

## MERKEZDEN SAPAN ÇAPRAZ SİSTEMLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME BİR BİNANIN DEPREM DAVRANI

A. Khaleel<sup>1</sup>, E.M. Güneyisi<sup>2</sup> ve A. Gültekin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

<sup>2</sup> Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

<sup>3</sup> Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

Email: agultekin@gantep.edu.tr

### ÖZET:

Günümüzde çelik çapraz sistemler yeni yapılarda ve güçlendirme ihtiyacı olan mevcut yapılarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, geleneksel çapraz sistemler yerine son zamanlarda kullanılmaya başlanılan ve çerçeve sistemi içerisinde daha fazla pencere veya kapı boşluğunu bırakılmasına olanak sağlayan merkezden sapan çapraz sistem (Off-center bracing system) uygulamasının 8 katlı betonarme bir binanın deprem davranışını üzerine etkisi araştırılmıştır. Örnek bina her iki yön için farklı açıklıklara (3x4 açıklıklı) ve her kat için aynı kat planına sahiptir. Dış ve iç açıklıklar sırasıyla 3 ve 4 m'dir. Merkezden sapan çelik çapraz sistem 3 ana elemandan oluşmaktadır. Dış çerçeve açıklığı içerisinde herhangi bir noktada bulunan köşegen dış çapraz elemanlar iken, üçüncüsü bu noktadan diğer iki çapraz çerçevenin köşesine bağlanmaktadır. Bu düzenleme farklı dış merkezlilik parametrelerini oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında, dış çapraz 80'den 240 mm'ye değişen 9 farklı boyut özelliğine sahip boşluklu dairesel kesitli çapraz elemanlar ile dış merkezlilik oranı 0.2'den 0.8'e kadar değişen 4 farklı merkezden sapan çapraz sistem kullanılmıştır. Çelik çaprazların yapının her iki doğrultusunda olmak üzere yapının dışına yerleştirilmiştir. Yapısal analizlerde doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Güçlendirilmiş yapının sismik performansı üzerinde kullanılan çapraz sisteminin geometrisi ve çapraz boyut etkisi karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları yapının yanal yük taşıma kapasitesinin dış merkezlilik miktarına çok duyarlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, dış merkezliliğin 0.2'den 0.8'e artmasıyla örnek yapının yanal yük taşıma kapasitesinin birçok durumda azaldığı görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER :** Betonarme yapı, Dış merkezlilik, Doğrusal olmayan davranış, Merkezden sapan çapraz sistem, Sismik tepki

### 1. GİRİŞ

Çelik çaprazlar hem deprem yüklerine hem de rüzgar yüklerine karşı yapıların rijitliklerini ve yanal yük taşıma kapasitelerini arttırmak amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Çelik çaprazlar, diyagonal çapraz, X-çapraz, Y-çapraz, ters-V-çapraz, V-çapraz ve K-çapraz gibi farklı konfigürasyonlarda uygulanabilmektedir. Bu bağlamda, yönetmelik gereksinimleri ve değerlendirme prosedürlerini iyileştirmek amacıyla literatürde deneysel ve analitik birçok araştırma yapılmıştır (Kim ve Choi, 2005; Marino ve Nakashima, 2006; Güneyisi ve Ameen, 2014; Longo vd., 2008; Güneyisi ve Muhyaddin, 2014; D'Aniello vd., 2014; Güneyisi ve Gültekin, 2012; Kalkan vd., 2013).

Son zamanlarda, çelik çapraz tiplerinden olan merkezden sapan çapraz sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu çelik çapraz uygulamasında çerçeve açıklığında kendi alanları içerisinde herhangi bir noktada bulunan köşegen dış çapraz elemanlar başka bir çapraz elemanla çerçevenin köşesine bağlanmaktadır (Moghaddam ve Estekanchi, 1999; Rasekh vd., 2008; Bazzaz vd., 2012; Yazdi ve Sulong, 2011). Bu düzenleme farklı dış merkezlilik parametrelerini oluşturmaktadır. Bu dış merkezlilik, yapı sisteminin histeretik davranışını, dayanım ve rijitliğini kontrol etmeyi sağlamaktadır (Estekanchi vd., 2004).

Literatürde, Moghaddam vd. (1999) merkezden sapan çelik çaprazların elastik davranışının yanı sıra elastik olmayan davranışını da incelemiştir. Tipik merkezden sapan çapraz sisteminin uygulandığı çok katlı bir çerçevenin performansını araştırmıştır. Yine Mosalman ve Sulong (2010) yanal yüke maruz merkezden sapan çapraz sisteminde, çapraz elemanlarda oluşan kuvvetleri incelemiştir. Dış merkezlilik arttıkça rijitliğin

azaldığını saptamışlardır. Ayrıca, kesit alanının ve çaprazları çerçevenin köşesine balyan üçüncü çaprazın sistemin rijitliğini belirleme de önemli etkisi olduğunu gözlemlemiştirlerdir.

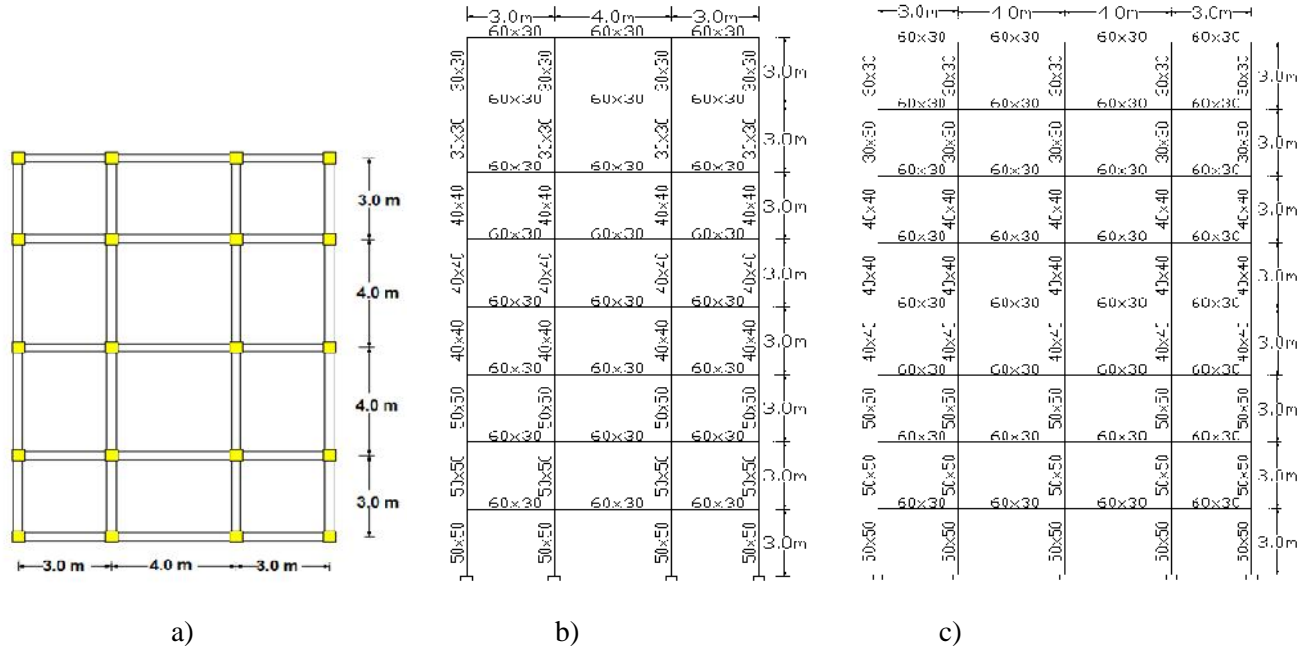
Merkezden sapan çapraz sisteminin dizaynında, tasarımcılar genellikle tasarımı etkileyen çapraz elemanların kesit alanı, boyutları ve gereken bölük alanı gibi çeşitli parametreleri dikkatlenerek deneme-yanılma metodunu kullanmaktadırlar. Bu nedenle, maksimum yanal burkulma yükü ile en iyi balyan noktasını belirlemek sorun olmaktadır. Yazdi ve Sulong (2011) bu sistemde en yüksek yanal burkulma yükü için optimum balyan noktası belirlemede kullanılabilecek genetik algoritmaya dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu metotla balyan noktası daha hızlı ve daha etkin bir şekilde belirlenebilmektedir. Benzer şekilde, Yazdi ve Sulong (2013) balyan noktasının en pratik ve en iyi yerini elde etmek için MATLAB programında geliştirilen bir bilgisayar modeli oluşturmuşlar ve kapı, pencere gibi mimari yapı elemanları için gerekli bölükleri sınır durumu olarak iki denklem halinde tanımlamışlardır.

Sunulan bu çalışmada, farklı dairesel merkezlilik oranlarına sahip merkezden sapan çelik çaprazlı sistemlerin ilavesinin mevcut betonarme yapının sismik davranış üzerindeki etkisi karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu amaçla, dairesel çapı 80'den 240 mm'ye değişen 9 farklı boyut özelliğine sahip bölüklü dairesel kesitli çapraz elemanlar ile dairesel merkezlilik oranı 0.2'den 0.8'e kadar değişen 4 farklı merkezden sapan çapraz sistem kullanılmıştır. Çelik çaprazlar yapının her iki doğrultusunda olmak üzere yapının dışına yerleştirilmiştir. Mevcut ve yapısal çelik sistemlerle güçlendirilmiş yapının deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde ise dairesel olmayan statik ve dinamik analizler kullanılmıştır.

## 2. ANALİTİK ÇALIŞMA

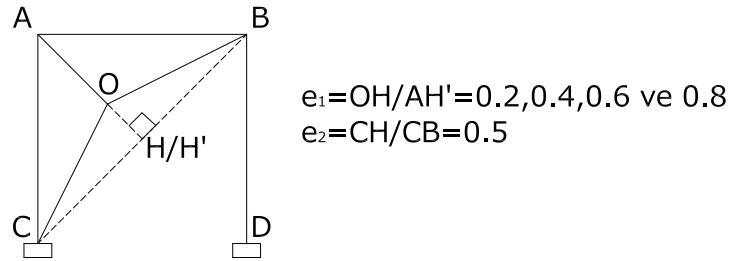
### 2.1. Mevcut ve Çaprazlı Betonarme Binaların Özellikleri

Bu çalışmada x doğrultusunda 3 açıklıklı, y doğrultusunda ise, 4 açıklıklı a sahip 8 katlı betonarme çerçeve sistemli bir yapı örnek olarak seçilmiştir. Dış ve iç açıklıklar sırasıyla 3 ve 4 m'dir. Seçilen betonarme yapıya ait genel plan ve kesit görünüşleri ekil 1'de verilmektedir. Yapı 1. derece deprem bölgesinde ve DBYHYH (2007)'e göre Z4 zemin sınıfında yer almaktadır. Yapının malzeme kalitesi C25 betonu ve S420 çeliği olarak alınmıştır. Kolon boyutları katlara göre değişmekte, kiriş boyutları ise tüm katlarda sabit 30x60 cm'dir. Kat yükseklikleri 3 m olmak üzere, bina toplam yüksekliği 24 m'dir.

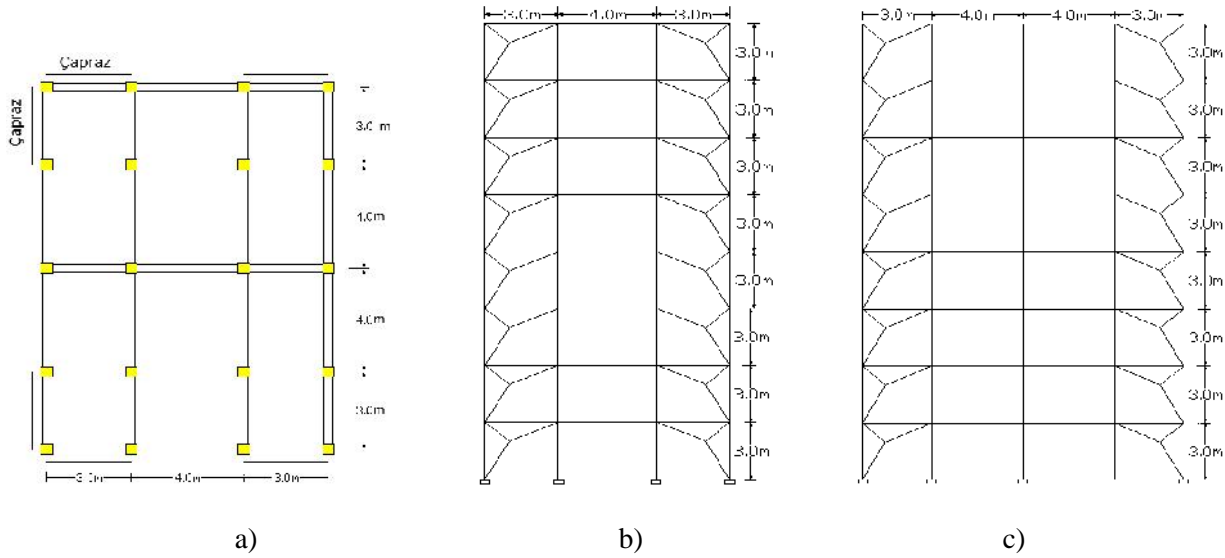


ekil 1. Mevcut betonarme yapı: a) kat planı, b) x-z düzlemi çerçeve görünüşü ve c) y-z düzlemi çerçeve görünüşü

Merkezden sapan çelik çapraz sistem 3 ana elemandan oluşmaktadır. Kiriş çerçevesi açıklığı  $l_1$  içerisinde herhangi bir noktada bulunan köşegen  $d_1$  çapraz elemanları iken, üçüncüsü bu noktadan diğer iki çaprazı çerçevenin köşesine bağlamaktadır. Bu düzenleme farklı köşegenlik parametrelerini oluşturur. Mevcut betonarme binanın köşegenlik oranları  $e_1$  ve  $e_2$  olarak tanımlanmıştır. Farklı köşegenliklere sahip merkezden sapan çaprazlar ekil 3'te gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir. Merkezden sapan çaprazlı binalarda et kalınlığı 4 mm olan, dış çapı 80'den 240 mm'ye değişen 9 farklı boyut özelliğine sahip bölümlü dairesel kesitli (BDK) çapraz elemanları kullanılmıştır, köşegenlik oranları  $e_2 = 0.5$  olarak sabit tutulmuş,  $e_1$  ise 0.2'den 0.8'e kadar değiştirilerek 4 farklı geometriye sahip çapraz sistem oluşturulmuştur.



ekil 2. Merkezden sapan çapraz sistemde köşegenlik oranlarının tanımı



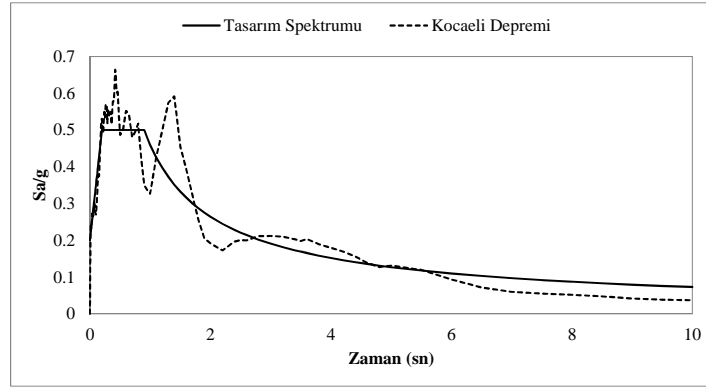
ekil 3. Merkezden sapan çelik çaprazlı bina: a) kat planı, b) x-z düzlemi çerçeve görünümü ve c) y-z düzlemi çerçeve görünümü

## 2.2. Analiz Yöntemi

Merkezden sapan çelik çapraz sistemlerinin mevcut yapının sismik davranışına etkisi doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlerle incelenmiştir. Betonarme elemanlarda olası plastik mafsallık bölgeleri elemanların uç noktalarında, çelik çapraz elemanlarda ise elemanların orta noktasında tanımlanmıştır. Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında FEMA 356'dan (2000) yararlanılmıştır.

Ayrıca, doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılmak üzere 50 yılda bir olası maksimum %50 olan depremi esas alan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen deprem ivmesi kaydı kullanılmıştır (PEER, 2011). ekil 4'de 1999 Kocaeli depremine ait elastik ivme spektrumu gösterilmiştir.

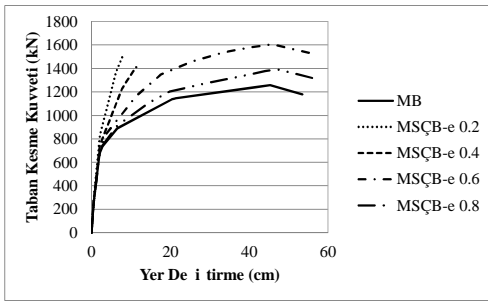
Bina sistemlerinin modellenmesi ve analizlerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanan SAP 2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır.



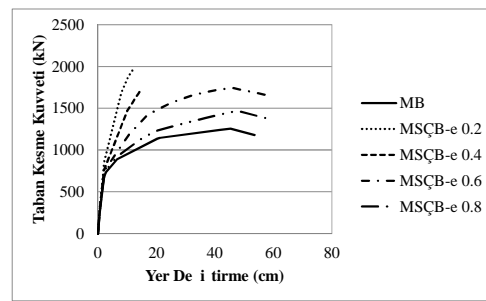
ekil 4. Kullanılan yer hareketi kaydına ait elastik ivme spektrumu

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

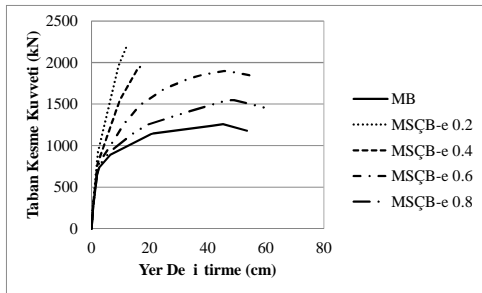
Mevcut bina (MB) ve farklı dairesel merkezliklere sahip merkezden sapan çaprazlı binaların (MSÇB-e 0.2, MSÇB-e 0.4, MSÇB-e 0.6 ve MSÇB-e 0.8) rijitlik ve dayanım özelliklerini belirlemek için öncelikle dairesel olmayan statik analizler gerçekleştirilmiştir. Dairesel olmayan statik analiz sonucu elde edilen mevcut ve çaprazlı sistemlere ait yapının kısa yönüne ait (x yönü) kapasite değerleri sırasıyla ekil 5'te verilmiştir. Ekilden de görüldüğü üzere, çelik çapraz ilavesi ile yapının rijitlik değeri ve yanal yük taşıma kapasitesinde kullanılan çelik çaprazın boyutuna ve çapraz sistemin dairesel merkezliliğine bağlı olarak önemli artışlar olmuştur. Örneğin, x yönünde yapı taban kesme kuvveti mevcut bina için maksimum 1256 kN iken, dairesel çaprı 140 mm olan boşluklu dairesel kesitli (BDK-140) çapraz elemanlı merkezden sapan çelik çapraz sistemlerle güçlendirilmiş binada dairesel merkezlilik oranı 0.8'den 0.2'ye azaldıkça taban kesme kuvveti sırasıyla 1640 kN, 2052 kN, 2163 kN ve 2506 kN'a kadar artmıştır ( ekil 5d).



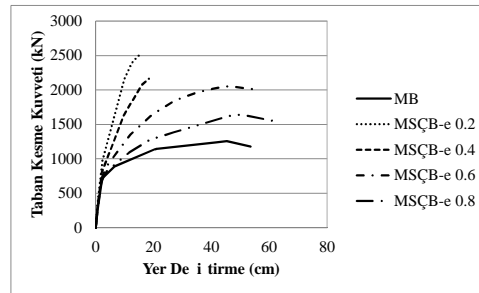
a)



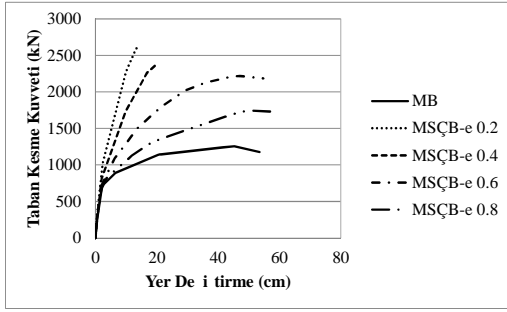
b)



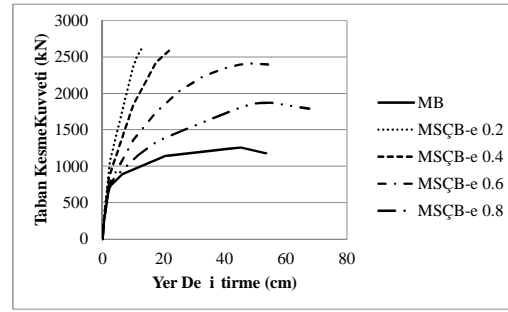
c)



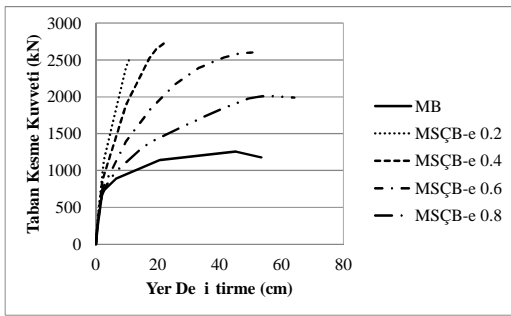
d)



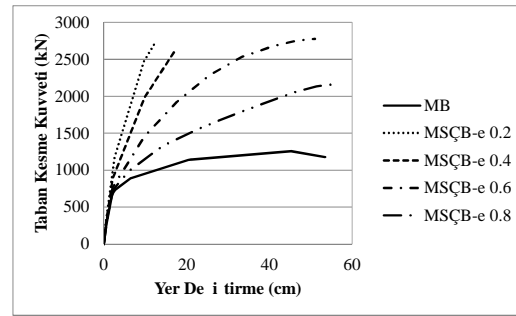
e)



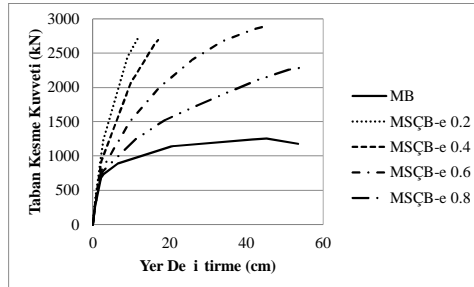
f)



g)



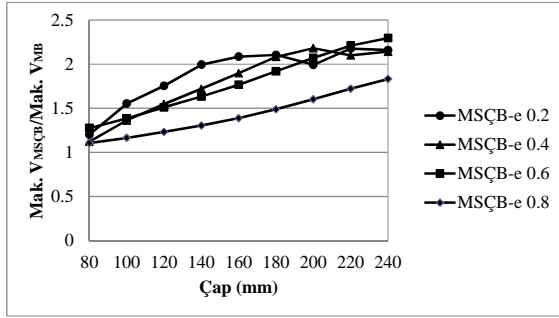
h)



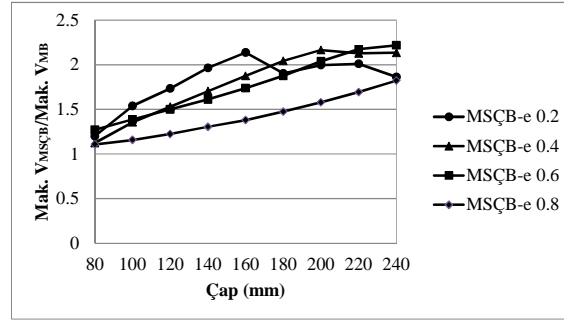
ı)

ekil 5. Mevcut ve çaprazlı binaların kapasite oranları (x yönü için): a) BDK-80, b) BDK-100, c) BDK-120, d) BDK-140, e) BDK-160, f) BDK-180, g) BDK-200, h) BDK-220 ve ı) BDK-240

ekil 6'da ise x ve y yönü için çelik çapraz sistemlerin farklı dönerlik oranları için merkezden sapan çaprazlı binanın maksimum taban kesme kuvveti ( $Mak. V_{MSÇB}$ ) ile mevcut binanın maksimum taban kesme kuvveti ( $Mak. V_{MB}$ ) oranlarının çapraz sistemlerde kullanılan çapraz elemanın dönerlik oranına göre değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi, dönerlik oranı 0.6 ve 0.8 olan merkezden sapan çaprazlı binalarda kullanılan boşluklu dairesel kesitli dönerlik oranı arttıkça elde edilen oran artmaktadır. Ancak, dönerlik oranı 0.2 ve 0.4 olan MSÇB'larda ise binaların rijitliği çok fazla arttığından binaların elastik ötesi davranışları sınırlanmakta ve bu oran özellikle yüksek çap derejelerine sahip MSÇB'larda azalma eğilimi göstermektedir.



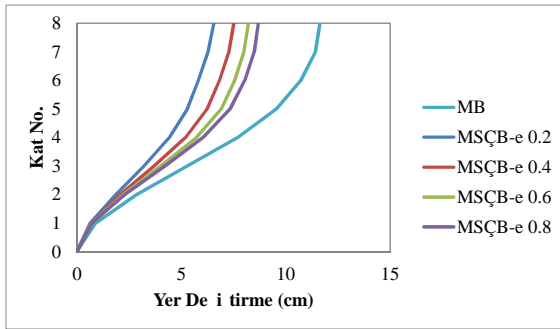
a)



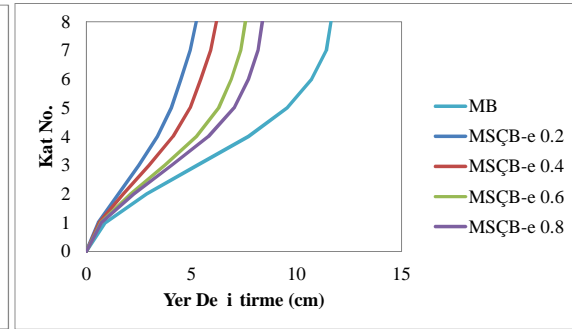
b)

ekil 6. MSÇB'nın maksimum taban kesme kuvvetinin MB'nın maksimum taban kesme kuvvetine oranının çapraz sistemlerde kullanılan çelik elemanın dış çapına göre değişimi: a) x yönü ve b) y yönü

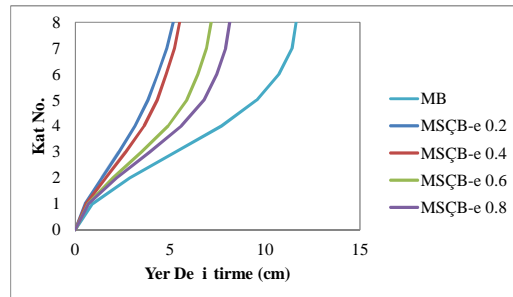
Mevcut ve merkezden sapan çaprazlı binalar için yukarıda bahsedilen spektrum uyumlu deprem yer kaydı etkisi getirilerek doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır. Mevcut ve çelik çaprazlı binalar için bu deprem altında elde edilen katlara göre en büyük yer deşirmesi grafikleri ekil 7'de sunulmaktadır. Grafiklerden de görüldüğü üzere, merkezden sapan çaprazların uygulanması, mevcut bina sistemi için elde edilen en büyük kat yer deşirmesi değerini önemli oranda azaltmıştır. Yine dış merkezlilik oranının azalmasıyla, binanın en büyük kat yer deşirmesi değeri de azalmıştır görülmektedir. Örnek olarak, 240x400 boyluklu dairesel kesit kullanılan merkezden sapan yapılarda dış merkezlilik oranı 0.8'den 0.2'ye azaldıkça, mevcut yapının 11.64 cm olan en büyük kat yer deşirmesi değeri, sırasıyla 8.13, 7.16, 5.5 ve 5.16 cm'ye kadar düşmüştür. Mevcut binanın en büyük kat yer deşirmelerinde 1.77 ila 2.26 kat arasında deşirmenin azalma görülmüştür.



a)



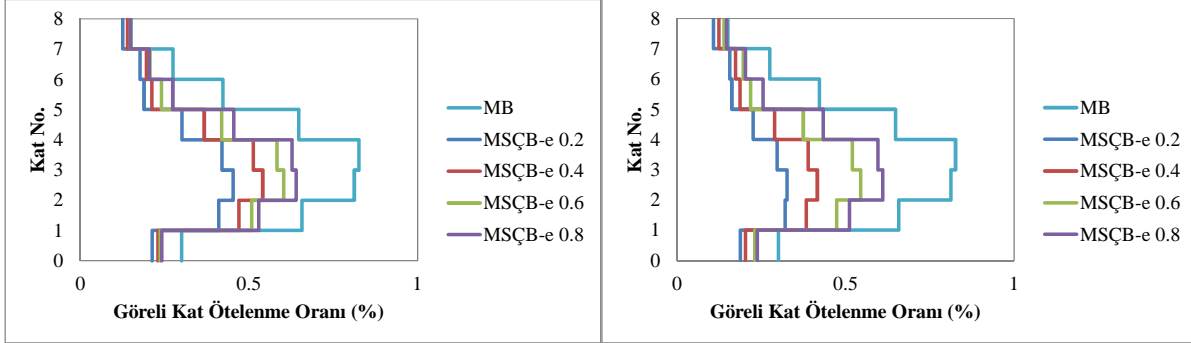
b)



c)

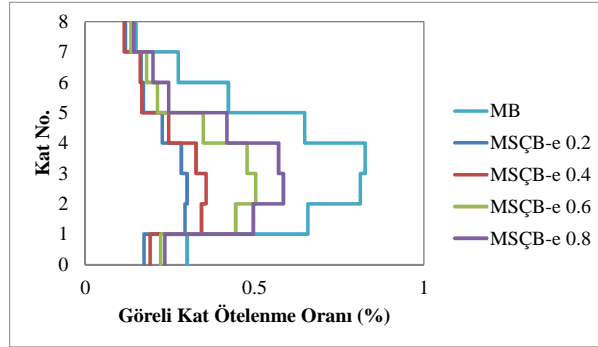
ekil 7. Mevcut ve merkezden sapan çaprazlı binaların katlara göre en büyük yer deşirmesi: a) BDK-80, b) BDK-180 ve c) BDK-240

Mevcut ve merkezden sapan çaprazlı binalar için elde edilen görel kat ötelenmesi oranlarının deprem zarfları ekil 8’de verilmektedir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre, Kocaeli depremi altında merkezden sapan çapraz sistemi mevcut çerçeve sisteminin görel kat ötelenmesi oranlarını önemli derecede azaltmıştır. Örneğin, mevcut bina için maksimum görel kat ötelenmesi oranı %0.83 elde edilirken, 180x4 boyluklu dairesel kesitin kullanıldığı merkezden sapan çaprazlı binalarda da merkezlilik oranı arttıkça sırasıyla %0.33, %0.42, %0.55 ve %0.61 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, da merkezlilik oranı azaldıkça, binada daha uniform görel kat ötelenmesi dağılımı elde edilmiştir.



a)

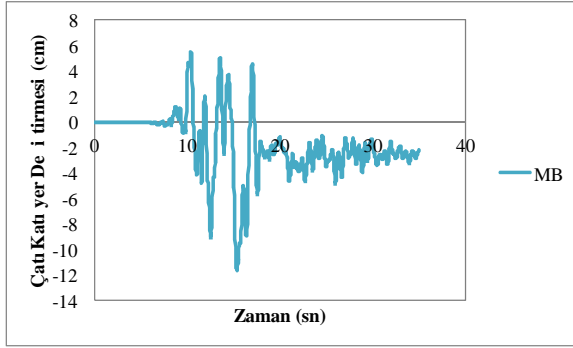
b)



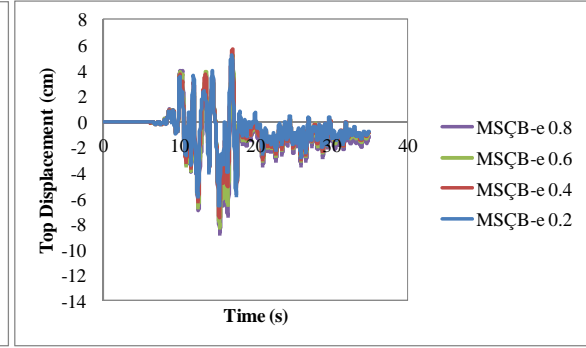
c)

ekil 8. Mevcut ve merkezden sapan çaprazlı binaların görel kat ötelenmesi oranı deprem zarfları: a) BDK-80, b) BDK-180 ve c) BDK-240

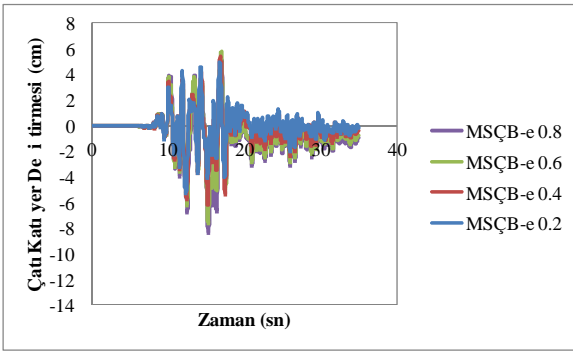
ekil 9’da uygulanan deprem kaydı altında mevcut bina ve 80, 180 ve 240 mm çaplı boyluklu dairesel kesitlerin kullanıldığı merkezden sapan çaprazlı binalar için çatı katı yer deprem tirmesinin zamana bağlı deprem grafikleri örnek olarak verilmektedir. Bu grafikten de merkezden sapan çelik çaprazlı sistemlerin mevcut binadaki elastik ve elastik ötesi yer deprem tirme talebini önemli oranda azalttığı görülmektedir. Merkezden sapan çelik çapraz sistemlerine sahip yapılar birbirleriyle karşılaştırıldığında, da merkezlilik oranının azaltılmasının, yer deprem tirme talebini azaltmadaki etkinliği açıkça görülmektedir.



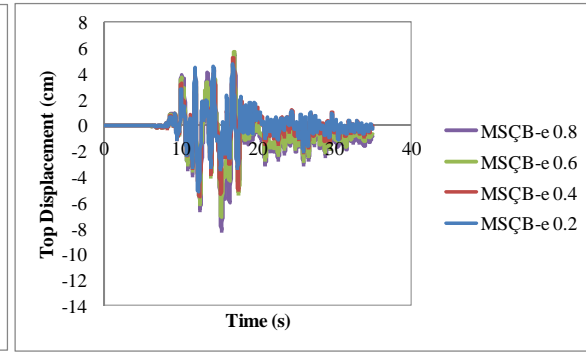
a)



b)



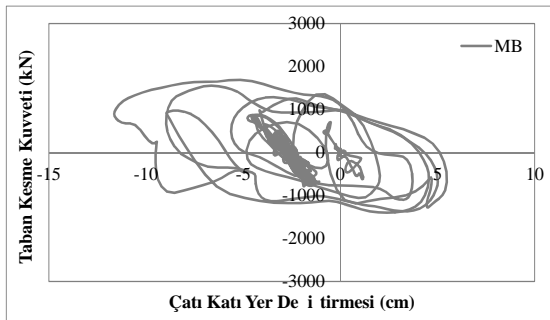
c)



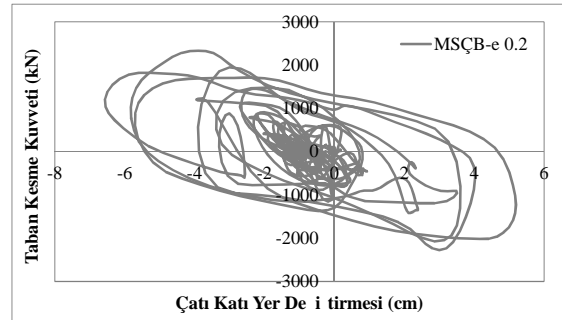
d)

ekil 9. Binaların Kocaeli depremi etkisinde zamana ba lı çatı katı yer de i tirmeleri: a) mevcut bina; merkezden sapan çaprazlı binalar: b) BDK-80, c) BDK-180 ve d) BDK-240

ekil 10'da uygulanan deprem kaydı altında mevcut bina ve merkezden sapan çelik çaprazlı binalar (BDK-240) için yapının en üst kat yer de i tirmesi ile taban kesme kuvveti ili kisi örnek olarak verilmekte olup, çaprazların eklenmesiyle do rusal olmayan yer de i tirmenin belirgin düzeyde azaldı ı gözlenmi tir.

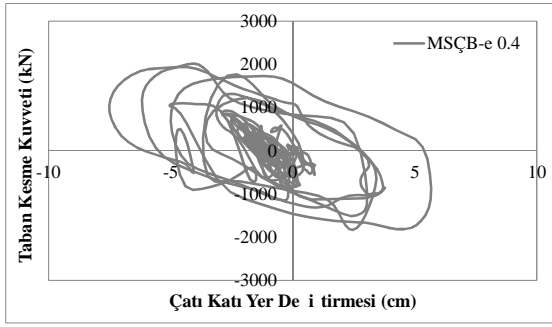


a)

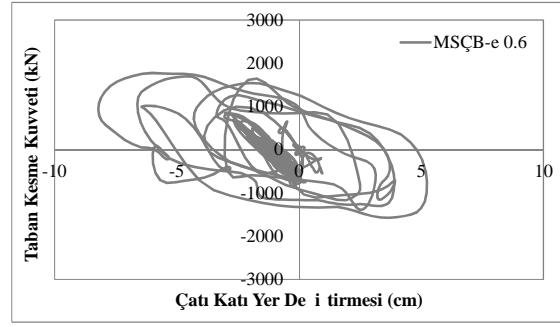


b)

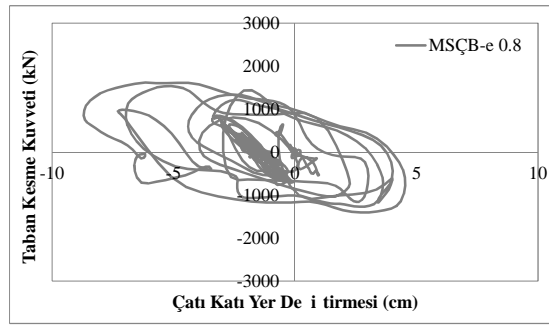




c)



d)



e)

ekil 10. Mevcut ve merkezden sapan çaprazlı binaların Kocaeli depremi etkisinde histeretik e rileri

#### 4. SONUÇ

Çalı mada, farklı dı merkezlilik oranlarına sahip merkezden sapan çaprazların kullanımının mevcut betonarme bir binanın sismik davranı na etkisi incelenmi tir. Do rusal olmayan statik analiz sonucunda mevcut ve çelik çaprazlı yapılar için kapasite e rileri elde edilmi , çelik çapraz sistemiyle mevcut yapının yanal yük ta ima kapasitesinde önemli oranda artı elde edilmi tir. Ayrıca, spektrum uyumlu deprem ivmesi etkisinde mevcut ve merkezden sapan çelik çaprazlı yapılar do rusal olmayan zaman tanım alanında analiz yapılarak incelenmi tir. Analiz sonucunda, çelik çaprazlı sistemlerin mevcut yapıya ilavesi ile mevcut yapının yer de i tirme taleplerindeki azalma, maksimum çatı katı yer de i tirmesi, maksimum görelî kat ötelenmesi oranları hesaplanarak de erlendirilmi tir. Özellikle, merkezden sapan çelik çaprazlar için kullanılan bo luklu dairesel kesitlerin çapı arttıkça ve dı merkezlilik oranı azaldıkça, yapının yer de i tirme talebinin önemli oranda azaldı ı, yapı boyunca görelî kat ötelenmesi oranlarının daha uniform olarak da ıldı ı görülmü tür. Yapıların çevrim e rileri incelendi inde ise, deprem kaydı altında merkezden sapan çaprazlı yapıların maruz kaldı ı taban kesme kuvvetinde artı , yer de i tirme talebinde azalma görülmü tür.

#### KAYNAKLAR

Bazzaz, M., Kheyroddin, A., Kafi, M.A. ve Andalib, Z. (2012). Evaluation of the seismic performance of off-centre bracing system with ductile element in steel frames. *Steel and Composite Structures* **12:5**, 445-464.

D'Aniello, M., Güneyisi, E.M., Landolfo, R., ve Güneyisi, E. (2014). Seismic response of steel frames with knee braces. 7th European Conference on Steel and Composite Structures, Topic 9: Seismic Resistant Structures (Special Session TC13), Napoli, Italy.

- Estekanchi, H., Soltani, A. ve Vafai, A. (2004). Seismic behavior of steel frames with off center bracing system. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada.
- FEMA-356 (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Report No. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.
- Güneyisi, E.M. ve Ameen, N. (2014). Structural behavior of conventional and buckling restrained braced frames subjected to near-field ground motions. *Earthquakes and Structures* **7**, 553-570.
- Güneyisi, E.M. ve Gültekin, A. (2012). Behaviour of RC framed building with different types of knee brace systems. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Ankara, Turkey.
- Güneyisi, E.M. ve Muhyaddin, G.F. (2014). Comparative response assessment of different frames with diagonal bracings under lateral loading. *Arabian Journal for Science and Engineering* **39**, 3545–3558.
- Kalkan, O., Güneyisi, E.M. ve Gültekin, A. (2013). Y-tipi çelik çaprazlarla güçlendirilmiş betonarme yapının davranışının incelenmesi. 6. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi, Ankara.
- Kim, J. ve Choi, H. (2005). Response modification factors of chevron-braced frames. *Engineering Structures* **27:2**, 285-300.
- Longo, A., Montuori, R. ve Piluso, V. (2008). Plastic design of seismic resistant V-braced frames. *Journal of Earthquake Engineering* **12:8**, 1246–1266.
- Marino, E.M., Nakashima, M. (2006). Seismic performance and new design procedure for chevron-braced frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* **35:4**, 433–452.
- Moghaddam, H.A. ve Estekanchi, H.E. (1999). Seismic behaviour of off centre bracing systems. *Journal of Constructional Steel Research* **51**, 177–196.
- Mosalman, H. ve Sulong, N.R. (2010). Parametric investigation on an off-centre braced frame system's stiffness. *International Journal of the Physical Sciences* **5:17**, 2642-2651.
- PEER (2011). The Pacific Earthquake Engineering Research Center. User's Manual for the PEER Ground Motion Database Application, University of California, Berkeley.
- Rasekh, A., Mofid, M. ve Khezzadeh, H. (2008). On the effect of large deflection on nonlinear behavior of an eccentric bracing system. *The Structural Design of Tall and Special Buildings* **17**, 795–808.
- Yazdi, H.A.M. ve Sulong, N.H.R. (2011). Optimization of off-Centre bracing system using genetic algorithm. *Journal of Constructional Steel Research* **67**, 1435–1441.
- Yazdi, H.A.M. ve Sulong, N.H.R. (2013). Genetic algorithm in locating the optimum mid-connection of off-centre braced system. *Structure and Infrastructure Engineering* **9:10**, 1040–1049.