GÜFBED/GUSTIJ (2013) 3 (2): 29-39
Research/Araştırma

Planda Düzensizlikleri Olan Çelik Yapıların Güçlendirilme Tiplerinin Değerlendirilmesi

K. Armağan KORKMAZ[1,*], Zeki AY[2], A. Işıl ÇARHOĞLU[2], Devran ÇELİK[2], Ayhan NUHOĞLU[3]

[1]*Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe, İzmir*
[2]*Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çünür, Isparta*
[3]*Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova, Izmir*

Geliş tarihi/*Received* 13.08.2012
Düzeltilerek geliş tarihi/*Received in revised form* 25.02.2013
Kabul tarihi/*Accepted* 05.03.2013

Özet

Çelik yapılar, Türkiye'de son yıllarda önem kazanmıştır. Yaşanan depremlerde meydana gelen hasar ve kayıplar bu noktada önemli rol oynamıştır. Bunun yanında çelik yapılarda mimari nedenlerden kaynaklanan planda düzensizlikler olması durumunda bu yapıların da deprem güvenliklerinin incelenmesini önemli bir hal almaktadır. Deprem güvenliklerinin arttırılması gereken durumlarda bu yapıların güçlendirilmesine yönelik pratik uygulamaların değerlendirilmesi ve uygun yöntemin belirlenmesi önemlidir. Betonarme yapıların olduğu kadar, çelik yapıların güçlendirilmesi de karmaşıktır. Bu çalışma kapsamında, planda düzensizliği bulunan çelik yapıların güçlendirilmesinin incelenmesi amaçlanmış ve bu amaçla üç farklı model yapı ele alınarak, perde ve çapraz elemanlarla güçlendirilmiştir. Ele alınan güçlendirme tipleri için doğrusal olmayan artımsal statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonuçlarına göre güçlendirme tipleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde perde elemanlar kullanılarak yapılan güçlendirme sonrasında elde edilen kapasite artışı çapraz elemanlar kullanılarak elde edilen kapasite artışına göre daha fazla olmuştur.

Anahtar kelimeler: *Planda Düzensizlik, Güçlendirme, Perde Elemanlar, Çelik Çapraz Elemanlar, Doğrusal Olmayan Artımsal Statik İtme Analizleri*

Evaluation of Strengthening of Steel Structures with Plan Irregularities

Abstract

Recently, steel structure construction becomes important, in Turkey. Heavy damages and loses in recent earthquakes have an important role in this manner. However, irregularities in plan due to architectural reasons could cause damage. Therefore earthquake resistance of the buildings with irregularities should be investigated. If strengthening is necessary for existing steel structures, practical applications are to be evaluated and it is necessary to determine the most suitable solution. Strengthening of steel structures is very complex as for reinforced concrete structures. In the present study, to investigate the earthquake resistance of irregular steel structures, three different models including irregularities in plan were investigated. Models were strengthened by

*K. Armağan KORKMAZ, armagankorkmaz@gmail.com, Tel: (232) 301 70 77/17077

using shear walls and steel bracings. Nonlinear pushover analyses were used for evaluation. A comparison was made according to the results of the analyses. As a result of the analyses, it is found that, capacity has been increased more with shear walls comparing to bracings.

Key words**:** *Irregularity in Plan View, Retrofit, Shear Walls, Bracings, Nonlinear Pushover Analyses.*

1.Giriş

Türkiye'de yaşanan depremler sonucu meydana gelen hasarlar, mevcut yapıların büyük bir kısmının deprem güvenliğinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Düzce, Marmara, Erzincan gibi büyük depremlerin sonucu büyük bir facia olarak tanımlanabilir. Bu facialarının tekrar yaşanmaması için büyük bir titizlikle belirlenmiş olan bir dizi önlemin yanında ihtiyaç duyulan yapı güçlendirme projelerinin de aynı özenle ve dikkatlice yapılması, bu tür projelere önem verilmesi gereklidir. Deprem yönetmeliğimiz (ABYYHY, 1997) yapı projelerinin düzenlenmesi ve mevcut yapıların güçlendirilmesi ile ilgili kısımlar günün koşul ve olanaklarına uygun olarak düzenlenmiştir. Yenilenen deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) yürürlüğe girmiştir. Yeni yönetmelikle birlikte, güçlendirme projelerine bir standart gelmiştir. Böylelikle güçlendirme tiplerinde belirli bir yaklaşımın sağlanması amaçlanmaktadır (DBYYHY, 2007; ABYBHY, 2007). Yaşanan depremlerde meydana gelen hasar ve kayıplar geldiğimiz bu noktada önemli bir rol oynamıştır. Yıllarla birlikte toplum deprem konusunda daha bilinçli hale gelmektedir. Çelik yapılar da günümüzde deprem dayanımı konusunda dikkatleri çekmektedir. Ancak, çelik yapılarda mimariden kaynaklanan planda düzensizlik olması durumunda, bu yapıların da deprem güvenliklerinin incelenmesi gerekli olmaktadır. Deprem güvenliklerinin arttırılması gereken durumlarda bu yapıların güçlendirilmesine yönelik olarak pratik uygulamaların değerlendirilmesi ve uygun yöntemin belirlenmesi önemlidir. Çelik yapıların güçlendirilmesinde günümüzde uygulanan iki temel yaklaşımdan söz etmek mümkündür. Bunlar, çelik çapraz elemanlarla ve betonarme perdelerle yapılan güçlendirmelerdir (Ghobarah,2001). Mevcut yapılarda güçlendirme çalışmaları yapıların deprem dayanımlarının arttırılması, yapıların mevcut performansının arttırılması amacına hizmet etmektedir.

Çelik yapıların güçlendirilmesi konusunda günümüzde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan biri Mahim tarafından gerçekleştirilmiştir (Mahim vd. 2002). Mahim, çalışmasında, 1989 Lomo Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Hyogo-ken Nanbu depremlerinde kaynaklı birleşimli moment dayanımlı çelik çerçeve yapılar için beklenmeyen hasarları değerlendirmek amacıyla önemli araştırmalar gerçekleştirmiştir (Mahim vd. 2002). Bir diğer önemli çalışma Moghaddam ve Hajirasouliha tarafından gerçekleştirilmiştir (Moghaddam ve Hajirasouliha, 2002). Bu çalışmada, çelik çerçevelerin sismik davranışlarını tahmin etmek için statik artımsal itme analizinin kullanılabilirliliği araştırılmıştır. Statik artımsal itme analizinin güvenilirliğini, çerçeve yapılar üzerinde doğrusal olmayan dinamik analiz yapılarak doğrulanmıştır (Moghaddam ve Hajirasouliha, 2002). Yang ise çalışmasında, yüksek sismik hareketlilik gösteren bölgelerde sıklıkla kullanılan çelik çerçevelerin düzensiz dağılan düşey yükleme koşulları altında çapraz elamanlarında oluşacak burkulmaya bağlı sistem davranışının yeterli olmadığı belirtilmiştir (Yang vd. 2007). Chao ve Goel, çalışmalarında, son zamanlarda geliştirilen enerjiye dayalı olarak gerçekleştirdikleri çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır (Chao ve Goel, 2006). Bu önemli çalışmaların yanında çeşitli uygulamalar ve mühendislik yaklaşımları da ülkemizde başarıyla gerçekleştirilmektedir.

Çalışma kapsamında planda düzensizliği bulunan mevcut çelik yapıların deprem davranışlarının incelenmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda hazırlanan modellerin betonarme perde ve çelik çapraz elemanlarla güçlendirmesi yapılarak doğrusal olmayan deprem

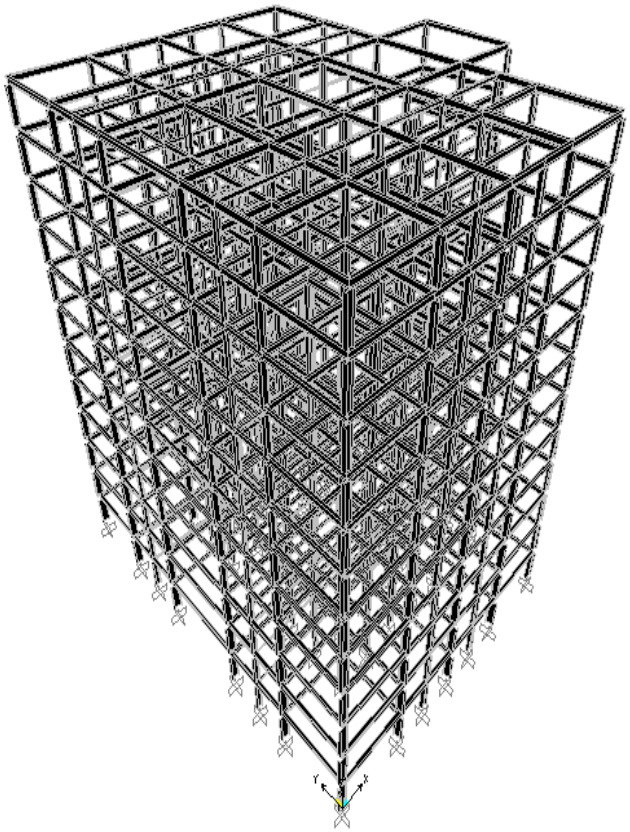
davranışlarının incelenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla burulma düzensizliği, döşeme düzensizliği ve hem döşeme hem burulma düzensizliği içeren üç farklı model ele alınmış, bu modeller perde ve çelik çapraz elemanlarla iki farklı şekilde güçlendirilmiştir. Çok katlı yapılar için statik analiz yöntemlerinin uygulanabilirliği ve sınırları tartışmalı olsa da en çok kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında doğrusal olmayan artımsal statik itme analizleri kullanılarak X ve Y yönü için elde edilen kapasite eğrileri, yer değiştirme ve göreli yer değiştirme grafikleri kullanılarak güçlendirme tipleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada doğrusal olmayan analizler SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Wilson ve Habibullah, 1998).

2. Güçlendirme İçin Yapı Modellemesi Ve Doğrusal Olmayan Analiz

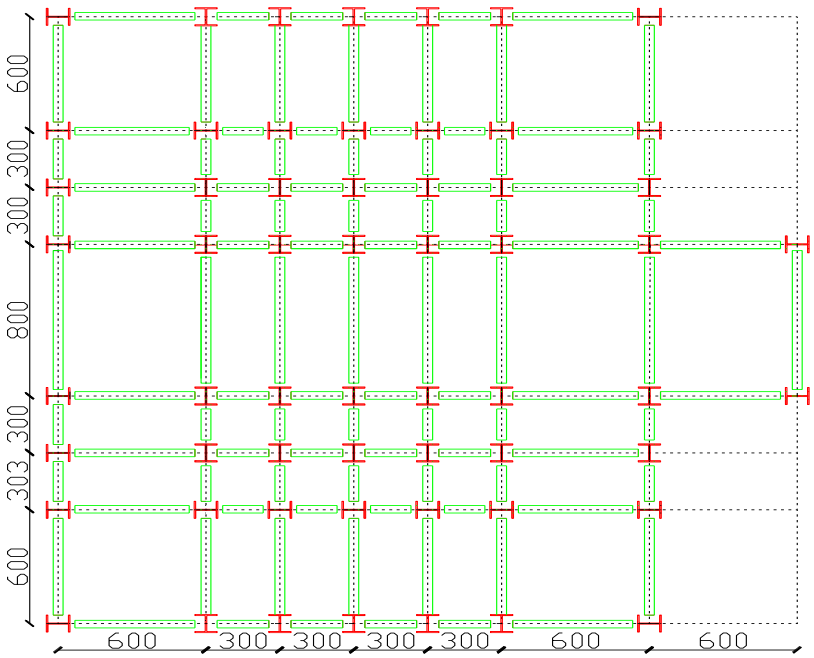
Çalışmanın amacı doğrultusunda kat yüksekliği 3 m olan 12 katlı 3 farklı çelik yapı modelleri üzerinde çalışılmıştır. Çalışmaya esas alınan modeller, öncelikle eşdeğer statik deprem yükü yöntemi kullanılarak, birinci deprem bölgesi, Z4 yerel zemin sınıfı için doğrusal elastik analizleri yapılarak yapı elemanları boyutlandırılmıştır. Daha sonra, tüm modeller üzerinde, elastik ötesi davranışlarının incelenmesi amacı ile doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, her bir model için, taban kesme kuvveti (toplam eşdeğer deprem yükü), tek deprem bölgesi ve tek zemin sınıfına göre hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti hesabında yapının serbest titreşim analizi yapılarak hesaplanan birinci mod doğal titreşim periyodu kullanılmıştır. Yapı ağırlıkları, doğrudan, kullanılan SAP 2000 bilgisayar programı tarafından doğrusal elastik analiz sonuçlarında alınmıştır (Wilson ve Habibullah, 1998).

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı her iki tip için (R)=5 alınmıştır. Buna göre deprem yükü azaltma katsayısı (Ra(T)) hesaplanmıştır. Taban kesme kuvvetleri, kat ağırlıkları ve rijitlekle orantılı olarak kat seviyesinde kolon uçlarına tekil kuvvetler olarak dağıtılmıştır. Şekil 1'de üç boyutlu yapı modeli Şekil 2'de yapı planı ve aks aralıkları mesafesi, Şekil 3'de modellerin planları verilmiştir. Doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilirken plastik mafsallar yapı üzerindeki tüm elemanlara çalışma şekline ve özelliklerine bağlı olarak tanımlanmıştır. Kolonlarda eksenel yük (P) ve moment etkileri (M2-M3) etkin rol oynadığı için mafsal tanımlamasında P-M2-M3, kirişler ise sadece moment etkisi hâkim olduğu için mafsal tanımlamasında M3 olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde iki tip güçlendirme tanımlanmıştır. Bunlardan ilki çelik çapraz elemanlar ile güçlendirmedir. Kullanılan bu çelik çapraz elemanlar her iki ucu moment ve kesme kuvveti almayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Bu sebeple çapraz elamanlar sadece eksenel yük etkisindir. Bu sebeple de çapraz elemanlar için mafsal tanımlaması eksenel P olarak modellenmiştir. İkinci tip güçlendirme yöntemi olarakta betonarme perde kullanılmıştır. Betonarme perde elemanlar kolon ve eğilme etkisini de dikkate alabilmek için sonsuz rijit kirişin bir kombinasyonu olarak alınmıştır.

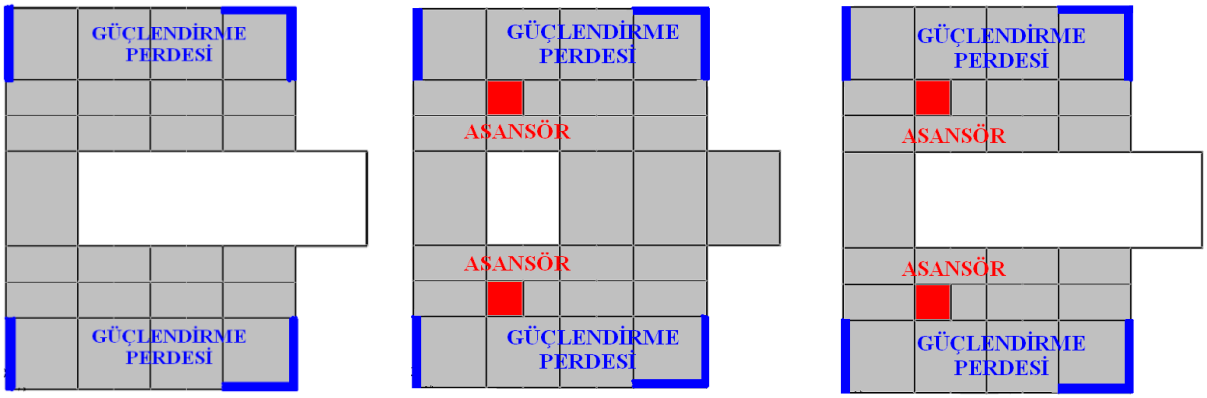
Betonarme perde elemanı oluşturan kolonlar için P-M2-M3 mafsalı tanımlanmış kirişler içinse M3 mafsal tanımlanmıştır. Diyafram etkisi döşeme etkisini gerçeğe en uygun halde göstermek için tüm katlarda, kolon-kiriş düğüm noktasına her iki deprem doğrultusunda diyafram tanımlanmıştır. Yüklemeler tüm katlara, kolon-kiriş düğüm noktalarına deprem kuvvetleri üçgensel yük dağılımı yöntemi kullanılarak yüklenmiştir. Döşeme etkileri yukarıda bahsedildiği gibi kirişlere aktarılmıştır. Modele etkitilen bu yükler Sap2000 programının yükleme bölümünde yükleme türü olarak tanımlanmış, yine programın analiz bölümünde fonksiyonları girilmiştir. Ayrıca bu yüklemelere dayanak oluşturulan yükleme kombinasyonları, programın kombinasyonlar bölümünde tanımlanmıştır. Malzemeler, programda mevcut olan HEA, IPE, çelik profillerden seçilmiştir. Kirişlerde IPE 470, kolonlarda ise 1–3 kat arası HE–600-B, 4–5 katlar arası HE–550-A, 6. kat HE–500-A, 7–12 katlar arası HE–450-A çelik profillerden dizayn edilmiştir. Asansör kovasını çevreleyen çelik çapraz elemanlar için IPE–180 kullanılmıştır.



Şekil 1. Analizlerde kullanılan yapı modeli üç boyutlu görünümü



Şekil 2. Analizlerde kullanılan yapı modeli plan görünümü



a. Model 1. burulma düzensizliği

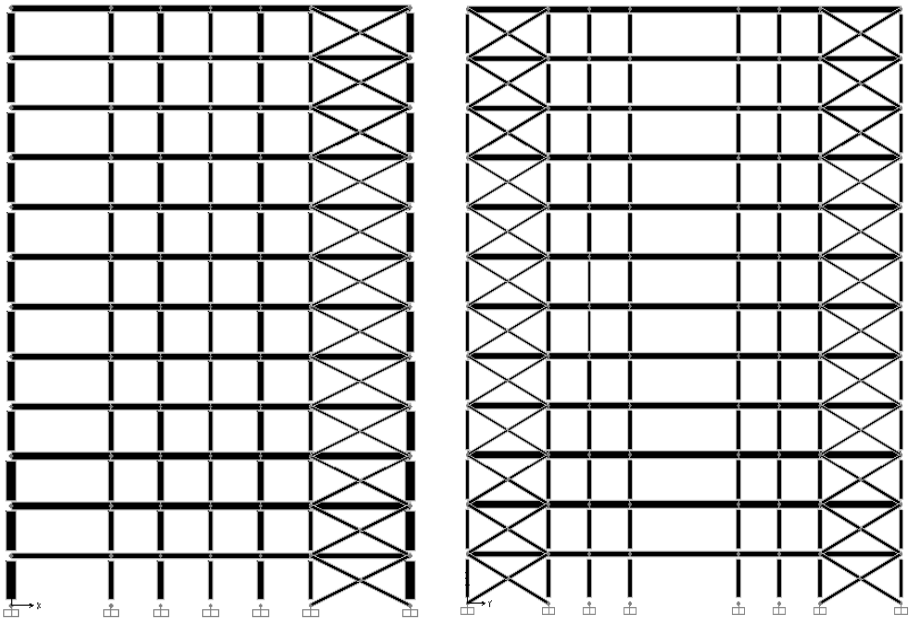
b. Model 2. Düzensiz döşeme

c. Model 3. Düzensiz döşeme ve burulma düzensizliği

Şekil 3. Analizlerde kullanılan yapı modellerinin planları

3. Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirme

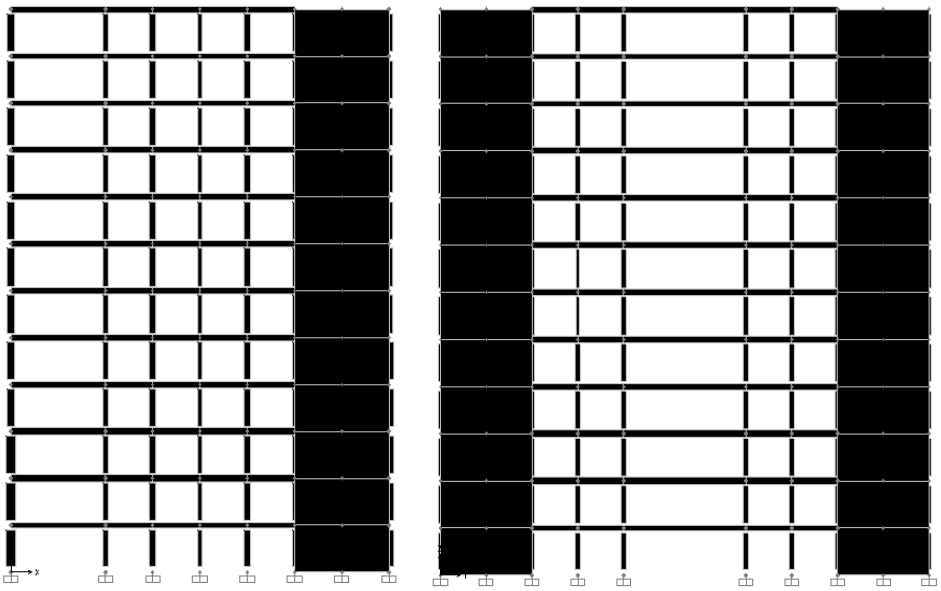
Çalışmaya esas alınan yapı geometri bakımından her iki düzlemde rijit, düşeyde düzenli bir çerçeve sisteme sahiptir. Model "x-y" düzleminde çelik çaprazlı perdelerle desteklenmiş ve analizler yapılmıştır. Kat ağırlıkları SAP2000 bilgisayar programı tarafından alınmış, hareketli yük ise 50 kN/m olarak döşemelere etkitilmiştir. Serbest titreşim analizleri SAP2000 bilgisayar programı ile yapılarak 1. mod doğal titreşim periyotları belirlenmiş, Deprem Yönetmeliğine göre Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)=5 alınmıştır. Buna göre eşdeğer deprem yükü hesaplanarak kat ağırlıkları ve yüksekliklerle orantılı olarak kat seviyelerine tekil kuvvetler olarak dağıtılmıştır. Güçlendirme için çelik çapraz elemanlarda IPE–180 çelik profil kullanılmıştır. Şekil 4'de çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen yapı modeli verilmiştir.



Şekil 4. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen yapı modeli

4. Perde Elemanlarla Güçlendirme

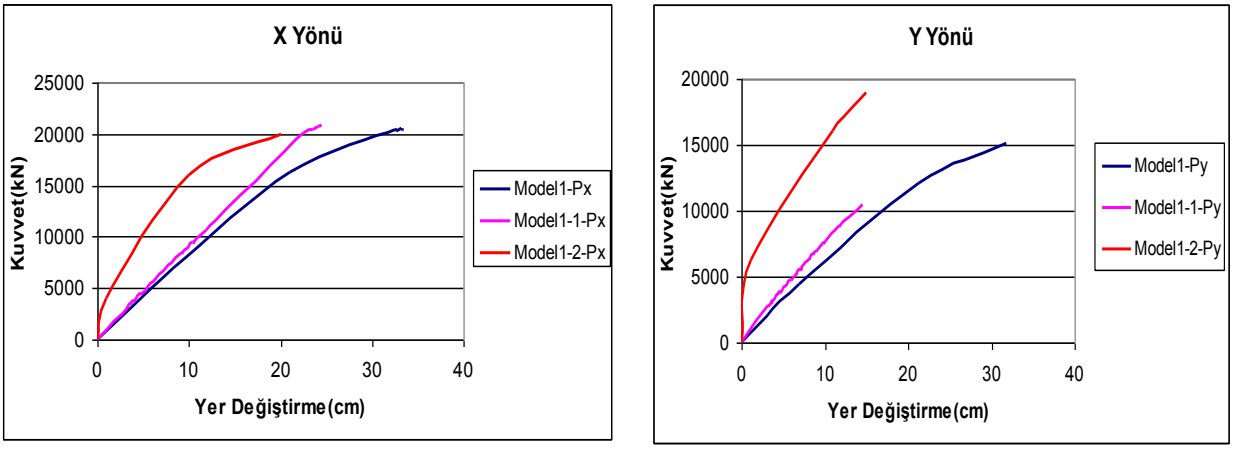
Betonarme deprem perdelerinin ilavesi mevcut bir yapının deprem davranışını iyileştirmek bakımından oldukça sık kullanılan bir güçlendirme yöntemidir. Günümüzde ülkemizde de oldukça sıklıkla kullanılmakta olan bu yöntem, farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamada genellikle perdeler yerinde dökülürler nadiren de olsa püskürtme ile yapıldıkları da olabilir (FEMA, 1997; FEMA, 2000). Yeni deprem perdelerinin teşkili için ön döküm (prefabrike) elemanlar kullanılabilir. Fakat detayları son derece karmaşık olması nedeniyle istenilen davranışın elde edilmesi zordur. Monolitik betonarme deprem perdeleri binanın çevresinde veya içinde olabilirler (Beskos ve Anagnostopoulos, 1997; Fajfar ve EERI, 2000). Konu ile ilgili literaturde çok sayıda çalışma mevcuttur (Chao ve Goel, 2006; Engelhardt ve Popov, 1989; Berman ve Bruneau, 2004; Dasgupta ve Goel, 2006; Rai vd. 1996; Sabelli, 2000). Çalışma kapsamında Şekil 5'de verildiği gibi 25cmX600cm boyutlarında perde elemanlar yerleştirilmiştir. Perde elemanın beton sınıfı C25'dir.



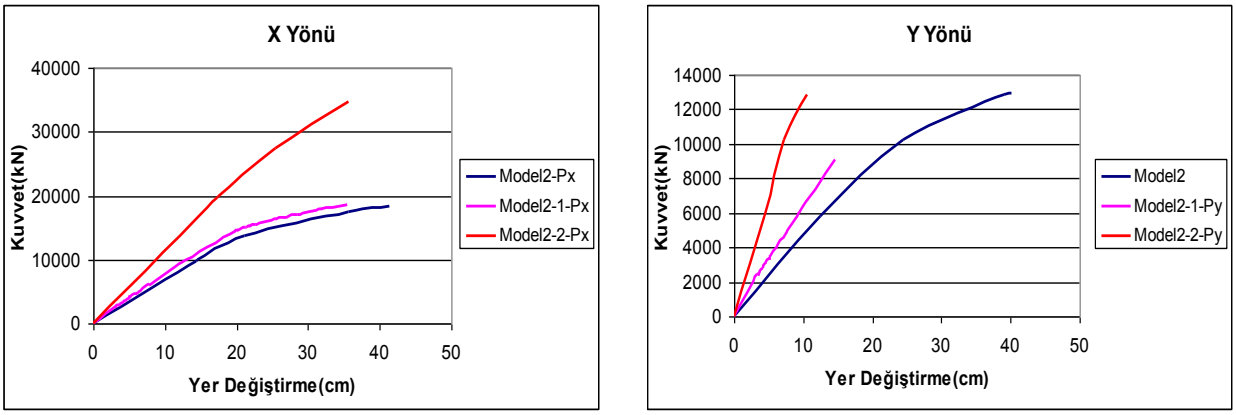
Şekil 5. Betonarme perdelerle güçlendirilen yapı modeli

5. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

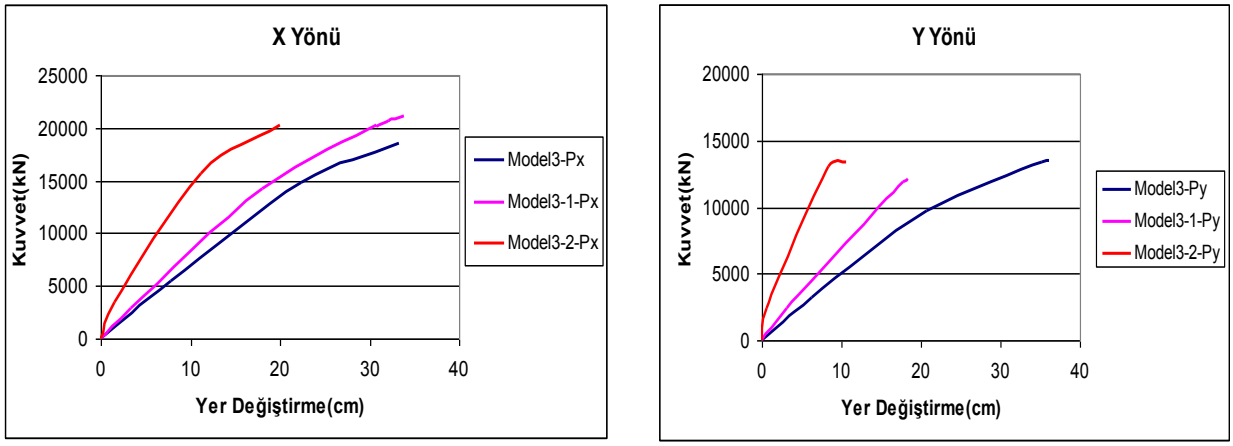
Çalışma kapsamında mevcut (P), çelik çaprazla güçlendirilen (1-P) ve betonarme perdelerle güçlendirilen (2-P) burulma düzensizliği olan (Model 1), döşeme düzensizliği olan (Model 2), ve her ikisini de içeren (Model 3) üç farklı yapı modelinin analizi yapılmıştır. Bu üç farklı model için üç farklı güçlendirme halinde X ve Y yönünde elde edilen sonuçlar grafiklerle sunulmuştur. Elde edilen 18 farklı kapasite eğrisi Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de mevcut, çapraz elemanlarla ve perdelerle güçlendirilmiş model yapıların doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen yer değiştirme eğrileri verilmiştir. Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'de mevcut, çapraz elemanlarla ve perdelerle güçlendirilmiş model yapıların doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen göreli yer değiştirme eğrileri verilmiştir. Bu grafikler sonucunda elde edilen eğriler, güçlendirme tiplerine göre elde edilen sonuçları vermektedir. Bu grafiklerin karşılaştırmaları yapılarak sonuçlar kısmında değerlendirmeleri detaylı olarak sunulmuştur.



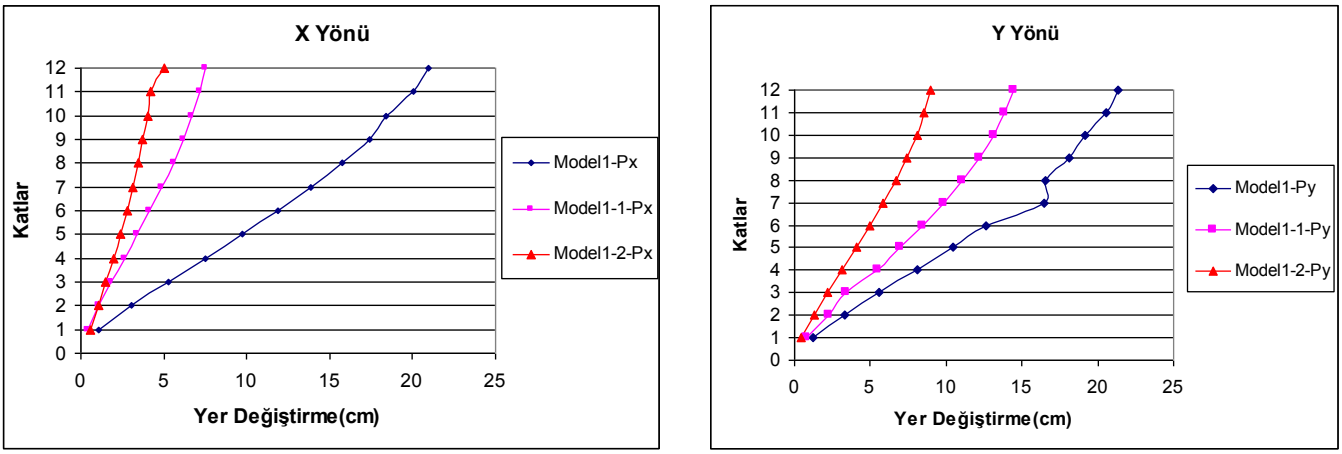
Şekil 6. Model 1. Burulma düzensizliği olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



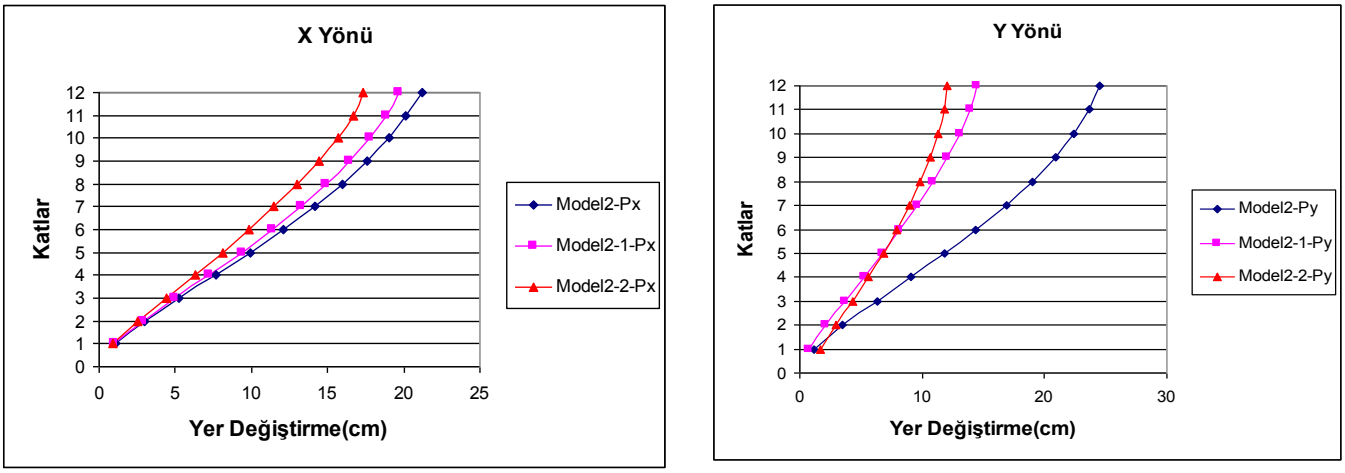
Şekil 7. Model 2. Döşeme düzensizliği olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



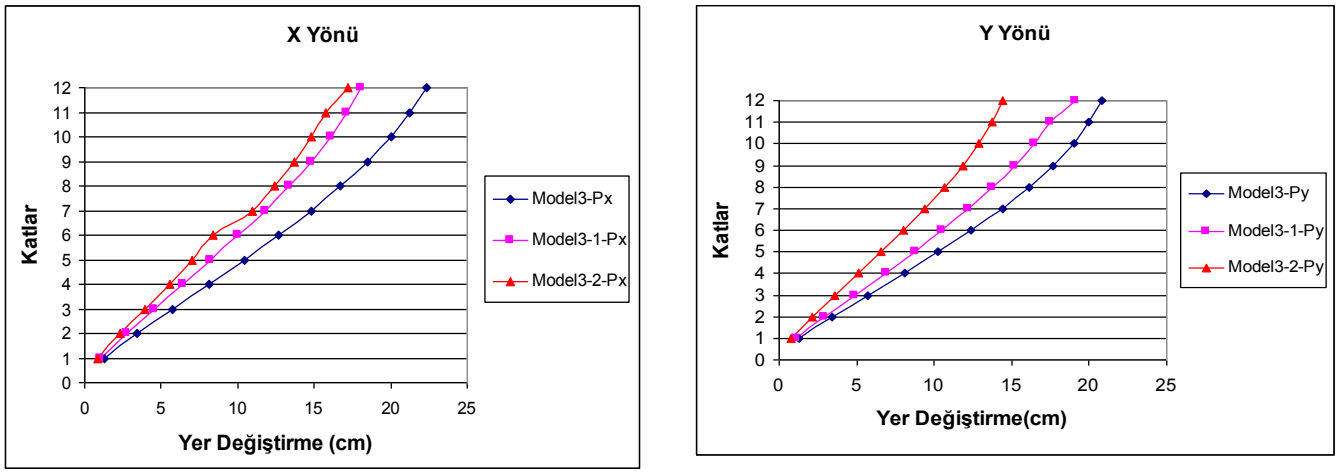
Şekil 8. Model 3. Her iki düzensizliği de olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri.



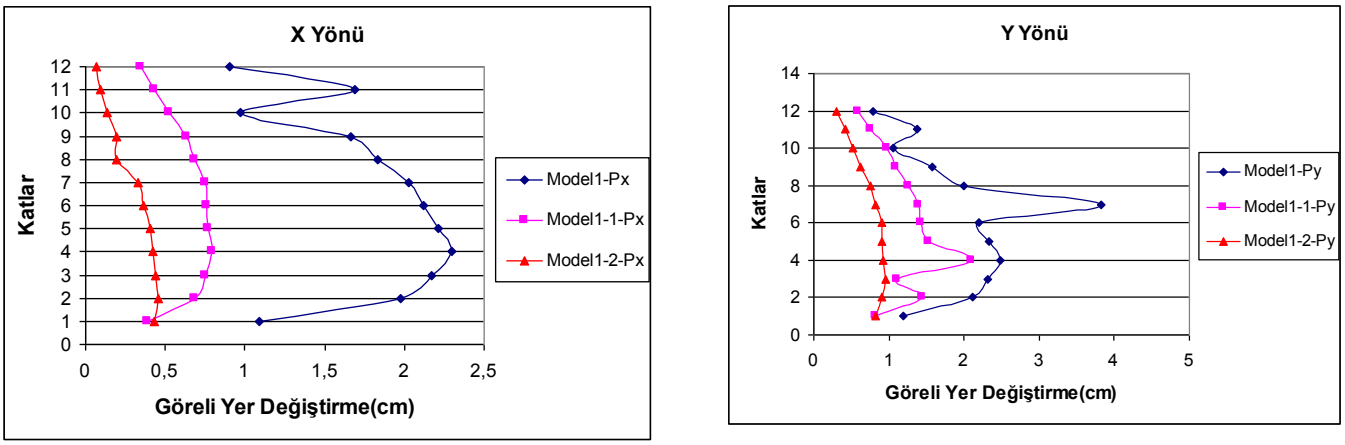
Şekil 9. Model 1. Burulma düzensizliği olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



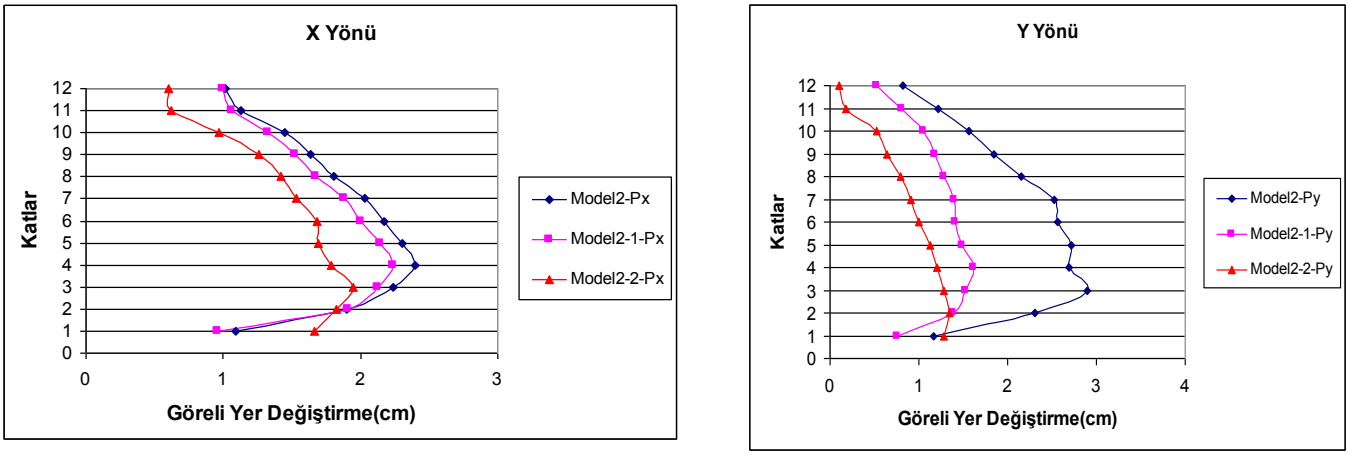
Şekil 10. Model 2. Döşeme düzensizliği olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



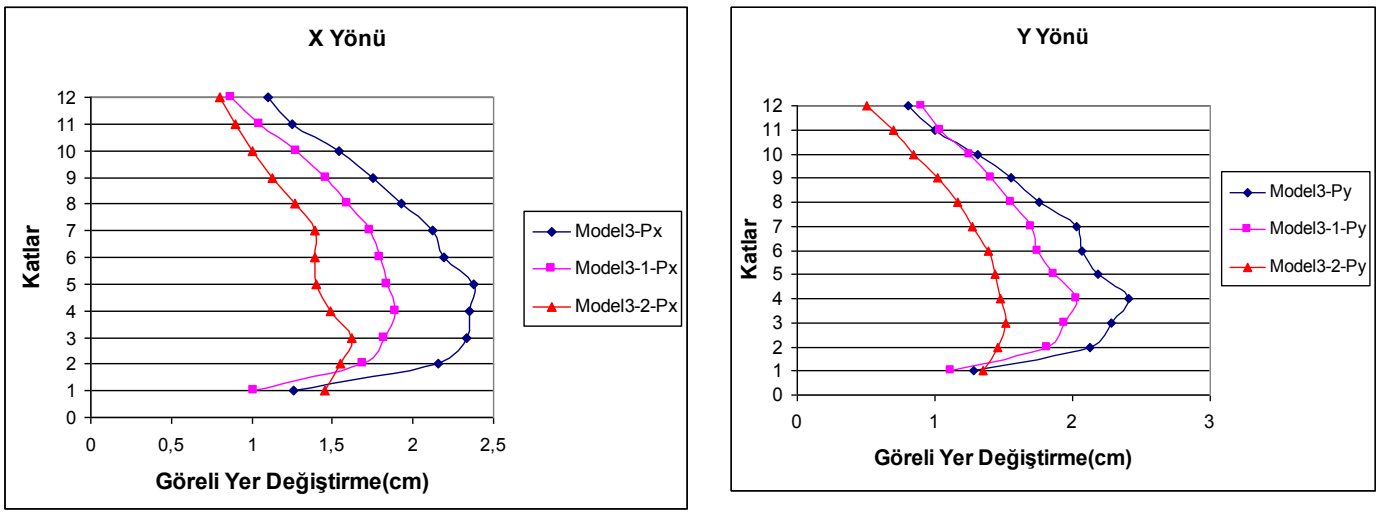
Şekil 11. Model 3. Her İki düzensizliği de olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



Şekil 12. Model 1. Burulma düzensizliği olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



Şekil 13. Model 2. Döşeme düzensizliği olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri



Şekil 14. Model 3. Her İki düzensizliği de olan yapının X ve Y Yönü artımsal itme eğrileri

6. Sonuçlar

Çalışma kapsamında günümüzde kullanımı ve imalatı hızla artan çelik yapıların güçlendirilmesiyle ilgili detaylı bir çalışma ortaya konmuştur. Çelik yapıların güçlendirilmesinde kullanılan iki ana yöntem ele alınarak, planda düzensizlik içeren çelik yapıların güçlendirilmesi yapılmıştır. Yapıların mevcut, çapraz elemanlarla, perdelerle güçlendirilmiş hallerine göre elde edilen kapasite, yer değiştirme değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Mevcut, çelik çaprazlarla ve perde elemanlarla güçlendirilen üç ayrı model için Şekil 5 ile Şekil 7 arasında modellerin kapasite eğrileri, Şekil 8 ile Şekil 10 arasında yer değiştirme eğrileri verilmiştir. Şekil 11 ile Şekil 13 arasında da göreli yer değiştirme eğrileri sunulmuştur. Böylelikle yapılan güçlendirmeye göre farklı düzensizlik durumlarındaki kapasite ve yer değiştirme değişimi değerlendirilmiştir.

Perde elemanlar kullanılarak yapılan güçlendirme sonrasında elde edilen kapasite artışı çapraz elemanlar kullanılarak elde edilen kapasite artışına göre daha fazla olmuştur. Bunun başlıca sebebi yapının perdelerle daha rijit hale getirilmiş olmasıdır. Bu açıdan betonarme perdelerle güçlendirme yapılması yapının kapasitesinin arttırılması açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Betonarme perde elemanların eklenmesi yapının ağırlığını ve dolaylı olarak da yapıya gelen yanal deprem yüklerini de arttırabilir. Bu olumsuz durumdan kaçınmak için yapının rijitliğini veya sürekliliğini arttırmak bakımından çerçeve boşlukları arasına çelik çapraz elemanlar konularak destek sağlanabilir. Çelik çaprazlarla güçlendirme yapının kapasitesini betonarme perdelere oranla daha az arttırmasına rağmen yatay yük altındaki yapı davranışına uyum sağlamaktadır. Bu sebeple yapı elemanlarında oluşan mafsal koşulları kabul edilen sınırlar içerisinde kalmaktadır. İşçilik ve yapım maliyetleri daha yüksek olmasına rağmen kısa sürede yapılabilmeleri, deprem sonrasında acil olarak yapı hasarlarının giderilmesi ve yapının hasar görmüş bölümünün desteklenmesi için çelik çapraz uygulamaların üstün tarafları olduğu unutulmamalıdır.

Kaynaklar

ABYBHY, 2007, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete 2007, İstanbul, Türkiye.

ATC (Applied Technology Council), Seismic Evalation And Retrofit of Concrete Buildings, California, ABD, 40.

Berman, J. W. and Bruneau, M., 2004, Approaches for the Seismic Retrofit of Braced Steel Bridge Piers and Proof-of-Concept Testing of a Laterally Stable Eccentrically Braced Frame. Technical Report MCEER-03-0001.

Beskos, D.E. and Anagnostopoulos, S.A., 1997, Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures A Handbook, 549-559, Great Britain.

Chao, S-H. and Goel, S.C., 2006, Performance-Based Design of Eccentrically Braced Frames Using Target Drift and Yield Mechanism, AISC Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, Third Quarter, 173-200.

Dasgupta, P. and Goel, S. C., 2006, Performance-Based Seismic Design of Steel Concentric Braced Frames, Proceedings, Eighth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California.

DBYYHY, 1997, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete 1997, İstanbul, Türkiye.

Engelhardt, M.D. and Popov, E.P., 1989, Behavior of Long Links in Eccentrically Braced Frames. Report No. UCB/EERC-89-01, Berkeley, CA.

Fajfar, P. and EERI, M., 2000, A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Design., Earthquake Spectra, 16, 3, 573-592.

FEMA (Federal Emergency Management Acency), 1997, Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings, 273.

FEMA (Federal Emergency Management Agency), 2000, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, 356.

Ghobarah, A., 2001, Performance - Based Design in Earthquake Engineering, State of Development, 23, 878-884.

Mahim, S., Malley, J. and Hamburger, R., 2002, Overwiev of the FEMA/Sac Program For Reduction of Earthquake Hazards in Steel Moment Frame Structures, Journal of Cnstructional Steel Rsearch, 58, 511-528.

Moghaddam, H. and Hajirasouliha, I., 2002, An investigation on accuracy of pushover analysis for estimating the seismic deformation of braced steel frames, Journal of Cnstructional Steel Rsearch, 62, 4, 341-353.

Rai, D. C., Goel, S. C., and Firmansjah, J., SNAP-2DX, 1996, General Purpose Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Two Dimensional Structures, Report No. UMCEE 96-21, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.

Sabelli, R., 2000, Research on Improving the Design and Analysis of Earthquake Resistant Steel Braced Frames, FEMA/EERI Report

Yang, T.Y., Stojadinavic, B., Moehle, J., 2007, Hybrid Smilation Evalation Of İnnovative Steel Braced Freming System, Proceedings, Eigth National Conference on Earthquake Engineering, SanFrancisco, California CD, 1415.

Wilson, E. and Habibullah A., 1998, SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis, Kullanım Klavuzu.