

Çelik Halatlarla Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeve Binanın Bilgisayar Destekli Deprem Analizi

Orhan DOĞAN, İbrahim AKDEMİR, Şule BAKIRCI ER

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71450 Türkiye
DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 06100 Türkiye

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71450 Türkiye
Tel: +90 (318) 357 4242 / 1237; Fax: +90 (318) 357-2459, odogan67@hotmail.com, ibrahimakdemir2003@yahoo.com, sule_bakirci71@hotmail.com

Özet — Yapılarda yaygın olarak uygulanan güçlendirme tekniklerinden birisi de çerçeve sisteme ilave perdeler ekleme. Bu çalışmada, çelik halatlar kullanarak, betonarme bina çerçeveleri sistemleri için yapısal olarak etkili ve uygulanması kolay farklı bir güçlendirme yöntemi sunulmuştur. Burada 4 katlı betonarme çerçeve bir bina tasarlanmış ve çelik çapraz halat elemanlarla güçlendirilmiştir. Perde duvarlar oluşturmak için, çelik çapraz halatlar binanın bodrum katından en üst katına kadar, tüm dış aks çerçevelerine uygulanmıştır. Betonarme perdelerle ve çapraz çelik halatlarla güçlendirilmiş her iki sistem de, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak, SAP2000 Programı ile analiz edilmiştir. Yeni güçlendirme sisteminin performansını görebilmek için taban kesme kuvvetleri ve görelî ötelenmeleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, çelik halat kullanılan güçlendirme yönteminin oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler— Güçlendirilmiş Betonarme Binalar, Çapraz Çelik Halat Elemanlarla Güçlendirme, Deprem.

Abstract— One of the commonly applied strengthening techniques for reinforced concrete buildings is addition of shear-walls to the current frame system. In this study, structurally effective and practically applicable diagonal steel cables are presented as a different strengthening technique for reinforced buildings frames. Herein, four floor reinforced concrete frame systems were designed and strengthened with diagonal steel cables. Steel diagonal cables were applied from the foundation to the top floor at all external axis of the building to form shear-walls. Both systems using reinforced shear-walls and diagonal steel cables were analyzed using equivalent earthquake forces using SAP2000 Program. To investigate the performance of the new strengthening system, shear forces and relative lateral displacements of both strengthening systems were compared with each other. The study results indicate that the new strengthening system using diagonal steel cables produced comparable results quite close results.

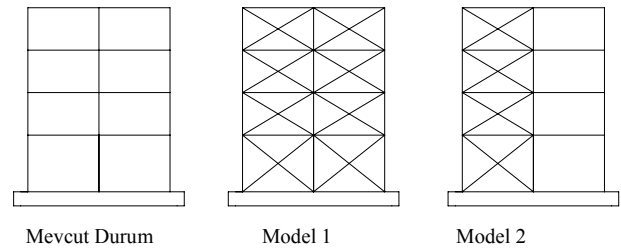
Keywords: Strengthening reinforced concrete buildings, Strengthening with steel diagonal cables, Earthquake.

I. GİRİŞ

Deprem mühendisliği binaların performanslarının ve deprem davranışlarının iyileştirilmesi üzerinde önemle durmaktadır. 1999 Gölçük depreminden sonra mevcut binaların deprem davranışlarının ve performanslarının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu güçlendirmelerin çok iyi projelendirilmesi ve doğru şekilde uygulanması gerekmektedir [1].

Binaların takviye taşıyıcı elemanlarla güçlendirilmesine dayanan çalışmalar mevcuttur [1-18]. Yatay dayanımı ve rijitliği düşük betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi için kullanılabilir ucuz ve hızlı olabilecek metodlardan biri mevcut binanın dış cepheden çelik çapraz halatlı perde bir sistemin eklenmesidir. Bu güçlendirme yönteminin yapının kullanımını engellemeyeceği için tercih edileceği düşünülmektedir. Bina tiplerinden sıkça karşılaşılan 4 katlı betonarme çerçeve bir bina ele alınarak binanın deprem davranışının iyileştirilmesi amacıyla birinci modelde her iki yönde iki açıklıktan birine, ikinci modelde her iki açıklığa da çapraz çelik halatlar yerleştirilerek güçlendirilmiştir. Mevcut bina ile tasarlanan iki modelin performansı eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak SAP2000 programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan incelemelerde, betonarme binaların güçlendirilmesinde çapraz çelik halat elemanların kullanılmasının etkili olduğu, binaların deprem davranışlarının iyileştirilmesinde olumlu katkılarının olabileceği gözlenmiştir.



Şekil 1. Seçilen Örnek Çerçeve Binanın Şematik Gösterim

II. AMAÇ VE KAPSAM

Binaların deprem davranışlarının ve performanslarının iyileştirilmesi amacıyla betonarme perde eklemek veya çelik profillerle çerçeveler oluşturmak binada tahliye, yıkım ve onarımları beraberinde getirmektedir. Bina dışından uygulanacak çapraz çelik halatlı güçlendirme, sağladığı kapasite artışına ilave olarak, diğer güçlendirme yöntemlerinin yanında, uygulanabilirliğinin ve maliyetinin daha uygun olduğu düşünülmektedir. Ancak çelik çapraz halat elemanlarla güçlendirme konusunda herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Betonarme binaların güçlendirilmesinde çelik çapraz halat elemanların kullanımında dikkat edilmesi gerekli olan önemli bir husus çerçeve modelinde, kolon-kiriş ve halat birleşimlerin tam ve doğru olarak modellenmesidir. Çelik halatlar sadece çekme eksenel yüklerini almakta basıncı almamaktadır. Birleşim noktasının bilgisayar programında nasıl modelleneyeceği çok önemlidir. Birleşimin tanımlanması sırasında düğüm noktasının karakteristik davranışı tam olarak temsil edilmelidir.

Bu çalışma konut türü yapılarda binayı dış cephelerinden çelik halatlarla güçlendirme yapısal performansa ve deprem davranışına katkısını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla I. deprem bölgesinde ve (Z2)'de bulunan, farklı modeller SAP2000 programı yardımıyla incelenmiştir.

ANALİZLER

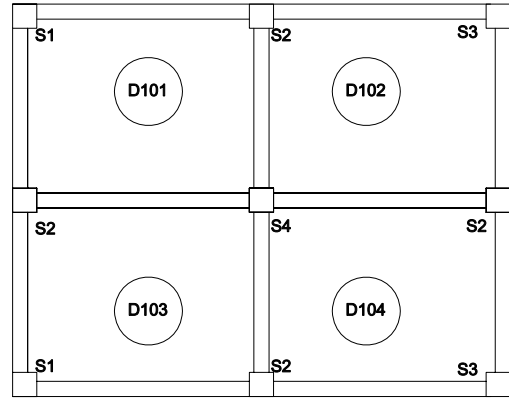
Analizlerde, ele alınan 4 katlı örnek betonarme çerçeve bina TS500 ve DBYYHY 2007'ye göre boyutlandırılmıştır [19-20]. Çalışmada binalar için esas alınan beton sınıfı C20'dir. Bina birinci derece deprem bölgesinde (etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.40$) olup, bina önem katsayısı $I=1.0$ olarak alınmıştır. 4 katlı çerçeve süneklik düzeyi yüksek (taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$) olarak tasarlanmıştır. Zemin sınıfı olarak Z2 zemin sınıfı alınmıştır. Ayrıca boyutlandırmada, tüm kirişler üzerinde duvar yükünden dolayı $g=6.00$ kN/m ve kendi ağırlığından dolayı $g=2.75$ kN/m ölü yük, döşemelere gelen sabit yük çatı ve normal katlarda $g=4.50$ kN/m² ve döşemelere gelen hareketli yük normal katlarda ise $q=2.00$ kN/m² alınmıştır. Döşemeler çift doğrultuda çalışan döşeme olduğundan döşeme yükleri kirişlere üçgen ve trapez yayılı yük olarak etkilmiştir. Kat ağırlıkları $w_1=694.9$ kN, $w_2=694.9$ kN, $w_3=615.7$ kN ve $w_4=549.0$ kN (binanın toplam ağırlığı $W_t=2554.6$ kN) dikkate alınmış ve modal analiz sonucu 4 katlı mevcut çerçevenin elastik birinci doğal titreşim periyodu $T_{1x}=0.52466$ sn ve $T_{1y}=0.50373$ sn olarak hesaplanmıştır.

TABLO I
Kolon Boyutları (Ölçü birimi mm'dir).

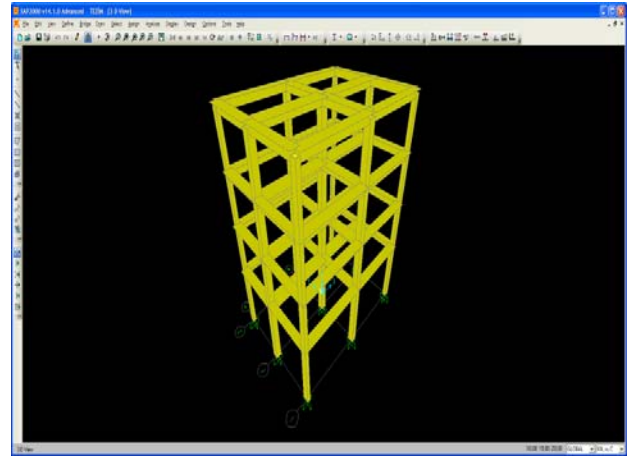
KAT	S1	S2	S3	S4
4-3	250*350	400*400	300*300	450*450
2-1	250*400	400*400	400*300	450*450

İlk iki kata ait kolon en kesit boyutları aynı kabul edilmiş ve 3 ve 4 katta kolon boyutları azaltılmıştır. Tüm kiriş en kesit boyutları 250x500 mm ve döşeme kalınlığı 120 mm alınmıştır.

Binanın mod şekilleri ve titreşim periyotlarını belirlemek için SAP 2000 programı ile modal analiz yapılmıştır.



Şekil 2. Modele ait kat planı



Şekil 3. Taşıyıcı sistemin 3 boyutlu analiz modeli

Seçilen betonarme çerçeve sisteme etkiyen deprem kuvvetleri x ve y yönü için ayrı ayrı ve her kat için hesaplanıp (Tablo II) SAP 2000 programına girilmiştir.

TABLO II
KATLARA GELEN DEPREM KUVVETLERİ

Katlar	Deprem Kuvvetleri (kN)	
	X Yönü	Y Yönü
4	87.54	87.52
3	75.48	76.46
2	59.56	59.54
1	34.15	34.14

ST 52 kalitesinde çelik halatlar binanın dış akslarında ve perde oluşturmak amacıyla en alttan en üst kata kadar uygulanmıştır. Halat çapları; 10 mm ile 250 mm arasında değişken tutulmuştur. Çerçevenin içine 2 çapraz diyagonal olarak bağlanmış halatlarla bina güçlendirilmiş ve analizler yapılmıştır.

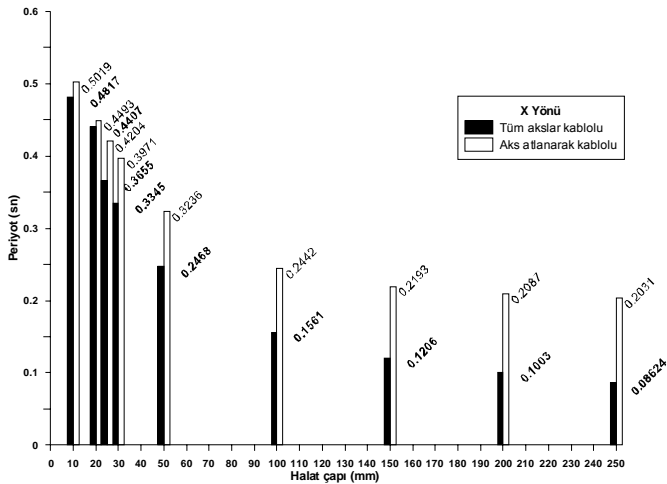
Betonarme Çerçeve Binanın Güçlendirilmesi

Model alınan binada herhangi bir düzensizlik durumu mevcut değildir. Bu bina Şekil 1’de verilmiş olan güçlendirme şekillerinden X tipi çapraz çelik elemanlar kullanılarak iki ayrı şekilde güçlendirilmiştir. (Çerçevenin düşey açıklığında aks atlamadan veya aks atlayarak) Çalışmada amaçlanan değişik çaptaki halatlarla, betonarme perdeli durumdaki periyot ve ötelenme değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Bu iki tip seçilirken, uygulama esasları göz önüne alınmış ekonomik sebepler ve işçilik de göz önünde tutularak olabilecek en az şekilde diagonal eleman kullanımı amaçlanmıştır. Şekil 1’de verilmiş olan model 1’de kenar açıklıklar (tüm aks aralıkları) çapraz şekilde halatlarla güçlendirilmiş, model 2’de ise (bir aks dolu bir aks boş) olacak şekilde çaprazlama yapılmıştır. Bu iki ayrı şekilde binaların güçlendirmesi eşdeğer deprem yükü analiziyle incelenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

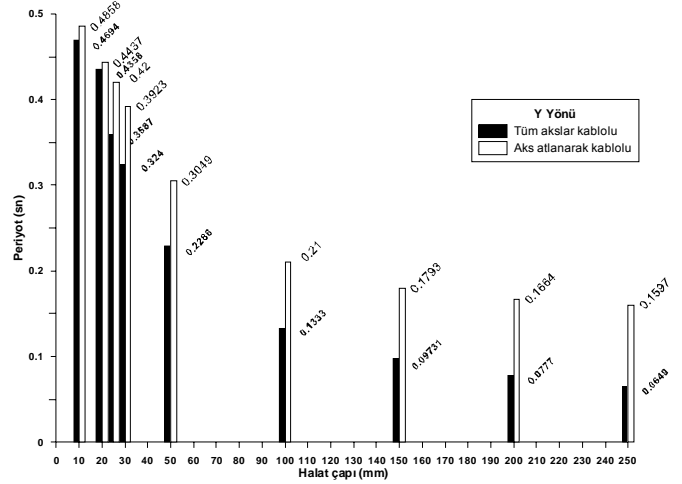
Betonarme Çerçeve Binanın Eşdeğer Deprem Yükü Yapısal Analizleri

Farklı şekilde güçlendirme uygulanan bina için eşdeğer deprem yükü analizleri gerçekleştirilirken çelik diagonal halat elemanlar, kablo olarak tanımlanmış ve sistemin dayanımına etkisi doğrudan analizlere katılmıştır.

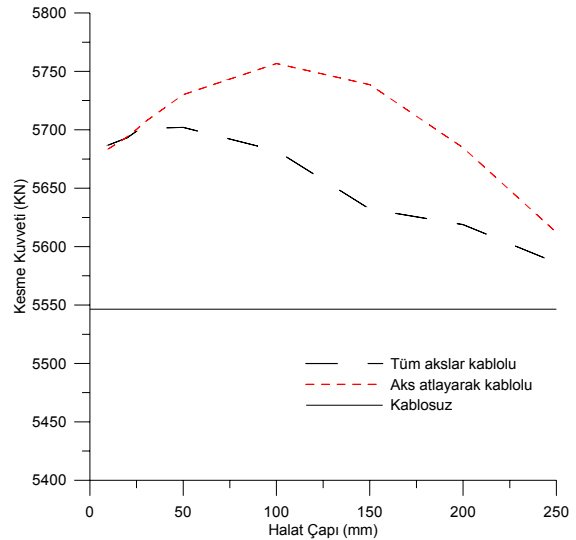
Tablo III ve Tablo IV’te göreceli kat ötelenmeleri kontrolleri verilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5’te ise halat çaplarına ve aks atlanıp atlanmama durumlarına göre X ve Y yönlerinde yapı periyotları verilmiştir. Analizler sonucunda maksimum iç kuvvetlerin olacağı tahmin edilen 450x450 mm boyutlarındaki S4 kolonunda oluşan moment ve kesme kuvveti değerleri verilmiştir.



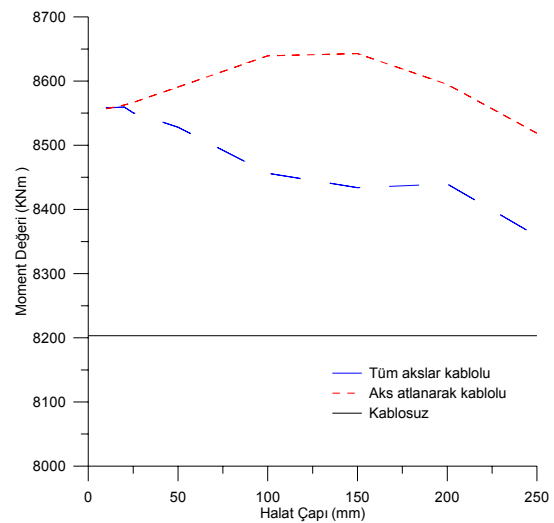
Şekil 4. Yapının X yönü için kablo çaplarına göre periyot değerleri



Şekil 5 Yapının Y yönü için kablo çaplarına göre periyot değerleri



Şekil 6. Mevcut ve Güçlendirilmiş Binaların S4 Zemin Kat Kolonunda Oluşan Kesme Kuvveti Değerleri



Şekil 7 Mevcut ve Güçlendirilmiş Binaların S4 Zemin Kat Kolonunda Oluşan Moment Değerleri

TABLO III Tüm akslar kablolu durum için görelî kat ötelenmelerinin kontrolü ($\delta_i^*R/hi < 0.02$)

Kat	Mevcut Bina	B.A Perde ile güç.	(ϕ :10mm)	(ϕ :20 mm)	(ϕ :25 mm)	(ϕ :30 mm)	(ϕ :50 mm)	(ϕ :100 mm)	(ϕ :150 mm)	(ϕ :200 mm)	(ϕ :250 mm)
1	0.001041	0.000520	0.000858	0.000579	0.000466	0.000377	0.000181	0.000056	0.000028	0.000017	0.000011
2	0.000851	0.000801	0.000709	0.000491	0.000401	0.000329	0.000168	0.000059	0.000032	0.000020	0.000014
3	0.000664	0.000734	0.000552	0.000382	0.000313	0.000258	0.000135	0.000051	0.000030	0.000020	0.000014
4	0.000377	0.000589	0.000314	0.000220	0.000183	0.000153	0.000086	0.000038	0.000024	0.000017	0.000013

TABLO IV Aks atlanarak kablolu güçlendirme durumu için görelî kat ötelenmelerinin kontrolü ($\delta_i^*R/hi < 0.02$)

Kat	Mevcut Bina	B.A Perde ile güç.	(ϕ :10mm)	(ϕ :20 mm)	(ϕ :25 mm)	(ϕ :30 mm)	(ϕ :50 mm)	(ϕ :100 mm)	(ϕ :150 mm)	(ϕ :200 mm)	(ϕ :250 mm)
1	0.001041	0.000520	0.000933	0.000741	0.000643	0.000555	0.000317	0.000124	0.000075	0.000057	0.000048
2	0.000851	0.000801	0.000767	0.000620	0.000546	0.000479	0.000297	0.000149	0.000111	0.000097	0.000090
3	0.000664	0.000734	0.000598	0.000485	0.000429	0.000379	0.000247	0.000144	0.000118	0.000108	0.000103
4	0.000377	0.000589	0.000340	0.000279	0.000250	0.000226	0.000164	0.000121	0.000111	0.000107	0.000104

III. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut binanın en büyük görelî kat ötelenmesi oranı yaklaşık 0.004'tür. Bu ötelenme oranı, tüm akslar kablolar ile güçlendirildiğinde (Tablo III) yaklaşık 0.000013 seviyesine, aks atlandığı durumda ise (Tablo IV) yaklaşık 0.000104 seviyesine indiği gözlenmiştir.

Güçlendirilmemiş yapının periyodu X yönü için yaklaşık 0.525 sn, Y yönü için 0.504 sn bulunmuştur. Şekil 5 ve Şekil 6'dan görülebileceği gibi kablolarla güçlendirme durumunda bina periyotları azaltılmıştır.

Mevcut yapının en kritik kolonu olduğu düşünülen en alt kat S4 kolonunda mevcut çerçeve sistemde 5546.44 kN kesme kuvveti ve 8203 kNm moment tesirleri oluşmaktadır. Tüm aksların kablolarla güçlendirildiği durumda kesme kuvveti değeri halat çaplarına göre 5687.04 kN ile 5586.2 kN arasında değişim göstermiştir. Aks atlanarak güçlendirme yapılan durumda kesme kuvveti değeri 5683.74 kN ile 5612.17 kN arasında değişmiştir.

Çerçevesel sistemde S4 kolonunda oluşan moment değeri 8203.3 kN m'dir. Tüm aksların halatlarla güçlendirildiği durumda moment değişimi 8558.22 kNm ile 8358.48 kNm arasında olmuştur. Aks atlandığı durumda moment değerleri 8556.88 kNm ile 8518.74 kNm arasında değişim göstermiştir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bugüne kadar meydana gelmiş olan depremler mevcut binaların deprem performanslarının oldukça yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Bu sebeple mevcut binaların güçlendirilmesi konusu oldukça önemli bir hale gelmiştir. Çok çeşitli güçlendirme şekillerinden bahsetmek mümkündür. Bu çalışmada incelenen diagonal çelik halat elemanlarla betonarme binaların güçlendirilmesinin de etkili ve ekonomik bir güçlendirme yöntemi olduğu gözlenmiştir.

Seçilen modelin planda düzensizlik durumları oluşturulmasına özen gösterilmiştir. İncelenen modellerde mevcut yapıların kablolarla güçlendirilmesi sonucunda kat ötelenmelerinin ve binanın birincil periyodunun azaldığı belirlenmiştir.

Kablo çapı 10 mm'den 250 mm'ye kadar değişken tutulmuştur. Elbette 250 mm kablo çapının bu güçlendirme için fazla olduğu düşünülebilir. Değişik kablo çaplarının incelenmesindeki amaç, iç kuvvetlerdeki amaç, ötelenme ve periyotlardaki değişimi gözlemleyebilmektir.

Mevcut çerçevesel yapının Betonarme perdelerle de güçlendirilmesi yapılmıştır. Bu durumda en kritik olduğu düşünülen zemin kat S4 kolonundaki kesme kuvveti ve moment değerleri halatlı güçlendirmelere göre çok büyük olduğu belirlenmiştir.

Binaların çelik çapraz halat elemanlarla güçlendirilmesi kat ötelenmelerini önemli ölçüde azaltmıştır.

Çelik çapraz halat elemanların mevcut bina üzerinde kullanılması, binanın iç kuvvet dengesini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu dağılımın nasıl değişeceği çelik diagonal halat elemanların nasıl ve ne şekilde yerleştirileceği ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle çok katlı betonarme binalarda çatı katı seviyesinde meydana gelen büyük yer değiştirmeler sebebiyle bu durum önemini arttırmaktadır. Ayrıca iç kuvvet dengesinin düzgün olarak dağıtılmaması eleman düzeyinde veya sistemde burulma meydana gelmesine sebep olabilecektir.

Anarım ve güçlendirme yapmadan önce maliyet analizi yapılarak, yapıyı yeniden yapmanın ya da güçlendirmenin ekonomik olduğu araştırılmalıdır. Harici çelik halatla binaların güçlendirilmesi, minimum çevre rahatsızlığı, minimum detay ve eleman hasarı, minimum uygulama süresi, minimum gürültü, toz ve çok fazla hava şartlarından etkilenmemesi ve insanların binayı terk etmemesi gibi sebeplerden dolayı daha ekonomik olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, insanların oturdukları binaları terk etmek zorunda kalmaması insanların sosyal yapılarını ve psikolojilerini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın yeni bir güçlendirme tekniğinin araştırılmasına ve uygulanmasına öncü olacağı düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Korkmaz A. "Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının İncelenmesi", Doğu Ün. Dergisi, 8 (2) 2007, s 191-201.
- [2] Abou-Elfath, H., Ghorrah, A. "Behaviour of reinforced concrete frames rehabilitated with concentric steel bracing", Canadian Journal of Civil Engineering, vol.27, 2000, pp.433-444.

- [3] Abou-Elfath, H., Ghobarah, A. "Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing. Engineering Structures. vol. 23, 2001, pp.745-75.
- [4] Altay G., Deodatis G., Franco G., Gulkan, P., Kunreuther H., Lus H., Mete E., Seeber N, (2002). "Benefit cost analysis for earthquake mitigation: evaluating measures for apartment houses in Turkey", Second Annual IIASA-DPRI Meeting. Istanbul, 2002.
- [5] Celep Z., Kumbasar, N. "Deprem mühendisliği ve depreme dayanıklı bina tasarımı. 2. bs. Beta Yayınevi, 2000 İstanbul.
- [6] Güneyisi E.M., Altay, G "Seismic behavior of an r/c frame retrofitted by eccentric steel bracing", Sixth International Congress on Advances in Civil Engineering, 6-8 October 2004 Bogazici Universitesi, Istanbul
- [7] Irtem, E., Turker K., "Binaların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışının belirlenmesinde kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması. Balıkesir Mühendislik Kongresi, 2000, Balıkesir.
- [8] Irtem, E., Turke, K., Hasgöl, U., (2005). "Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi.. İTÜ Mühendislik Dergisi, cilt 4, sayı 4, 2004.
- [9] Kaplan H., Yılmaz S., Tama Y., Görgülü T., Nohutçu H., Atımtay E., "Betonarme binaların dış çelik perde ile güçlendirilmesi: deneysel çalışma", YOGS Konferansı, 2006, Denizli.
- [10] Kawamata, S. Ohnuma, M. (1981). "Strengthening effect of eccentric steel braces to existing reinforced concrete frames", Proceeding of 2nd Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, Michigan, National Science Foundation, 1981, pp.262-26
- [11] Li, Y. " Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation", Doktora Tezi, UT, Austin, TX. ABD, 1996.
- [12] Maheri, M, Sahebi, A., "Use of steel bracing in reinforced concrete frames. Engineering Structures", vol. 19, No. 12, 1997, pp.1018-1024.
- [13] Mete E. (2000). "Seismic evaluation of the retrofitted r/c buildings based on nonlinear static and dynamic analyses", M.S. Thesis, Boğaziçi Universitesi, 2000.
- [14] Pincheria, J., Jirsa, J. "Seismic response of rc frames retrofitted with steel braces", ASCE Journal of Structural Engineering, vol. 5, 1995, pp.1224-1230.
- [15] Piroğlu, F., Uzgider, E.. "Mevcut betonarme binaların çelik malzeme ile güçlendirilme yöntemleri". Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 436, 2005.
- [16] Tem Mühendislik, "Çubuk elemanlı çerçevelerin kabuk eleman bölümlendirmeye çözümü". Nonlinear Örnek <http://www.comp-engineering.com>, 2005.
- [17] William, A., "Seismic design of connections in concentrically braced frames", Civil Engineering Corporation, Roswell, Georgia, ABD, 2001.
- [18] Peker K., Yardımcı N., "Yatay Yük Davranışı Zayıf Betonarme Çerçevelerin Çelik Çaprazlı Perdeler ile Güçlendirilmesi". <http://www.erdemli.com/dosya/3S0E2O3Q.pdf>
- [19] TS 500, (2000). "Betonarme binaların tasarım ve binam kuralları", T.S.E, 2000, Ankara.
- [20] DBYYHY, "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik." İnşaat mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, 2007