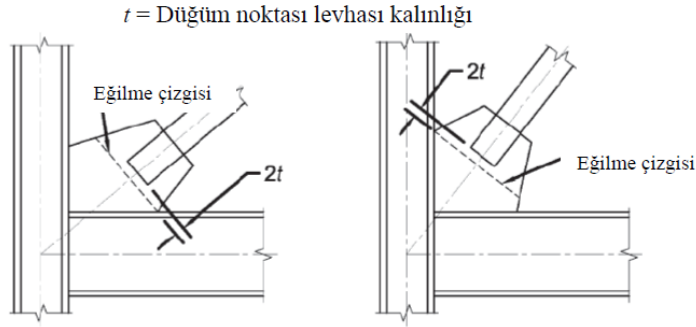


Şekil 2. Çevrimsel yük altında diyagonal elemanın histeretik davranışı (Bruneau M. ve ark.,2011)

3.2. TBDY2016'ya göre Merkezi Çaprazların Tasarım İlkeleri

Merkezi çelik çapraz sistemlerin tasarımı TBDY-2016'da süneklik düzeyi sınırlı ve süneklik düzeyi yüksek olmak üzere ikiye ayrılır. Bu çaprazlar basınç elemanlarının bazılarında burkulma meydana gelse dahi taşıyıcı sistemde önemli derecede dayanım kaybı olmayacak şekilde boyutlandırılırlar (TBDY-2016). Bu hususta aşağıdaki tasarım kurallarına dikkat edilmelidir.

- TBDY-2016'da "Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranları TBDY-2016'da verilen tablo 9.3'te verilen λ hd sınır değerlerini aşmayacaktır." denilmektedir. Özetle belirtmek gerekirse çapraz eleman için tercih edilen kesit, lokal burkulmanın önlenmesi amacıyla şartnamede belirtilen kompaktlık şartlarını sağlamalıdır. En sık kullanılan çapraz eleman tiplerinden olan dairesel boru kesit ve kutu kesitlerin yüksek sünek performans sergilemesi için maksimum narinlik sınır değerleri tablo 1'de verilmiştir.
- TBDY-2016'da "Binanın bir aksı üzerindeki merkezi çapraz sistemi elemanları, o aks doğrultusundaki her iki deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde düzenlenecektir." denilmektedir. Bu maddede özetle deprem yüküne karşı koyacak taşıyıcı sistem elemanların sadece basınç veya sadece çekme alacak şekilde tek yönde tasarlanmaması gerektiği, çaprazlardan bir kısmının basınç, diğer kısmının ise çekme alacak şekilde dengeli bir sistem seçilmesi tavsiye edilmiştir.
- Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=5$, Dayanım Fazlalığı Katsayısı $D=2$ kabul edilecektir (TBDY-2016).
- Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=6$, Dayanım Fazlalığı Katsayısı $D=2,5$ kabul edilecektir. (TBDY-2016).
- TBDY-2016'da "Çapraz elemanların narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $KL/i \leq 200$ sınır değerini aşmayacaktır. Ancak, V veya ters V şeklindeki çapraz düzenleri kullanılması durumunda, narinlik oranı için $4.0\sqrt{E/F_y}$ koşuluna uyulacaktır." denilmektedir.
- Birleşim bölgesi guse levhasının deprem enerjisini tüketebilecek şekilde detaylandırılması gerekmektedir. TBDY-2016'da guse levhası için aşağıdaki detay tavsiye edilmektedir. Guse levhasının kalınlığı t olmak üzere, çapraz eleman uç noktası ile guse levhası eğilme çizgisi hattı arasında $2t$ 'lik bir mesafe bırakılması, guse levhasında plastikleşmenin meydana gelebilmesi için tavsiye edilmektedir.



Şekil 3. Guse levhası için verilen birleşim detayı (TBDY-2016)

Tablo 1. Çapraz elemanlarda yüksek sünek davranış için şartnamelerde verilen (b/t) oranları

Eleman tanımı	TBDY-2007	TBDY-2016	AISC341-16
Dikdörtgen Kutu Kesit	$0,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
Dairesel Boru Kesit	$0,05 \frac{E}{F_y}$	$0,038 \frac{E}{F_y}$	$0,053 \frac{E}{R_y F_y}$

4. MERKEZİ ÇAPRAZLI TAŞIYICI SİSTEMLERİN PLASTİK ANALİZİ

Statik itme analizi farklı yöntemler ile uygulanabilmektedir. Bu çalışmada hem eşdeğer deprem yükü uygulayarak, hem de yapının modal analiz sonucu elde edilen birinci titreşim periyodu kullanılarak statik itme analizi gerçekleştirilmiş olup sonuçların çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Tüm kirişlerde birleşimler kesme birleşimi olarak tanımlanmıştır. Kolonların zemine sabit mesnetli bağlandığı kabul edilmiştir.

Statik itme analizi yük kontrollü ve yer değiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada yer değiştirme kontrollü itme analizi yöntemi tercih edilmiştir. Statik itme analizinde yapının genel olarak en üst katında bulunan bir düğüm noktası incelemeye alınarak bu nokta için hedef yer değiştirme belirlenir. Bununla birlikte tüm kolon ve kirişlerin başlangıç ve bitiş uçlarına, çapraz elemanların ise orta noktasına plastik mafsalları tanımlanır. Plastik mafsalların özellikleri FEMA-356'ya göre belirlenmiştir. Elemanlara tanımlanan plastik mafsalların özellikleri taşıyıcı elemanın aldığı yük tipine göre (eğilme, basınç vs..) değişiklik gösterir. Statik itme analizi iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada $W=G+NQ$ ile hesaplanan yapı düşey yükü uygulanmış, iki aşamada ise yatay yük kademeli olarak tatbik edilmiştir. Analiz sonucunda yapının kapasite eğrisi elde edilmiştir. Bina kapasite eğrisi yapı taşıyıcı sistemi hakkında çok önemli bilgiler vermektedir. Bu bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

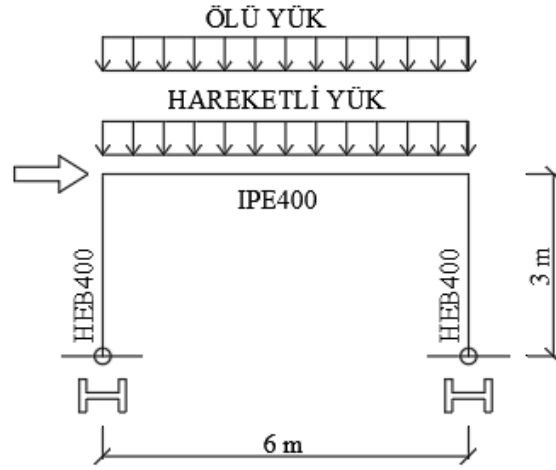
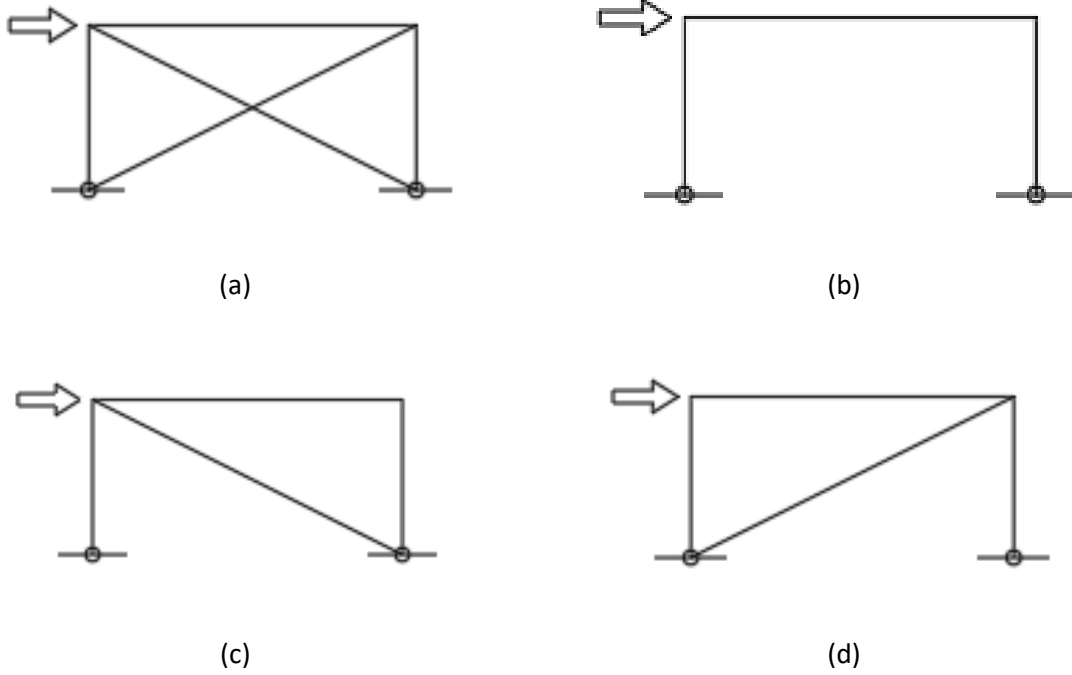
- Yapıda meydana gelen mafsallaşma sırasının incelenmesi ile taşıyıcı sistem tasarımının depreme karşı uygunluğu hakkında fikir sahibi olunabilir.
- Yapının taşıyabileceği nihai yatay yük taşıma kapasitesi tespit edilebilir.
- Yapının rijitliği ve sünekliği belirlenebilir.

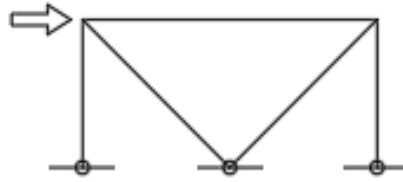
4.1. Model Hakkında Bilgi

Bu çalışmada beş farklı çelik çaprazlı taşıyıcı sistem incelenmiştir. Bunlardan bir tanesi çaprazsız moment çerçevesi, diğerleri ise merkezi çelik çaprazlı çerçevelerdir. Tüm çerçeveler tek açıklıklı olup, kat yüksekliği 3 m, ve kolonlar arası açıklığı 6 m'dir. Kolonlarda HEB400 profili, kirişlerde IPE400 profili, çaprazlarda ise kutu profil (140x140x8) tercih edilmiştir. Çaprazlı modellerde, tüm birleşimlerde kesme tipi birleşim kullanılarak sadece çaprazların taşıyıcı sisteme olan etkisi gözlemlenmiştir. Kolonlar deprem doğrultusunda yönlendirilerek itme analizi gerçekleştirilmiştir. S355 çelik kalitesi için akma dayanımı 355 Mpa, kopma dayanımı 520 Mpa kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistem ölü yükü 24 kN/m, hareketli yükü 12 kN/m kabul edilmiştir. Yapı ağırlığı $W=G+NQ$ formülü ile hesap edilmektedir. N, hareketli yük katılım katsayısını ifade etmektedir. İncelenen modelde yapının mesken amaçlı kullanıldığı kabulü ile N katsayısı 0,3 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Profil özellikleri

Profil tipi	h (mm)	b (mm)	t _r (mm)	t _w (mm)	Malzeme
HEB400	400	300	24	13,5	S355
IPE400	400	180	13,5	8,6	S355
TUBE 140.140.8	140	140	8	8	S355

**Şekil 4.** Taşıyıcı sistem yükleme şekli, geometrik özellikleri ve kolon-kiriş kesitleri



(e)

Şekil 5. İncelenen taşıyıcı sistemlerin birlikte gösterimi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

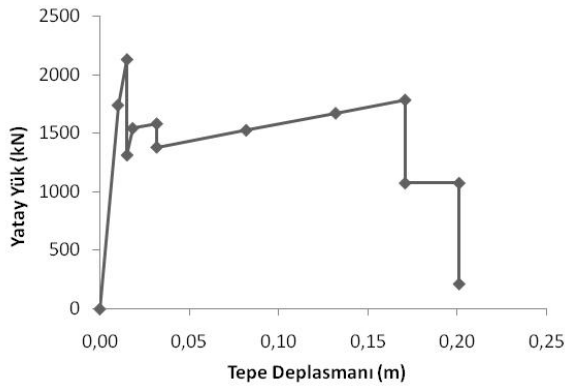
Gerçekleştirilen statik itme analizi sonrasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. X çapraz sistem en yüksek yatay yük kapasitesine sahiptir. Şekil 6a'da görüldüğü üzere basınç elemanında burkulma meydana geldikten sonra çekme elemanı devreye girmiştir. Şekil 6b'de görüldüğü üzere moment çerçevesi sünek davranış sergilemiştir. Ancak nihai yatay yük taşıma kapasitesi en düşük olan çerçeve sistemidir. Basınç yönünde çalışan çapraz çerçeve (şekil 6c) yatay yük altında en düşük performansı sergilemiştir. Çapraz eleman burkulma sonrası taşıyıcı vasfını kaybetmiştir. Çekme yönünde tek diyagonal çerçeve (şekil 6d) sünek davranış sergilemiştir. Ancak rijitliği V ve X çerçevelere göre daha düşüktür. V çapraz çerçeve de sünek davranış göstermiş ve elastik bölgede X çapraz rijitliğine yakın rijitlik elde edilmiştir. Şekil 6f'de tüm çerçevelerin yatay yük-tepe deplasmanı ilişkisi aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Yapı sünekliği, yapının nihai taşıma gücüne ulaştığında gerçekleştirdiği yatay deplasmanın, yapının plastikleşmeye başladığı noktada gerçekleştirdiği yatay deplasmana oranı olarak tarif edilebilir. Tablo 3'de bu tanıma göre çerçevelerin süneklik değerleri tespit edilmiştir. Ancak yapı kapasite eğrileri altında kalan alan dikkate alınarak ta süneklik değerlendirilebilir. Bu durumda X çapraz sistemin diğer sistemlere göre daha sünek olduğu görülmektedir.

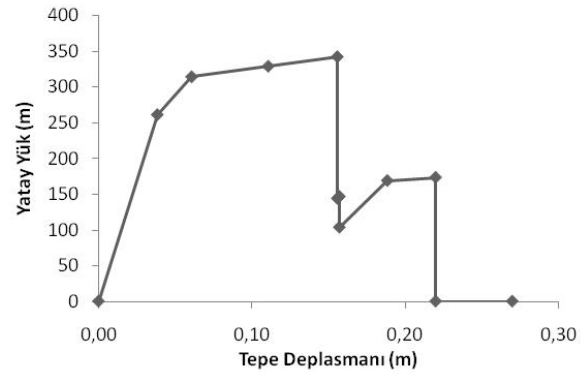
Tablo 3. Taşıyıcı sistemlerin rijitliklerinin karşılaştırılması

Profil tipi	X	V	Tek basınç	Tek Çekme	Moment Çerçeve
Rijitlik (kN/m)	172.050,0	162.432,0	99.613,0	73.027,0	6.801,0
Süneklik	11,21	12,99	1,51	9,30	4,07
Nihai Çerçeve Kapasitesi (kN)	2.128,0	1.411,0	430,0	1.784,0	342,0

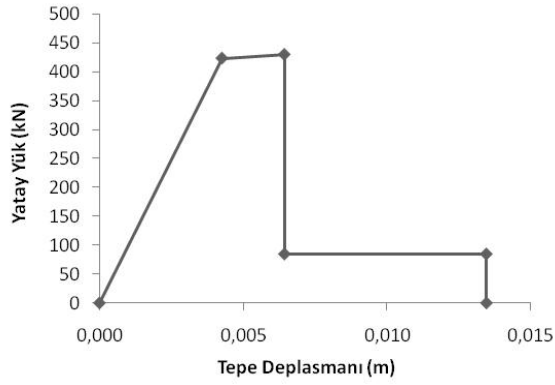
Gerçekleştirilen statik doğrusal-olmayan itme analizi grafikleri aşağıda verilmiştir



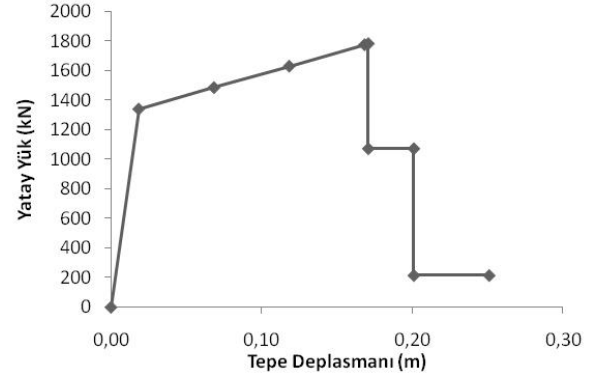
a) X çapraz



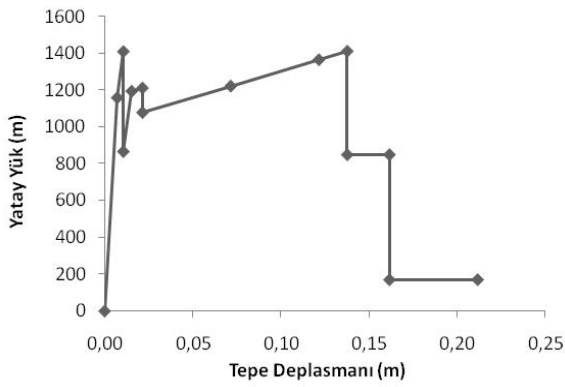
b) Moment çerçevesi



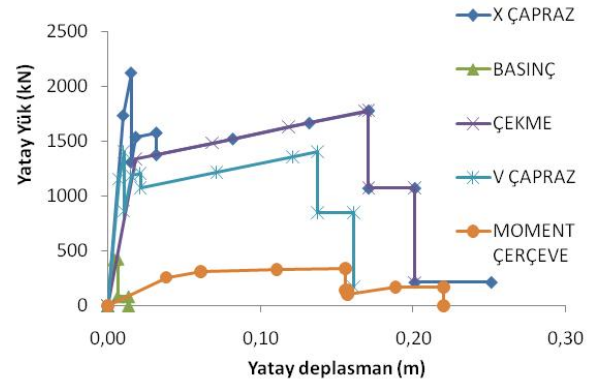
c) Tek basınç yönünde çapraz



d) Tek çekme yönünde çapraz

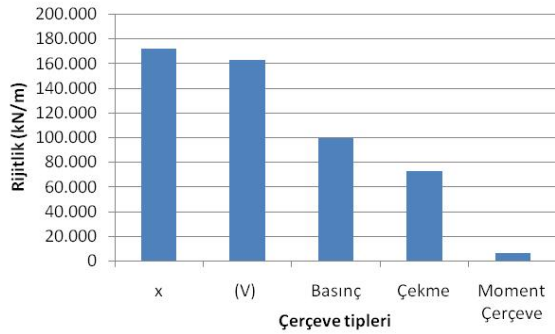


e) V-çapraz

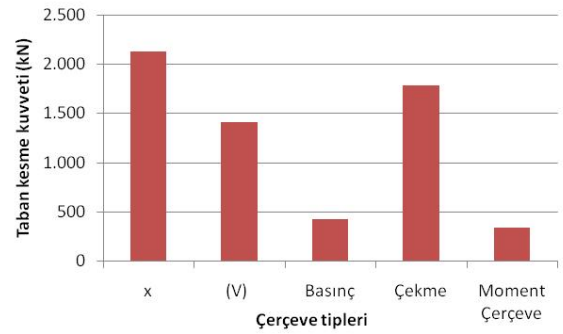


f) Tüm çerçeveler

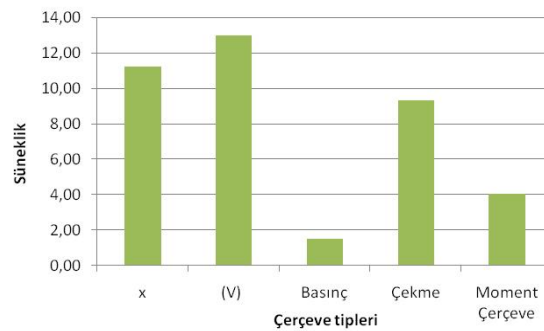
Şekil 6. Çerçevelerin plastik analiz sonuçları



Şekil 7. Çerçeve rijitlikleri



Şekil 8. Çerçeve nihai yük taşıma kapasiteleri



Şekil 9. Çerçeve süneklikleri

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada MÇÇÇ'lerde sünekliği etkileyen parametreler incelenmiş ve TBDY-2016'da bulunan 4 farklı merkezi çapraz sistemi (Tek diyagonal çapraz basınç, tek diyagonal çapraz çekme, X çapraz, V çapraz) ve çaprazsız yüksek sünek moment çerçeve sistemi bu çalışma kapsamında statik itme analizi uygulanarak araştırılmıştır. Taşıyıcı sistemlerin süneklikleri, rijitlikleri, nihai yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yüksek sünek davranışa en büyük katkının çekme elemanları ile sağlandığı gözlemlenmiştir. Basınç altındaki elemanlar, burkulma sebebiyle çok sınırlı miktarda enerji tüketmektedir.
2. Elastik bölgede en rijit davranış X tipi çaprazlı çerçevede elde edilmiştir. Rijitliği en az olan çerçeve ise moment çerçevesidir. İki sistem arasındaki oran 25,3 olarak tespit edilmiştir.
3. En yüksek yük taşıma kapasitesi, X tipi çaprazlı çerçevede, en düşük yük taşıma kapasitesi ise moment çerçevede gözlemlenmiştir. İki sistem arasındaki oran 6,22 olarak tespit edilmiştir.
4. Taşıyıcı sistemde nihai yük taşıma kapasitesine ulaşıldığında meydana gelen yatay deplasman ile yapıda plastikleşme meydana geldiğinden yapının yapmış olduğu yatay deplasmanın birbirine oranı dikkate alınarak süneklik incelendiğinde, V tipi taşıyıcı sistemin en sünek davranış gösterdiği görülmektedir. Ancak yük-deplasman eğrisi altındaki alan dikkate alındığında en fazla enerji tüketiminin X tipi çaprazda meydana geldiği gözlemlenmiştir. En düşük süneklik ise basınç tipi çerçevede meydana gelmiştir. V tipi çaprazın en sünek çerçeve olduğu kabul edilirse bu sistemlerin süneklikleri oranı 8,6 olarak tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

ANSI/AISC 341-10 (2010). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, IL, USA.

Akbaş B. (2011). Endüstriyel Çelik Yapıların Sismik Detaylandırılması, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara.

Bruneau M., Uang C., Sabelli R., (2011). Ductile Design of Steel Structures, Second Edition, *The McGraw-Hill Companies*, USA.

FEMA-356 (2000). Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C, USA.

Nassani D., Hussein A., Mohammed A. (2017). Comparative Response Assessment of Steel Frames With Different Bracing Systems Under Seismic Effect, *Structures*, , 229-242.

Shen J, Wen R, Akbas B, Doran B, Uckan E.(2014). Seismic Demand on Brace-Intersected Beams in Two-Story X-Braced Frames. *Engineering Structures*, 76, 295–312.

Tremblay R.(2002). Inelastic Seismic Response of Steel Bracing Members. *Journal of Constructional Steel Research*, 58, 665–701.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Taslağı (TBDY), (2016). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*.