BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLARIN BETONARME ÇERÇEVELİ YAPININ DEPREM PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ

O. Tunca[1] ve E.M. Güneyisi[2]

[1] *Yüksek Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep*
[2] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep*
Email: eguneyisi@gantep.edu.tr

ÖZET:

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar gerek yeni, gerekse güçlendirme ihtiyacı olan yapılarda kullanılan bir yapı sistemidir. Geleneksel çelik çaprazlara kıyasla, burkulması önlenmiş çelik çaprazlar deprem etkisi altında çekme ve basınçta benzer yük taşıma kapasitesine sahip olup, dengeli bir histeretik davranış sergilemektedirler. Bu çalışmada, deprem etkisindeki betonarme çerçeve taşıyıcı sistem davranışına burkulması önlenmiş çaprazların etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, her iki doğrultuda simetrik, 4 açıklıklı ve 3 katlı betonarme bir bina örnek olarak seçilmiştir. Çaprazlar mevcut yapının dış aksına yerleştirilmiştir. Yapının burkulması önlenmiş çaprazlı ve çaprazsız durumları doğrusal olmayan dinamik analizler yapılarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Dinamik analizler de 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremi esas alan tasarım ivme spektrumlarıyla uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen iki grup deprem ivmesi kaydı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre burkulması önlenmiş çaprazlar eklenerek güçlendirilen mevcut betonarme çerçeveli yapının yerdeğiştirme taleplerinde görülen azalma suretiyle sismik performansında önemli iyileşme gözlenmiştir.

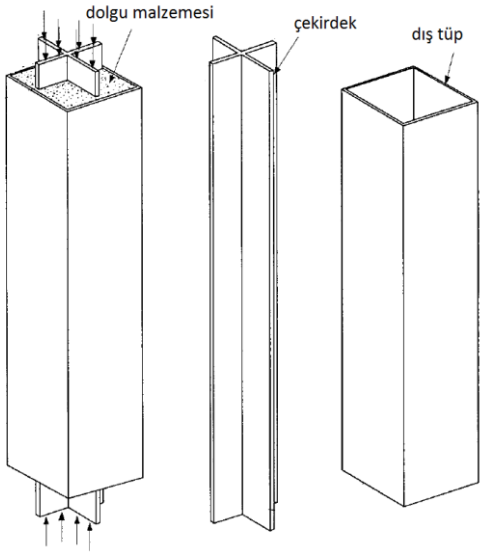
ANAHTAR KELİMELER: Burkulması önlenmiş çapraz, betonarme yapı, deprem, doğrusal olmayan dinamik analiz, yapısal performans.

1. GİRİŞ

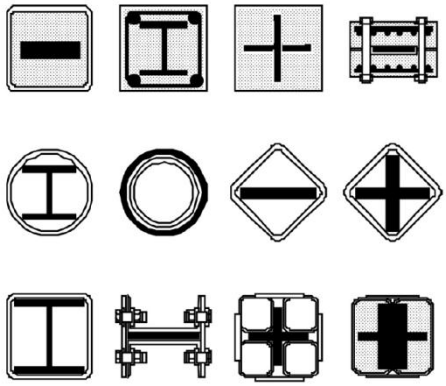
Deprem gibi kuvvetli yanal dinamik kuvvetler altındaki yapılar büyük miktarlarda titreşim enerjisine maruz kalmakta, bu enerji yapılarda iç sürtünme ve yapısal elemanlardaki plastik deformasyonlar ile giderilmektedir. Son yıllarda özellikle Japonya ve ABD'de uygulamaları görülen burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ), yüksek enerji sönümleme kapasiteleri ve dengeli histeretik davranışları ile deprem kuvvetleri gibi kuvvetli yanal dinamik yükleri karşılamak için, ve ayrıca yapılarda deprem durumunda oluşan plastik deformasyonların azaltılması için etkili yapısal sistem elemanlarını oluşturmaktadır (Watanabe vd., 1988; Brown vd., 2001; Black vd., 2002; Wada ve Nakashima, 2004; Xie, 2005). Burkulması önlenmiş çaprazların özellikle tercih edilmeleri diğer sönümleyicili sistemlere kıyasla daha ucuz ve daha kolay inşaa edilebilmesinden gelmektedir (Kanaji vd., 2003; Farhat vd., 2009). Ayrıca, BÖÇ'ların yapımı için gerekli yapım teknolojisi ve malzemeleri yapıların performansların artırılmasına yönelik kullanılan diğer pasif enerji sönümleme sistemleri için gerekli olanlara göre oldukça basittir. BÖÇ'ların bir başka avantajı da, klasik çapraz elemanlar gibi yapının yanal rijitliğini artırmakta ancak geleneksel çapraz elemanlar gibi basınç altında burkulmamakta, çekme ve basınç altında benzer davranış göstererek büyük boyuna şekil değiştirmeler yapabilmektedir (Farhat vd., 2009).

Burkulması önlenmiş çaprazlar, Şekil 1'den de görüldüğü üzere genel olarak çekirdek eleman, çekirdek elemanı çevreleyen çelik tüp ve dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Eksenel kuvveti çekirdek eleman taşımakta, dış çelik tüp ve dolgu malzemesi ise çekirdek elemana yanal destek oluşturmakta ve çekirdek elemanın burkulmasını engellemektedir. Ayrıca, çekirdek elemanı ile dolgu malzemesi arasında, çekirdek elemanının

uzaması ve kısalması sırasında kesme kuvveti aktarımını önleyecek ve basınç altında yanal şekil değiştirmesine izin verecek ince tabaka halinde malzeme kullanılmaktadır. Böylece, çekirdek elemanı ile dolgu malzemesi arasında sürtünmesiz bir yüzey elde edilmektedir (Black vd., 2004). Dış tüp için genellikle daire veya kare tüp kesitler tercih edilmekle birlikte, çekirdek elemanla dış tüp arasında yük aktarımını engelleyecek şekilde tasarlanan değişik tipte çelik profiller hem çekirdek hem de dış tüp için kullanılabilmektedir. Değişik profiller kullanılarak üretilmiş burkulması önlenmiş çaprazlara örnekler Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Burkulması önlenmiş çapraz ve birleşenleri (Black vd., 2004)



Şekil 2. Burkulması önlenmiş çaprazlarda örnek enkesit şekilleri (Xie, 2005)

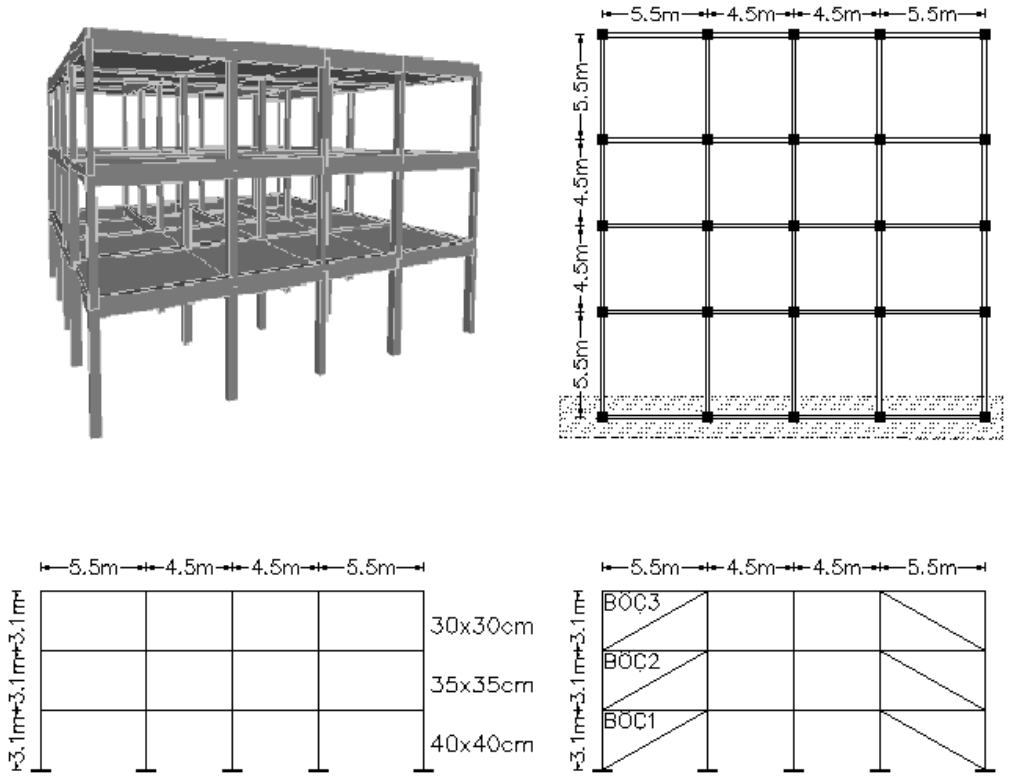
Son yıllarda, hem yeni hem de güçlendirme ihtiyacı olan yapıların sismik kapasitesini artırmak için, BÖÇ kullanımının geleneksel çaprazlardan daha etkili olduğunu ve birçok pasif enerji sönümleme sisteminden daha avantajlı olduğunu ortaya koyan çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Asgarian ve Amirhesari (2008) 4 ve 12 katlı burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve yapıların doğrusal olmayan dinamik davranışlarını araştırmış; Güneyisi (2012) geleneksel çaprazlarla ve burkulması önlenmiş çaprazlarla güçlendirilmiş çelik yapıların deprem güvenirliliğini karşılaştırmalı olarak incelemiş; Lin vd. (2010) burkulması önlenmiş çaprazlı, dışmerkez çelik çaprazlı ve moment dayanımlı çelik çerçeve taşıyıcı sistemli olarak tasarlanan yapıların deprem

güvenirliliğini ortaya koymuş; Choi vd. (2008) ise moment dayanımlı çerçeveli, burkulması önlenmiş çaprazlı ve enerji sönümleyen kendinden ortalanır çaprazlı yapısal sistemlerin sismik davranışını incelemiştir.

Bu çalışmada ise, burkulması önlenmiş çaprazların betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme eklenmesi durumunda yapının sismik davranışına etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, her iki doğrultuda simetrik, 4 açıklıklı ve 3 katlı betonarme bir bina örnek olarak seçilmiş ve BÖÇ'lar mevcut yapının dış aksına yerleştirilmiştir. Yapının burkulması önlenmiş çaprazlı ve çaprazsız durumlarının deprem yüklemesi altındaki davranışı doğrusal olmayan dinamik analizler yapılarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÇERÇEVE SİSTEMLERİ

Yüklerin tamamının betonarme çerçeveler ile taşındığı binalar, Türkiye'deki yapı stoğunun büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada da iki doğrultuda simetrik, 4 açıklıklı ve 3 katlı betonarme bir bina örnek olarak seçilmiştir. Kolon boyutları Şekil 3'de de görüldüğü üzere katlara göre değişiklik göstermekte, kiriş boyutları ise binanın bütün katlarında 30x50 cm'dir. Kat yükseklikleri 3.1 m olmak üzere, bina toplam yüksekliği 9.3 m'dir. Yapıda kullanılan beton sınıfı C16, çelik sınıfı ise S220'dir. Yapının yerel zemin sınıfı Z2, deprem bölgesi ise 1. derecedir. Yapı her iki doğrultuda simetrik olduğu için araştırmada yapının dış aksındaki çerçevesi incelenmiştir. Çerçeve sistemlerin modellenmesi ve analizlerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanan SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan mevcut ve burkulması önlenmiş çapraz ilaveli yapılara ait görünüş

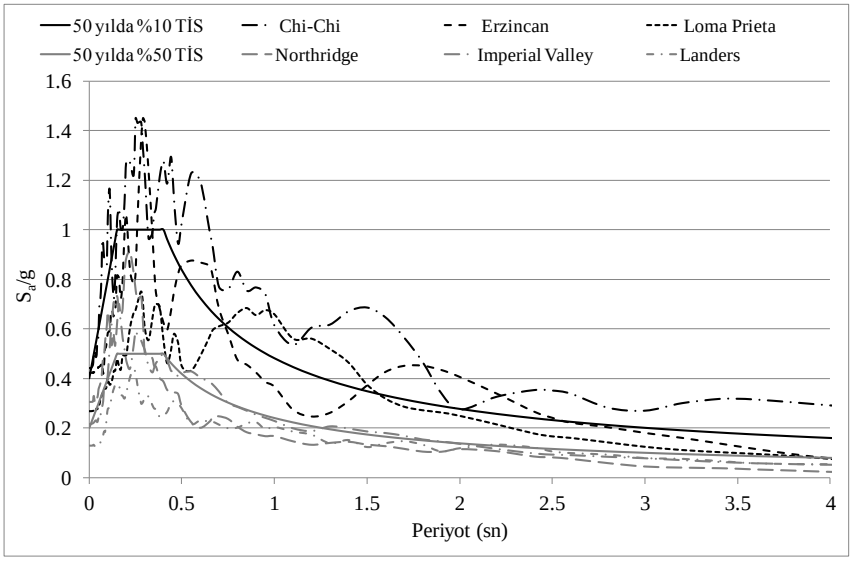
Burkulması önlenmiş çapraz elemanların mevcut çerçeve sisteminin dayanımındaki etkisinin incelenmesi amacıyla, burkulması önlenmiş çelik çaprazlar mevcut çerçevenin iki dış açıklığına Şekil 3'de gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir. Burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanların, SAP2000 programında modellenmesinde doğrusal olmayan bağlantı elemanları kullanılmıştır.

3. KULLANILAN YER HAREKETİ KAYITLARI

Bu çalışmada, doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılmak üzere 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremi esas alan tasarım ivme spektrumları (TİS) ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen üçer deprem ivmesi kaydı (PEER, 2011) kullanılmıştır. 50 yılda %10 ve %50 aşılma olasılığı için elde edilen tasarım ivme spektrumları ve bu spektrumlarla uyumlu olacak şekilde ölçeklendiren deprem ivme kayıtlarına ait elastik ivme spektrum eğrileri Şekil 4'de verilmektedir. Kullanılan yer hareketi kayıtlarına ait aletsel büyüklük (M_w), maksimum yer ivmesi (MYİ), maksimum yer hızı (MYH) ve maksimum yer yerdeğiştirmesi (MYY) değerleri ve depremin kaydedildiği zemin koşullarıyla ilgili bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Dinamik analizlerde kullanılan yer hareketi kayıtları

Deprem Düzeyi	Yer Hareketi Kaydı	Tarih	M_w	V_{s30} (m/sn)	MYİ (g)	MYH (cm/sn)	MYY (cm)	Ölçek
50 yılda %10 aşılma olasılığı	Chi Chi	1999	7.62	504.4	0.443	139.20	146.42	2.0
	Erzincan	1992	6.69	274.5	0.420	45.29	16.52	1.0
	Loma Prieta	1989	6.93	594.5	0.267	52.96	13.95	2.1
50 yılda %50 aşılma olasılığı	Northridge	1994	6.69	336.2	0.600	31.07	10.46	0.5
	Imperial Valley	1905	6.53	202.3	0.430	55.33	32.82	0.5
	Landers	1992	7.28	271.4	0.128	19.00	9.25	1.0

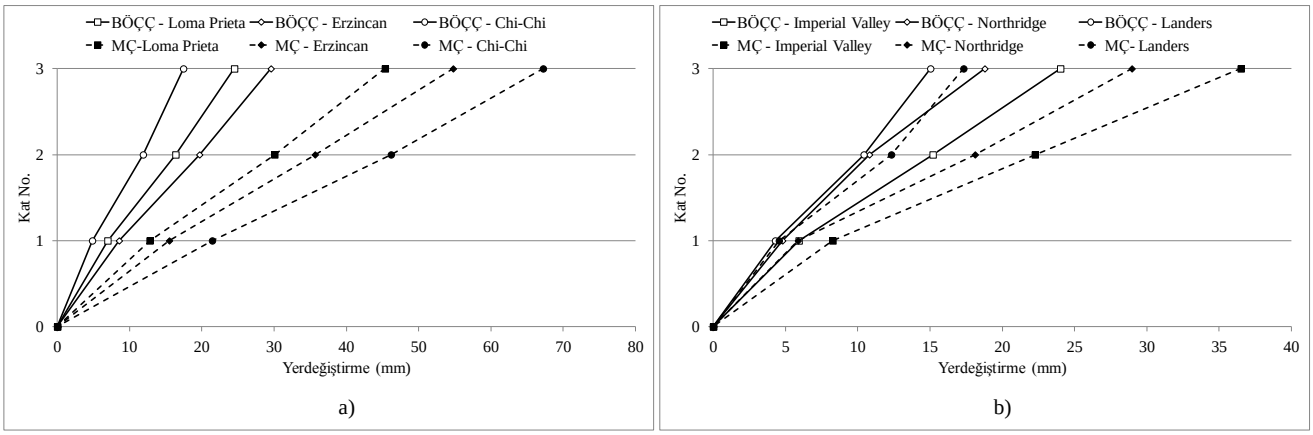


Şekil 4. Kullanılan yer hareketi kayıtlarına ait elastik ivme spektrumları

4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut çerçeve (MÇ) ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve (BÖÇÇ) için öncelikle özdeğer analizi ile serbest titreşim periyotları belirlenmiştir. Mevcut çerçevenin serbest titreşim periyotları, T_1=0.36, T_2=0.14 ve T_3=0.08 sn olarak, burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevenin periyotları ise T_1=0.30, T_2=0.12 ve T_3=0.07 sn olarak hesaplanmıştır.

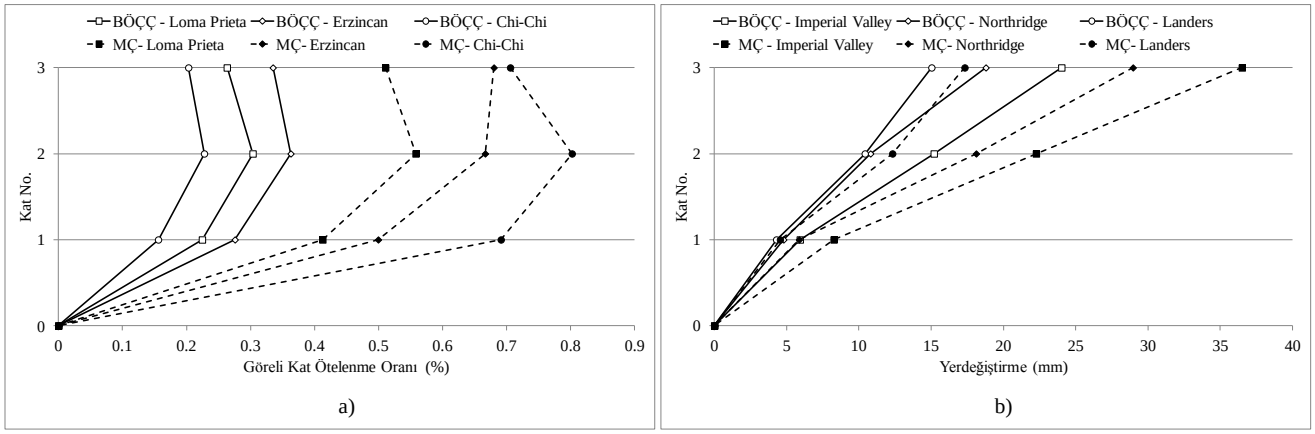
Mevcut çerçeve sistemi ve burkulması önlemiş çaprazlı çerçeve sisteminin yukarıda bahsedilen altı farklı spektrum uyumlu deprem yer kaydı etki ettirilerek zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır. Şekil 5'de mevcut çerçeve ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve sistemi için elde edilen en büyük kat yerdeğiştirme grafikleri sunulmaktadır. Grafikler incelendiğinde, aşılma olasılığı 50 yıl içinde %10 olan depremler altında, burkulması önlemiş çaprazlı çerçevelerin en büyük yerdeğiştirmelerinin 4.4 kata kadar azaldığı görülmüştür. 50 yıl içinde %50 olan depremler altında ise bu azalmanın 1.6 kat kadar olduğu belirlenmiştir.



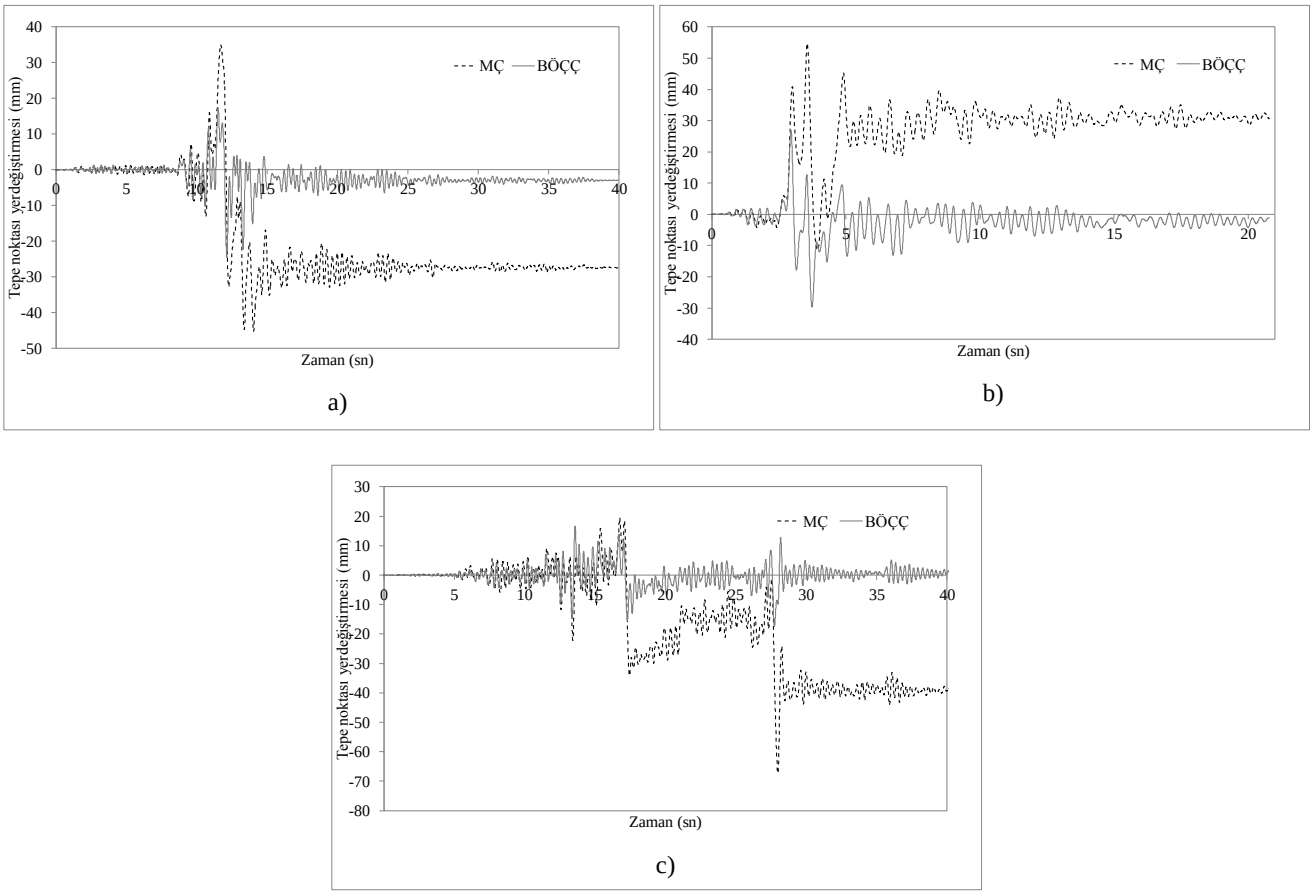
Şekil 5. a) 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve b) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremler altında mevcut ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin katlara göre en büyük yerdeğiştirme talebi

Mevcut ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçeveler için elde edilen göreli kat ötelenmesi oranlarının değişim zarfları Şekil 6'da verilmektedir. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve yapılarda etki ettirilen deprem kayıtları altında mevcut çerçeveye kıyasla daha düşük kat ötelenmesi oranları görülmüştür. 50 yılda %50 aşılma olasılığı olan depremler uygulandığında elde edilen bulgulara göre, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin maksimum göreli kat ötelenmesi değerinin mevcut çerçevenin maksimum göreli kat ötelemesi değerine oranı 1.8 ile 4.4 arasında değiştiği görülmüştür. Aşılma olasılığı %10 olan depremler için ise bu oran 1.1 ile 2.0 arasında elde edilmiştir. Ayrıca, özellikle aşılma olasılığı %10 olan depremler altında burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerde katlararasında daha uniform bir göreli kat ötelenme oranı dağılımı görülmüştür. Sonuçlardan da anlaşıldığı üzere burkulması önlenmiş çaprazlar daha şiddetli deprem grubunda daha etkili olarak çalışmıştır.

Aşılma olasılığı %10 olan depremler için maksimum tepe yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi Şekil 7'de verilmektedir. Buradan da görüldüğü üzere, burkulması önlenmiş çaprazlar mevcut çerçevenin yanal ötelenme talebini oldukça azaltmıştır. Ayrıca, mevcut çerçeve sisteminde söz konusu depremler altında elastik ötesi yerdeğiştirme oluştuğu da gözlenmiştir.



Şekil 6. a) 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve b) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremler altında mevcut ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin göreli kat ötelenmesi değişim zarfları



Şekil 7. Mevcut ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler için a) Loma Prieta, b) Erzincan ve c) Chi-Chi depremleri altında tepe noktası yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi

5. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada burkulması önlenmiş çelik çaprazların, mevcut betonarme bir yapının sismik performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, mevcut çerçeve sisteminin ve burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve sisteminin, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 ve %50 olan iki farklı sismik tehlike seviyesi ile uyumlu deprem ivmesi kayıtları kullanılarak, doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda elde edilen çerçeve sistemlerinin katlara göre en büyük yerdeğiştirme talepleri, göreli kat ötelenme oranı zarfları ve çatı katının zamana bağlı yerdeğiştirmesi dikkate alınarak, mevcut yapının burkulması önlemiş çaprazlı ve çaprazsız durumları için yapısal performansı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, burkulması önlenmiş çaprazların mevcut betonarme çerçeve sistemine eklenmesiyle, çerçeve sitemi daha rijitleşmiş, serbest titreşim periyotları azalmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin maksimum kat yerdeğiştirmesinin, mevcut çerçevenin yerdeğiştirmesinden yaklaşık 4.4 kat daha az olduğu, 50 yıl içinde %50 aşılma olasılığı olan deprem grubunda ise burkulması önlenmiş çaprazlarla sağlanan yapı deformasyon istemindeki bu azalmanın daha sınırlı olduğu belirlenmiştir. Benzer bulgular, göreli kat ötelenmesi zarf eğrilerinden de elde edilmiş, özellikle aşılma olasılığı %10 olan deprem grubu altında burkulması önlenmiş çaprazların daha etkili çalıştığı ve katlararasında daha uniform göreli kat ötelenmesi oranı dağılımı elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, burkulması önlenmiş çaprazların yapıda etkili çalışması ile, yapının elastik ötesi yerdeğiştirme talebini önemli derecede azalttığı, dolayısıyla yapısal elemanlarda oluşan plastikleşmeyi de azalttığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

Asgarian, B. ve Amirhesari, N. (2008). A comparison of dynamic nonlinear behavior of ordinary and buckling restrained braced frames subjected to strong ground motion. *The Structural Design of Tall and Special Buildings* **17**, 367–386 .

Black, C.J., Makris, N. ve Aiken, I.A. (2004). Component testing, seismic evaluation and characterization of buckling-restrained braces. *Journal of Structural Engineering ASCE* **130:6,**880–894.

Brown, A.P., Aiken, I.D. ve Jafarzadeh, F.J. (2001). Buckling restrained braces provide the key to the seismic retrofit of the Wallace F. Bennett Federal Building, *Modern Steel Construction*.

Choi, H., Erochko, C., Christopoulos, J. ve Tremblay, R. (2008). Comparison of the seismic response of steel buildings incorporating self-centering energy dissipative braces, buckling restrained braced and moment resisting frames *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, Beijing, China.

Farhat, F., Nakamura, S. ve Takahashi, K. (2009). Application of genetic algorithm to optimization of buckling restrained braces for seismic upgrading of existing structures. *Computers and Structures* **87:1–2**,110–119.

Güneyisi, E.M. (2012). Seismic reliability of steel moment resisting framed buildings retrofitted with buckling restrained braces. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **41:5**,853-874.

Kanaji, H., Takada, Y. ve Mino, T. (2003). Study on cost reduction of a long span truss bridge retrofitted with hysteretic dampers. *In: Proceedings of Japan road conference*.

Lin, K-C., Lin, C-C.J., Chen, J-Y. ve Chang, H-Y. (2010). Seismic reliability of steel framed buildings. *Structural Safety* **32:3,**174–182

Wada, A. ve Nakashima, M. (2004). From infancy to maturity of buckling restrained braces research, *The 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Canada.

Watanabe, A., Hitomi, Y., Saeki, E., Wada, A. ve Fujimoto, M. (1988). Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube. *The 9th World Conference on Earthquake Engineering*.

Xie, Q. (2005). State of the art of buckling-restrained braces in Asia. *Journal of Constructional Steel Research* **61:6**, 727–748.