

ÇELİK ÇAPRAZ ELEMANLARLA GÜÇLENDİRİLEN BETONARME YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

EARTHQUAKE BEHAVIOR EVALUATION OF R/C STRUCTURES STRENGTHENED WITH STEEL BRACINGS

Kasım Armağan KORKMAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET: Çalışmada, çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş betonarme yapıların deprem davranışları doğrusal olmayan analizler yardımıyla incelenmiştir. Betonarme yapıların güçlendirilmesi ile ilgili olarak farklı çaprazlama şekilleri uygulanmıştır. Betonarme yapıları temsil etmek üzere 10 katlı betonarme çerçeve bir yapı tasarlanmış ve bu çerçeve yapı farklı şekillerde çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiştir. Analizler kapsamında doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri gerçekleştirilerek yapıların elastik ötesi davranışları belirlenmiştir. Güçlendirilen betonarme yapılarla, mevcut yapı, doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre deprem davranışları açısından karşılaştırılmıştır. Böylelikle güçlendirilmiş yapıların davranışları belirlenmiş ve güçlendirmenin yapısal davranışa katkısı ortaya konulmuştur. Ayrıca farklı şekillerde güçlendirme uygulanarak en iyi güçlendirme şeklinin belirlenmesi de amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirilmiş Betonarme Yapılar, Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirme, Deprem Davranışı Değerlendirme.

ABSTRACT: *In the present study, the seismic behavior of reinforced concrete (R/C) frame structures strengthened with eccentric steel bracing is examined. In this aim, a R/C frame structure is designed and then strengthened with different eccentric steel bracings. The existing and the strengthened structures are analyzed using nonlinear static pushover analysis. Their structural behavior under earthquake effect is compared with each other. In the analyses, 10-story R/C frame structure is designed and this structure is strengthened with different types of strengthening bracings. Thus, the earthquake behavior is defined for the strengthened and existing structures. It is also aimed to determine the best strengthening way with steel bracings.*

Keywords: *Strengthened R/C Structures, Strengthening by Steel Bracing, Earthquake Behavior Evaluation.*

1. Giriş

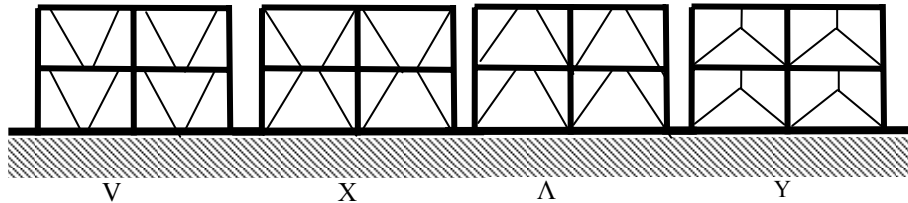
Yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi, performans seviyelerinin artırılması günümüz deprem mühendisliğinin önemli konuları arasındadır. Günümüzde mevcut yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla şekillerde güçlendirme uygulamak, deprem performansının artırılması amacıyla yaygın bir hale gelmiştir. Ülkemizde 1999 depremi sonrası mevcut yapı stokunun ne durumda olduğu ortaya çıkmıştır. Bu tarihten sonra birçok güçlendirme projesi yapılmış ve uygulanmıştır. Bu uygulamaların nasıl yapıldığı ve olası bir deprem sırasında güçlendirilmiş yapıların nasıl bir performans sunacağı konusunda endişeler vardır. Bu sebeple yapılan güçlendirmelerin çok iyi projelendirilmesi ve güçlendirmenin doğru şekilde yapılması şarttır (Altay ve ark., 2002).

Güçlendirilmiş yapıların elastik ötesi davranışlarındaki değişimin belirlenmesi, güçlendirme uygulamalarının ne kadar etkili olduğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (ATC 40, 1996; FEMA 356, 2000). Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin genel amacı belirli bir deprem yükü seviyesi için yapıdan istenen deprem davranışının gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin kontrolüdür (Li, 1996). Bu sebeple bu çalışmada yapı sistemlerinin güçlendirilmesini değerlendirmek amacıyla farklı şekillerde çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş yapıların doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi ve sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla doğrusal olmayan statik itme analizleri uygulanmıştır. Ülkemizdeki mevcut yapı tiplerinden sıkça karşılaşılan 10 katlı betonarme çerçeve bir yapı ele alınarak yapının deprem davranışının iyileştirilmesi amacıyla yapı çeşitli şekillerde çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş yapıların ve mevcut yapının doğrusal olmayan analizlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek güçlendirme şekilleri karşılaştırılmıştır.

2. Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi

Mevcut yapıların güçlendirilmesi konusu, günümüzün önemli konularındandır. Her geçen gün önemi artan bu konu ile ilgili gelişmeler yapılan araştırmalarla doğru orantılıdır. Mevcut yapıların farklı şekillerde güçlendirilmesi söz konusudur. Yapıların dayanımlarını artırılarak deprem performanslarının iyileştirilmesi için çeşitli uygulamalar literatürde mevcuttur. Betonarme yapıların çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi konusu da literatürde sıklıkla karşılaştığımız bir güçlendirme yöntemidir. Ayrıca çelik çapraz elemanlarla güçlendirme konusunda çeşitli deneysel çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalardan bazıları Pincheria (1995), Thornton (2001), Kawamata ve Ohnuma (1981), Maheri ve Sahebi (1997), Abou-Elfath ve Ghoborah (2000; 2001), Güneyisi ve Altay (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir.

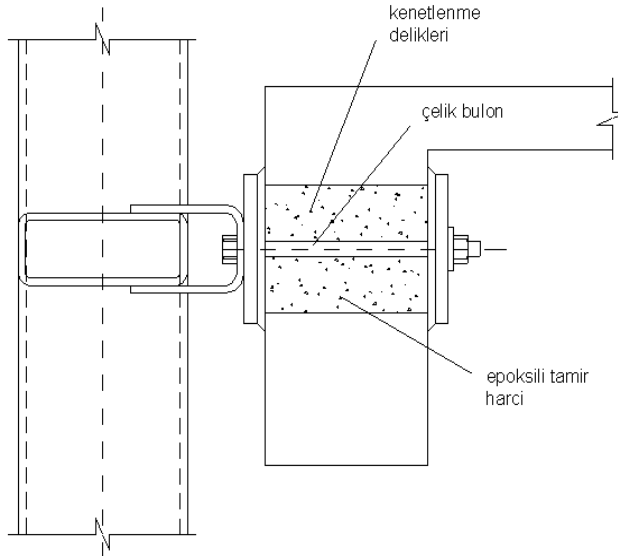
Bu çalışmalarda betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan çapraz elemanların kullanımı farklı şekillerde verilmiştir. Bunlardan en çok kullanılmakta olan güçlendirme amaçlı kullanılan çapraz elemanlar Şekil 1'de verilmiştir (Güneyisi, Altay, 2004). Bunlar V, X, Λ ve Y şeklinde yapılan çaprazlamalardır. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan biri de ülkemizde yürütülen bir proje çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2) (Kaplan ve ark., 2006). Yapılmış olan çalışmalar göstermiştir ki, betonarme yapıların güçlendirilmesinde çelik çapraz elemanların kullanılması oldukça iyi bir sonuç vermekte ve yapıların dayanımının artırılarak deprem davranışlarının iyileştirilmesinde olumlu etki yapmaktadır. Şekil 3'te çelik çapraz elemanın betonarme kirişe bağlanması için birleşim detayları verilmiştir (Celep, Kumbasar, 2000). Şekil 2 ve Şekil 3'te görüleceği üzere, betonarme yapıların çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi, detaylandırılması ve projelendirilmesi açısından gelişen teknoloji ile birlikte mümkün hale gelmiştir. Sağladığı deprem kapasitesi artışı göz önüne alındığında diğer güçlendirme yöntemlerinin yanında maliyetinin de uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Literatürde Mevcut Güçlendirme İçin Kullanılan Çelik Çaprazlamalar



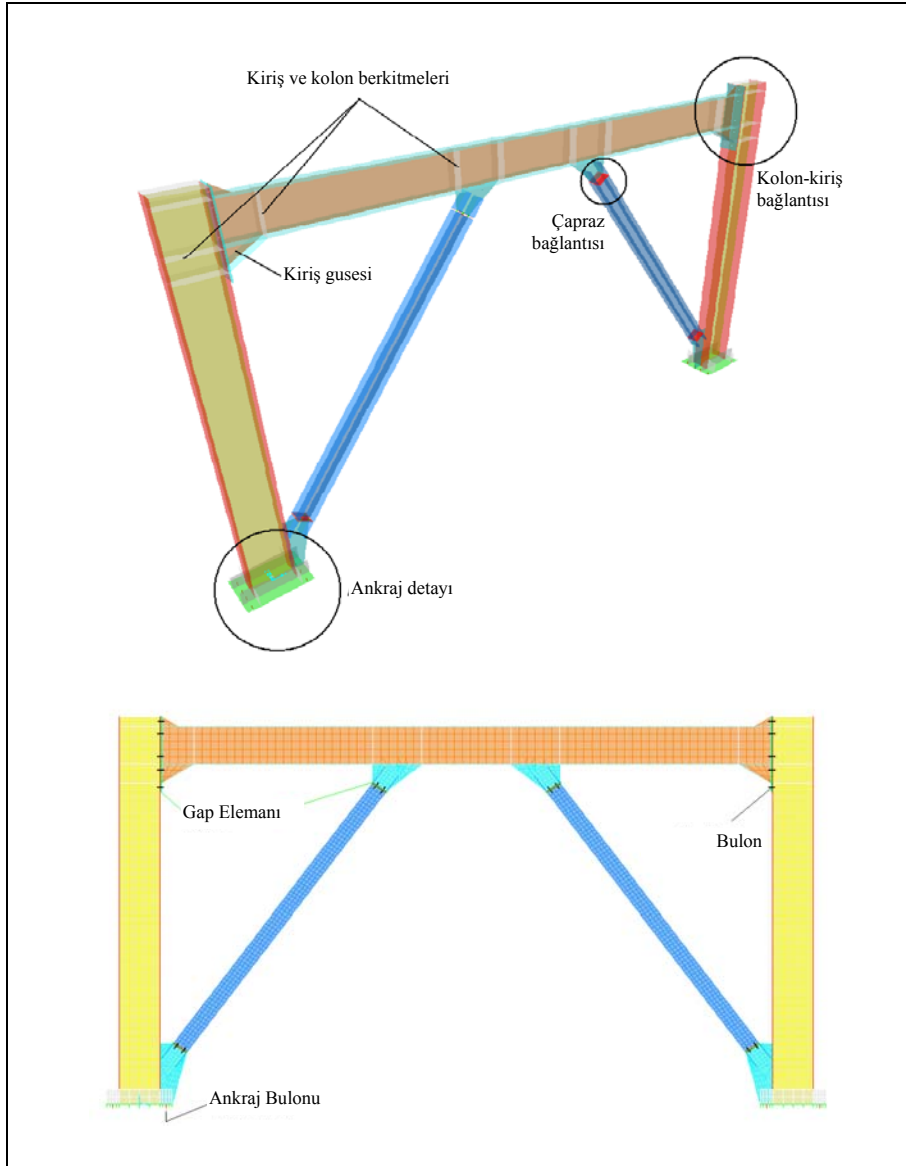
Şekil 2. Laboratuvar Ortamında Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Çerçeve ve Birleşim Detayı



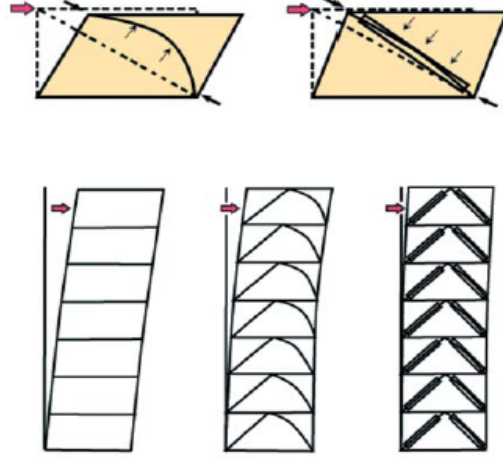
Şekil 3. Çelik Çapraz Elemanların Betonarme Kirişe Bağlanması Detayı

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde çelik çapraz elemanların kullanımında dikkat edilmesi gerekli olan önemli bir husus çerçeve modelinde, kolon-kiriş ve çapraz birleşimlerin tam ve doğru olarak modellenmesidir. Kolon-Kiriş birleşimi moment aktaran rijit bir birleşim olarak modellenmelidir. Birleşim noktasının bilgisayar programında nasıl modelleneceği çok önemlidir. Birleşimin tanımlanması sırasında düğüm noktasının karakteristik davranışı tam olarak temsil edilmelidir. Birleşim davranışı doğrusal olmaktan çıkıp doğrusal olmayan bölgeye geçmektedir.

Yapıların modellenmesi, genel görünüm ve düğüm noktaları açısından Şekil 4'te çerçeve sistemler üzerinde gösterilmiştir (TEM, 2005). Güçlendirilen yapı sistemlerinin yapısal performansındaki değişim Şekil 5'te gösterilmiştir (Piroğlu, 2005). Bu çalışmada ele alındığı haliyle betonarme bir yapının çelik elemanlar kullanılarak güçlendirilmesiyle ilgili bugüne kadar yapılmış çalışmalar göstermektedir ki bu tip bir model uygulamaya kolaylıkla aktarabilir.



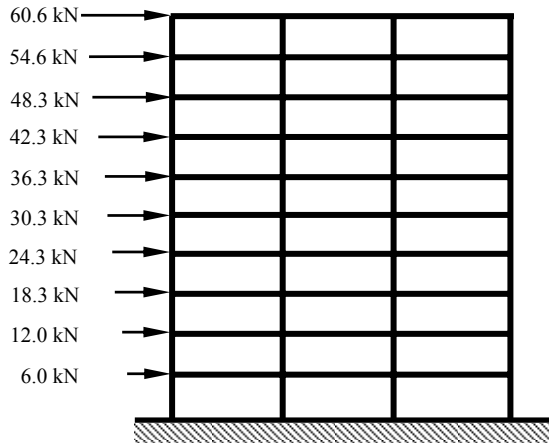
Şekil 4. Sistemin Genel Görünümü ve Düğüm Noktaları



Şekil 5. Çelik Çapraz Elemanların Yapı Performansına Etkisi

3. Örnek Betonarme Çerçeve Yapı

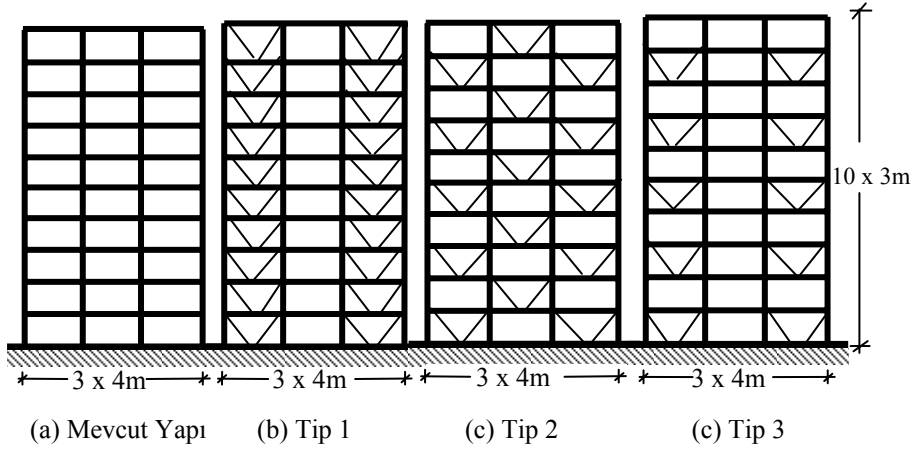
Analizlerde, ele alınan 10 katlı örnek betonarme çerçeve yapı TS500 ve ABYYHY 1998'e göre boyutlandırılmıştır (ABYYHY, 1998; TS500, 2000). Boyutlandırılması yapılan yapının farklı şekillerde çapraz elemanlarla güçlendirilmiştir. Çalışmada yapılar için esas alınan beton sınıfı C20, çelik sınıfı ise S420'dir. Yapı birinci derece deprem bölgesinde (etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.40$) olup, yapı önem katsayısı $I=1.0$ olarak alınmıştır. 10 katlı çerçeve süneklik düzeyi yüksek (taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$) olarak tasarlanmıştır. Zemin sınıfı olarak Z3 zemin sınıfı alınmıştır. Ayrıca boyutlandırmada, tüm kirişler üzerinde $g=7.83$ kN/m ölü yük, $q=2.67$ kN/m hareketli yük dikkate alınmıştır. Kat ağırlıkları $w_i=300$ kN (yapının toplam ağırlığı $W_i=3000$ kN) dikkate alınmış ve modal analiz sonucu 10 katlı çerçevenin elastik birinci doğal titreşim periyodu $T_1=0.70$ sn olarak hesaplanmıştır. İlk yedi kata ait kolon en kesit boyutları 60x60 cm, son üç kata ait kolon en kesit boyutları ise 50x50 cm, kiriş en kesit boyutları 30x60 cm olarak alınmıştır. Şekil 6'da yapının şematik gösterimi ve etkitilen yatay kuvvetler verilmiştir.



Şekil 6. Seçilen Örnek Çerçeve Yapının Şematik Gösterimi

4. Örnek Betonarme Çerçeve Yapının Güçlendirilmesi

Şekil 7’de gösterilen çerçeve sistem (a), 10 katlı 3 açıklıklı klasik bir yapıyı ifade etmektedir. Yapıda herhangi bir düzensizlik durumu mevcut değildir. Bu yapı Şekil 1’de verilmiş olan güçlendirme şekillerinden V tipi çapraz çelik elemanlar kullanılarak üç ayrı şekilde güçlendirilmiştir. Çalışmada amaçlanan bu üç tipten en uygun çaprazlama yerleştiriminin belirlenmesidir. Bu üç tip seçilirken, uygulama esasları göz önüne alınmış ekonomik sebepler ve işçilik de göz önünde tutularak olabilecek en az şekilde çapraz eleman kullanımı amaçlanmıştır. Şekil 7’de verilmiş olan tip 1’de (b) kenar açıklıklar çapraz elemanlarla güçlendirilmiş, tip 2’de (c) şaşırtmalı olarak her iki katta bir olmak üzere çaprazlama yapılmıştır. Tip 3’de (d) ise, sadece kenar açıklıklarda her iki katta bir güçlendirme yapılmıştır. Bu üç ayrı şekilde yapılan güçlendirme doğrusal olmayan analizle incelenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlardan elde edilen kapasite değerleri karşılaştırılmada kullanılmıştır.



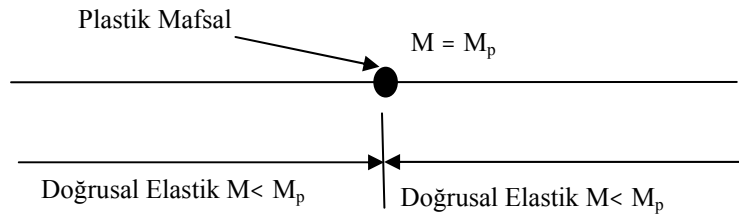
Şekil 7. Örnek Betonarme Çerçeve Yapı ve Uygulanan Güçlendirme Tipleri

5. Örnek Betonarme Çerçeve Yapının Doğrusal Olmayan Yapısal Analizleri

Doğrusal olmayan statik itme analizi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artırılmaktadır (Li, 1996, İrtem, Turker, 2002). Mevcut bir yapının seçilen bir depreme göre yer değiştirme talebi en doğru olarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik çözümleme ile belirlenebilir. Ancak bu yöntem oldukça karmaşık ve zor bir yöntemdir. Bu sebeple, mevcut yapıların performansının belirlenmesi için FEMA 356 basitleştirilmiş değişik yöntemler önermiştir. Bu yöntemlerden en çok tercih edileni Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizidir (FEMA 356, 2000). Yapıların yatay yük taşıma kapasitelerinin göstergesi olan kapasite eğrilerini elde edebilmek amacıyla, çalışmada ele alınan çerçevelerin sabit düşey yükler ve deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan analizleri DRAIN 2DX programı kullanılarak yapılmıştır (Prakash, 1993). Her

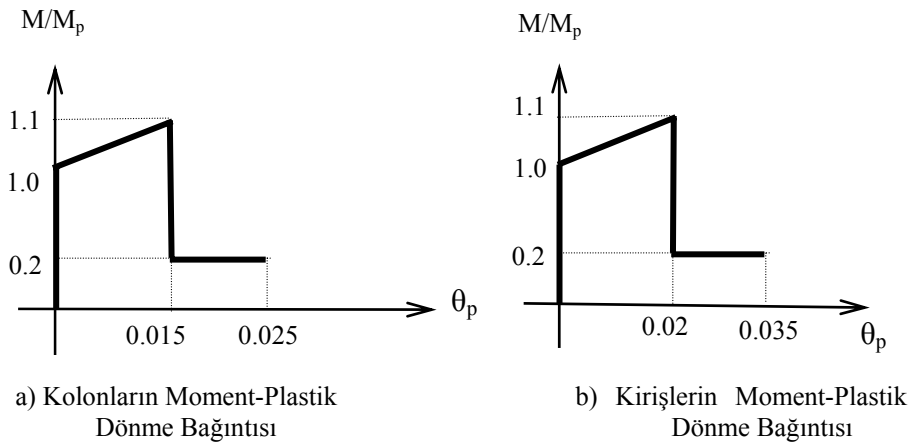
güçlendirme tipine ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen kapasite eğrilerindeki kapasite değişimi açısından yapılan karşılaştırma sonucu en iyi kapasite artışı gözlenen güçlendirme tipi en uygun güçlendirme tipi olmaktadır. Ancak ekonomik kaygılar, yaşanan zorluklar burada kısıtlayıcı rol oynamaktadır.

Çalışmada malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere plastik mafsal hipotezi kullanılmıştır. Buna göre, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır. Tek eksenli eğilme etkisindeki elemanlarda (kirişlerde) bu kabul şematik olarak Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Çubukta Oluşan Plastik Mafsalın Şematik Gösterimi

Çalışma kapsamında kullanılan yük dağılımı üçgen yük dağılımı olarak FEMA 356’den seçilmiştir (FEMA 356, 2000). Plastikleşmenin kirişlerde tek eksenli eğilme momenti etkisiyle, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşiminden meydana geldiği kabul edilmiştir. Elemanlara ait moment-plastik dönme bağıntısı pekleşen-rijit-plastik olarak kabul edilmiştir. Bu bağıntıya ait plastik dönme (M_p) ve maksimum plastik dönme (θ_p) değerleri için ATC 40’taki verilerden yararlanılmıştır (ATC 40, 1996). Şekil 9’da kolon ve kiriş elemanlara ait moment-plastik dönme ilişkisi gösterilmiştir (İrtem ve ark, 2005). Kolonlarda Moment plastik dönme ilişkisi kullanılan normal kuvvet etkisi DRAIN 2DX programında her bir kolondaki normal kuvvet değeri göz önüne alınarak hesaba katılmaktadır.

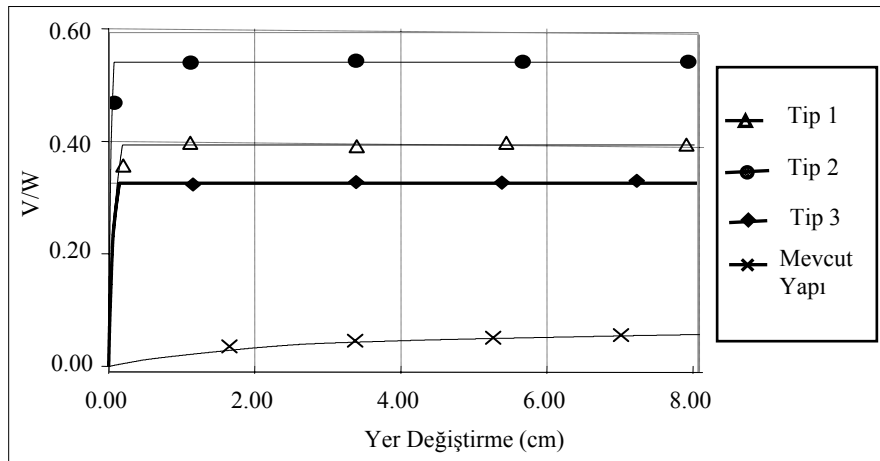


Şekil 9. Kolonların ve Kirişlerin Moment-Plastik Dönme M/M_p - θ_p Bağıntıları

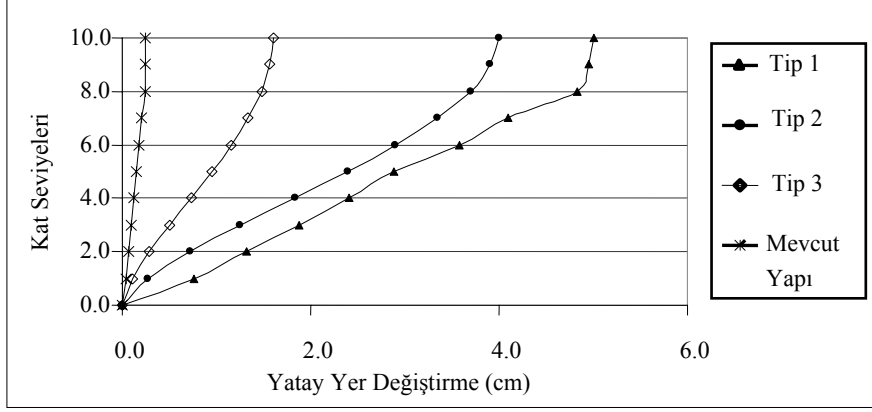
Kolon ve kiriş elemanlara ait çatlama kesit rijitlikleri için FEMA 356'da önerilen değerler kullanılmış buna göre kolon ve kirişler için çatlama kesit rijitlikleri olarak $0.5 E I_g$ alınmıştır (FEMA 356, 2000). DRAIN 2DX programı ile yapılan analizlerde çatlama kesit rijitliği dikkate alınmıştır (Prakash, 1993).

Binaya etkiyen yanal yüklere ilave olarak, çerçeveler, sabit ve hareketli yükler etkisi altındadır. Ayrıca itme analizinde $P-\Delta$ etkisi de dikkate alınmıştır. Çerçeve sistemi analiz etmek için kiriş ve kolon elemanlar kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan çerçevelerin kayma çerçevesi olduğu ve kirişlerin yatay düzlemde sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmıştır. Elastik olmayan etkiler eleman uç noktalarında düşünülen plastik mafsallar şeklinde tanımlanmıştır. Pekleşme tüm elemanlar için ihmal edilmiştir. ACI 318'de açıklanmış olan Eksenel Yük-Moment, P-M, ilişkisi kolon elemanın akma yüzeyi olarak kullanılmıştır (ACI 318, 2000). Bu çalışmada eğilme, kesme ve yanal deformasyonlar dikkate alınmıştır. Program, kesit özelliklerinin ve moment-eğrilik ilişkisinin dışarıdan verilmesini gerektirmektedir. DRAIN 2DX programında, betonarme kiriş ve kolon elemanların histeristik davranışları, eleman uç noktalarında tanımlanmıştır. Analizlerde Park malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model rijitlik ve dayanım azaltımını dikkate almaktadır. Farklı şekilde güçlendirme uygulanan yapı için statik analizler gerçekleştirilirken çelik çapraz elemanlar, çubuk eleman olarak tanımlanmış ve sistemin dayanımına etkisi doğrudan analizlere katılmıştır.

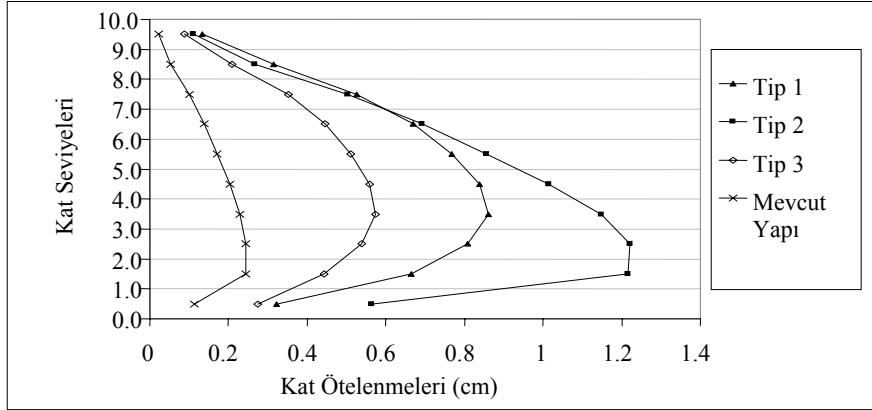
Şekil 10'da statik itme analizi sonucunda elde edilen statik itme eğrileri verilmiştir. Eğrilerin eğimindeki ilk değişimler, yapısal sistemdeki akma noktalarını göstermektedir. Analizlerde kiriş ve kolonların kesme dayanımları kontrol edilmiş ve kesme dayanımlarının sağlandığı belirlenmiştir. Statik itme analizleri sonucunda yapının güçlendirilmesinin ardından taşıma kapasitesinin iki katına kadar çıktığı görülmüştür. Böylelikle yapısal davranışın deprem sırasında iyileştirilmesi için güçlendirme işleminin doğru yapılırsa yapının kapasitesini oldukça artırdığı görülmektedir. Şekil 11'de örnek çerçeve yapıların yatay yer değiştirme değerleri ve Şekil 12'de de analizler sonucunda elde edilen göreceli kat ötelemeleri verilmiştir.



Şekil 10. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapıların Deprem Kapasitelerinin Karşılaştırılması



Şekil 11. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapıların Yatay Yer Değiştirme Taleplerinin Karşılaştırılması



Şekil 12. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapıların Göreli Kat Ötelemeleri Karşılaştırılması

6. Sonuçlar

Bugüne kadar meydana gelmiş olan depremler mevcut yapıların deprem performanslarının oldukça yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Bu sebeple mevcut yapıların güçlendirilmesi konusu oldukça önemli bir hale gelmiştir. Çok çeşitli güçlendirme şekillerinden bahsetmek mümkündür. Çelik çapraz elemanlarla betonarme yapıların güçlendirilmesi de günümüzde ekonomik ve deprem performansının artırılması açısından önemini koruyan bir yöntemdir. Ancak hiç şüphe yok ki, betonarme ve çelikten oluşan karma bir yapı meydana getirirken yapının arakesit düğümlerinde oluşan iç kuvvetlerin incelenerek bağlantılarının nasıl sağlanacağı ile ilgili de çalışmalar ortaya konmalıdır.

Bu çalışmada, betonarme yapıların güçlendirilmesinde çelik çapraz elemanlar ele alınarak yapının deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla mevcut sıradan yapı sistemlerini karakterize etmek amacıyla 10 katlı betonarme çerçeve yapı ele alınarak, bu yapıya çelik çapraz elemanlarla farklı şekillerde güçlendirme uygulanmıştır. Güçlendirilmiş yapı sistemlerinin mevcut yapı sistemine göre yapısal davranışındaki değişim incelenmiştir.

Çelik çapraz elemanların mevcut yapı üzerinde kullanılması, yapının iç kuvvet dengesini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu dağılımın nasıl değişeceği çelik çapraz elemanların nasıl ve ne şekilde yerleştirileceği ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle çok katlı betonarme yapılarda 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 olabilir.

Uygulamada Şekil 1’de verilmiş olan çapraz eleman çeşitlerinden V şeklinde çapraz elemanlar kullanılmıştır. Güçlendirilen ve mevcut yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizleri, DRAIN 2DX programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve statik itme eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca her sistem için yatay yer değiştirme ve görel kat ötelemeleri de belirlenmiştir. Tüm analiz sonuçları tüm yapılar için karşılaştırılmıştır.

Çelik çapraz elemanlarla güçlendirme yapılan betonarme çerçeve sistemlerin elastik olmayan davranışı için kabul edilen yük değerleri altında doğrusal olmayan statik itme analizi gerçekleştirilirken, üçgen (IBC, $k=1$) yük dağılımı kullanılmıştır. Bu analizler sonucu yapıların statik itme eğrileri, yatay yer değiştirme talepleri ve görel kat ötelemeleri elde edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapıların çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi yapı kapasitesini en az iki kat arttırmıştır. Yapıların güçlendirilmesi ile yapı kapasitesinde meydana gelen artış, güçlendirme yapıma şekline bağlı olarak değişmektedir. Şekil 10’da mevcut ve güçlendirilmiş yapıların deprem kapasitelerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Şekil 11’de de mevcut yapının ve güçlendirilmiş yapıların kat seviyelerine karşı gelen yatay yer değiştirme talepleri grafik olarak sunulmuştur. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi yer değiştirme talebinde de büyük değişiklikler meydana gelmektedir. Şekil 12’de mevcut ve güçlendirilmiş yapıların görel kat ötelemeleri karşılaştırılmış ve görel kat ötelemelerine göre meydana gelen kapasite farklılığı incelenmeye çalışılmıştır.

Şekil 10, 11 ve 12 incelendiğinde yapısal davranışın değişimi açıkça görülmektedir. Yapılar güçlendirme yapıldıktan sonra eski kapasitelerinin çok çok üzerlerine çıkabilmektedir.

Statik itme eğrilerini incelediğimizde Tip 2’nin en yüksek kapasiteye sahip olduğunu görmekteyiz. Mevcut yapıya güçlendirme uygulandığı takdirde kapasitede her hal için bir artış gözlenmektedir. Üç güçlendirme tipinin ortalaması alınacak olursa, mevcut yapıya göre güçlendirilmiş halin kapasiteyi 4 kat arttırdığı gözlenmiştir. Tip 2’deki artışın diğer güçlendirme tiplerine göre %50 daha fazla olduğu da görülmektedir. Bu, yapının güçlendirilmesi sırasında uygulanan çapraz elemanların yerleştirilmesiyle ilgilidir. Tip 2’de yapıya yerleştirilen çapraz elemanlar, kat hizalarınca şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir. Bu da yapının kapasitesinin artmasında önemli rol oynamıştır. Diğer yandan Tip 1’in yatay yer değiştirme talebi açısından daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Tip 3’ün kapasite, yatay yer değiştirme ve görel kat öteleme talepleri açısından daha düşük düzeyde kaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak, Tip 2, statik itme analizinde ve yapıların görel kat ötelemelerinde daha iyi performans gösterirken Tip 1 de yatay yer değiştirme talebi açısından daha iyi performans göstermektedir. Ancak üç tip içinden ekonomiklik kriterini de dikkate alarak en iyi güçlendirme şeklini seçmek istersek, Tip 2’nin hem performans hem de kapasite açısından daha uygun olduğunu görmüş olacağız.

Referanslar

- ABOU-ELFATH, H., GHOBORAH, A. (2000). Behaviour of reinforced concrete frames rehabilitated with concentric steel bracing. *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 27, pp.433-444.
- ABOU-ELFATH, H., GHOBORAH, A. (2001). Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing. *Engineering Structures*, vol. 23, pp.745-755.
- ABYYHY, *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*. (1998). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri, Ankara.
- ACI 318, *Building Code Requirements for R/C*. (2000). American Concrete Institute, Michigan, ABD.
- 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*. İstanbul.
- ATC 40, *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings* (1996). Applied Technology Council. Washington, DC., ABD.
- CELEP Z., KUMBASAR, N. (2000). *Deprem mühendisliği ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. 2. bs. Beta Yayınevi. İstanbul.
- FEMA 356, *Prestandart and comentary for the seismic design and rehabilitation of buildings: NEHRP guidelines*. (2000). Washington DC, ABD.
- GÜNEYİSİ, E.M., ALTAY, G. (2004). 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, İstanbul
- İRTEM, E., TURKER K. (2002). Yapıların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışının belirlenmesinde kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması. *Balıkesir Mühendislik Kongresi*, Balıkesir.
- İRTEM, E., TURKE, K., HASGÜL, U. (2005). Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi. *İTÜ Mühendislik Dergisi/d*, cilt 4, sayı 4.
- KAPLAN H., YILMAZ S., TAMA Y., GÖRGÜLÜ T., NOHUTÇU H., ATIMTAY E. (2006). Betonarme yapıların dış çelik perde ile güçlendirilmesi: deneysel çalışma. *YOGS Konferansı*. Denizli.
- 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. pp.262-269.
- Lİ, Y. (1996). *Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation*. Doktora Tezi, UT, Austin, TX. ABD
- MAHERI, M., SAHEBI, A. (1997). Use of steel bracing in reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, vol. 19, No. 12, pp.1018-1024.
- METE E. (2000). *Seismic evaluation of the retrofitted r/c buildings based on nonlinear static and dynamic analyses*. M.S. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi.
- PRAKASH, V., POWELL, G., CAMPBELL, S. (1993). *Drain 2d kullanım klavuzu V 1.10*. California Üniversitesi. Berkeley, CA, ABD.
- PINCHERIA, J., JIRSA, J. (1995). Seismic response of rc frames retrofitted with steel braces, *ASCE Journal of Structural Engineering*, vol. 5, pp.1224-1230.
- PİROĞLU, F., UZGİDER, E. (2005). Mevcut betonarme yapıların çelik malzeme ile güçlendirilme yöntemleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 436.
- TEM MÜHENDİSLİK, (2005). Çubuk elemanlı çerçevelerin kabuk eleman bölümlendirmeye çözümü. Nonlinear Örnek <http://www.comp-engineering.com/>.
- TS 500, (2000). *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. T.S.E, Ankara.
- WILLIAM, A. (2001). Seismic design of connections in concentrically braced frames, *Civil Engineering Corporation*, Roswell, Georgia, ABD.