

Deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için farklı güçlendirme önerilerinin karşılaştırılması

S. Özgür DEĞERTEKİN^{*1}, Haluk ŞİK²

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

²Büyükşehir Belediyesi, Fen İşleri Daire Başkanlığı, 21100, Diyarbakır

Makale Gönderme Tarihi: 04.07.2015

Makale Kabul Tarihi: 15.10.2015

Öz

Yüz ölçümünün büyük bölümü I. derece deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde bu duruma karşı yapılacak en önemli hazırlık, hayatlarımızı sürdürdüğümüz yapıların depreme dayanıklı olmasını sağlamaktır.

Yapıların depreme dayanıklı olmasında mevcut yönetmeliklere uygun projelendirilmesi ve projesine uygun inşa edilmesi en önemli etkenlerdir. Bununla birlikte yönetmeliklerin yeni gelişmeler gözönüne alınarak değişmesi sebebiyle önceki yönetmelikler esas alınarak inşa edilen binaların incelenmesi gerekebilmektedir. Bu kapsamda mevcut binaların taşıma kapasitelerinin artırılması için bazı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların tamamı güçlendirme olarak adlandırılmaktadır.

Güçlendirme yerleşim alanlarının tümünde uygulanması gerekebilecek bir ihtiyaçtır. Her yerleşim alanında kullanılan malzemeye bağlı olarak güçlendirme uygulamaları da çeşitlilik göstermektedir. Türkiye'deki mevcut yapıların büyük çoğunluğu betonarme bina olup yeni yapılan binaların çoğunluğu da betonarme olarak inşa edilmektedir.

Bu çalışmada, deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için Sta4CAD programı yardımıyla farklı güçlendirme önerileri sunulmuş ve her öneri için maliyet analizi OSKA yaklaşık maliyet hesaplama programı ile yapılmıştır. Bu önerilerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve mevcut binadan elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamaların sonucunda; bina dış akalarına ve iç akalarına perdelerin yerleştirildiği güçlendirme önerisinin rijitlik ve maliyet açısından daha uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme bina, deprem güvenliği, güçlendirme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: S. Özgür DEĞERTEKİN sozgurd@gmail.com; Tel: (412) 241 10 00 (3534)

Giriş

Güçlendirme ihtiyacının ortaya çıkmasındaki en önemli etkenler arasında; zamana bağlı yıpranma, uygun olmayan şartlarda beton üretimi, yapım aşamasında gerekli kontrollerin yapılmaması, bina temelinin oturduğu zeminde çökmelerin olması, binanın kullanım amacının değiştirilmesi, binaya sonradan bazı yapı elemanlarının eklenmesi veya binadan bazı elemanların çıkarılması, binanın depreme maruz kalması ve tasarım yönetmeliklerinin değişmesi sayılabilir. Mevcut yönetmelik koşullarını sağlamayan binaların yıkılıp tekrar inşa edilmesi bazı durumlarda ekonomik olmayabileceğinden, maliyetin makul olması durumunda güçlendirme tercih edilebilecek bir seçenektir.

Yürürlükte bulunan 'Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik' (DBYBHY, 2007) esaslarına göre mevcut binaların hizmet ömürleri boyunca en az bir defa şiddetli bir depreme maruz kalma olasılığı oldukça yüksek olup böyle bir depremde binanın göçmemesi ve can kayıplarının olmaması için güçlendirilme gerekebilmektedir.

Betonarme binaların güçlendirilmesi konusunda ulusal ve uluslararası birçok lisansüstü tez çalışması ve makale mevcut olup bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Ghobarah ve diğerleri (2000), "Betonarme kolonların güçlendirme stratejilerinin değerlendirilmesi", isimli çalışmalarında mevcut bir betonarme ofis binasının deprem performansını; lineer olmayan itme analiziyle performans eğrisini elde ederek değerlendirmişlerdir.

Çetinkaya (2002), "Betonarme yapı elemanlarının FRP malzemelerle onarım ve güçlendirilmesi", isimli çalışmada, betonarme yapı elemanlarının FRP (fiber retrofittingpolymer) kompozit malzemelerle onarım ve güçlendirilmesini incelemiştir. Çalışma sonucunda FRP kompozit malzemelerle yapılan onarım ve

güçlendirmenin betonarme elemanın taşıma gücünü önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

Rocha ve diğerleri (2004) "Betonarme çerçevelerin deprem güçlendirilmesi", isimli çalışmalarında, betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi konusunda farklı stratejilere ait nümerik simülasyonlardan elde edilen çözümleri deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda nümerik simülasyonlardan elde edilen sonuçlarla, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğunu belirlemişlerdir.

Hueste ve Bai (2007) "Kirişsiz döşemeli betonarme yapıların deprem güçlendirmesi", isimli çalışmada 1980'li yıllarda Amerika'da inşa edilmiş beş katlı betonarme ofis binasının deprem performansı değerlendirilmiştir. Performans kriterlerini sağlamayan binanın deprem performansını artırmak için deprem perdeleri ilavesi, kolon mantolama ve kolon plastik mafsallı bölgelerinin çelik levhalarla sarılması şeklinde üç farklı güçlendirme yöntemi kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda; binaya perde ilavesinin deprem performansını en fazla artıran güçlendirme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Gürol (2007) "Deprem dayanımı yetersiz betonarme binaları güçlendirme yöntemleri", başlıklı tez çalışmada farklı güçlendirme yöntemleri incelenmiş ve her bir güçlendirme yönteminin yapı davranışına etkisi literatürde yer alan çeşitli deneysel çalışmalar yardımıyla irdelenmiştir. Ayrıca öne sürülen güçlendirme yöntemlere ait uygulama detayları da verilmiştir.

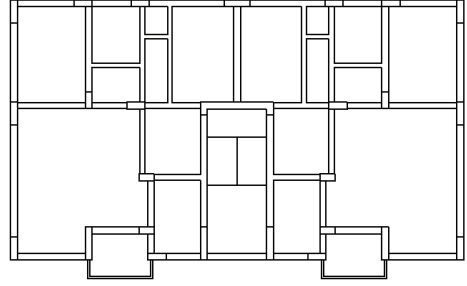
Özcan ve diğerleri (2010), çalışmalarında, sabit eksenel yük ve artan tersinir yanal yer değiştirme işlemleri altında ODTÜ'de test edilmiş 10 adet ve literatürden alınan 18 adet kolon deneyi sonuçlarına göre DBYBHY (2007)'nin tasarım yaklaşımı irdelenmiştir.

Baran ve diğerleri (2011), “Betonarme çerçevelerin öndökümlü beton panellerle deprem güçlendirmesi” isimli çalışmalarında; beton panellerle güçlendirme yönteminin betonarme çerçevelerin yanıl dayanım, başlangıç rijitliği ve düktilite özelliklerini arttırmada oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada; Şik (2014) tarafından detaylı biçimde incelenen bodrum+zemin+4 normal kat olmak üzere 1998 yılında Diyarbakır ili Eğil ilçesinde betonarme taşıyıcı sistem olarak inşa edilmiş Alparslan Lisesi Lojman binasına ait farklı güçlendirme önerileri karşılaştırılacaktır. Lojman binası ‘Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ (1997) esasları doğrultusunda inşa edilmiştir. Binanın DBYBHY (2007)’ye göre performansı belirlenerek konut tipi yapılarda sağlanması gereken Can Güvenliği performans seviyesini sağlamadığı tespit edilmiş, farklı güçlendirme önerileri sunulmuş Can Güvenliği performans düzeyine ulaşılması sağlanmıştır. Bu öneriler uygulanabilirlik ve maliyet gibi kriterler açısından birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Binanın geometrik ve malzeme özellikleri

Mevcut binaya ait kalıp aplikasyon planı Şekil 1’deki gibidir. Dikdörtgen bir plan geometrisine sahip binanın boyuna uzunluğu 19.80 m, enine uzunluğu ise 11.40 m’dir. Bina planda yaklaşık olarak 225 m² alan üzerine oturtulmuş olup kat yüksekliği tüm katlarda 2.72 m’dir. Plandaki şekli dikdörtgen olan taşıyıcı sistemde yükler 12 cm kalınlığında betonarme plak ile 20/60, 25/60 ve 30/60 en kesitli betonarme kirişler ve 30/80, 30/70, 30/65, 30/100 ve 30/150 kolonlara ve bodrum katta 30 cm genişliğinde perde duvarlara oradan da temellere aktarılmaktadır. Temel sistemi sürekli temel şeklinde yapılmış olup yüksekliği 90 cm’dir.



Şekil 1. Mevcut binaya ait kalıp aplikasyon planı

Mevcut binanın projesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığınca 1998 yılında inşa ettirilen tip proje olup proje ile ilgili detaylı bilgiler bakanlıktan temin edilmiştir. Yerinde yapılan ölçüm ve gözlemler sonucunda binanın taşıyıcı elemanlarının boyutlarının ve plandaki konumlarının statik projesine uygun olduğu doğrulanmıştır.

İnceleme tarihi itibarı ile pas payının sıyrılması sonucu yapılan gözlemlerde donatılarda korozyon etkisine rastlanmamış ve kat döşemelerinde sehim problemi görülmemiştir. Binada donatı olarak S220 (nervürsüz çelik) kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde pas payının sıyrılması neticesinde etriye sıklaştırılması yapılmadığı tespit edilmiştir. Tablo 1’de binadan alınan 18 adet karot numunesine ait beton basınç dayanım sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Mevcut binadan alınan karot numunelerine ait basınç dayanımı sonuçları

Numune no	Numune adı	Basınç dayanımı (MPa)
1	1. Kat 1 No' lukarot	12.36
2	1. Kat 2 No' lukarot	13.14
3	1. Kat 3 No' lukarot	13.04
4	2. Kat 1 No' lukarot	17.95
5	2. Kat 2 No' lukarot	9.51
6	2. Kat 3 No' lukarot	18.44
7	3. Kat 1 No' lukarot	15.98
8	3. Kat 2 No' lukarot	10.88
9	3. Kat 3 No' lukarot	13.14
10	4. Kat 1 No' lukarot	9.41
11	4. Kat 2 No' lukarot	12.06
12	4. Kat 3 No' lukarot	9.61
13	5. Kat 1 No' lukarot	10.69
14	5. Kat 2 No' lukarot	7.45
15	5. Kat 3 No' lukarot	9.81
16	6. Kat 1 No' lukarot	10.2
17	6. Kat 2 No' lukarot	9.90
18	6. Kat 3 No' lukarot	13.14

Tablo 1' de verilen karot numunelerine ait beton basınç dayanım sonuçları "Basınç Dayanımının Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini" (TS-EN13791, 2010) standardındaki esaslara göre hesaplanmış; ortalama dayanım: 12.04 MPa, standart sapma (σ_{n-1}): 2.99 MPa, ortalama standart sapma: 9.05 MPa, eşdeğer silindirik dayanımı: $0.85 \times 9.05 = 7.69$ MPa (C8 beton sınıfı) olarak elde edilmiştir.

Binanın mevcut durumunun değerlendirilmesi

Binanın mevcut durumu Sta4CAD V.13.1 (2013) "Yapı Analiz Programı" kullanılarak bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenmiş ve DBYBHY (2007) yönetmeliği esas alınarak statik ve dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan parametreler şu şekildedir: I. Derece deprem bölgesi için Etkin İvme Katsayısı $A_o=0.40$, Yapı önem katsayısı $I=1.0$ olarak alınmış, Z2 zemin sınıfı özellikleri kullanılmıştır. Elastisite modülü TS 500

(2000)'de verilen $E=3250\sqrt{f_{ck}}+14000$ (MPa) formülü ile hesaplanmıştır. Burada f_{ck} : mevcut beton basınç dayanımı olup, Tablo 1'de verilen karot numunelerine ait basınç dayanımı sonuçlarına göre 7.84 MPa olarak belirlenmiştir. Bina performans düzeyi: Can güvenliği durumu (CG), Taban kesme kuvveti katsayısı: 0.85, Bina bilgi düzeyi: Orta, Bilgi düzey katsayısı: 0.9, Deprem aşılma olasılığı: 50 yılda %10, Sargılama yapılmamış olarak alınmıştır. Statik analiz sonuçları $R=1.0$ kullanılarak elde edilmiştir. Yapı tipi katsayısı $R=4.0$, Hareketli yük katsayısı $n=0.3$, Zemin emniyet gerilmesi= 0.192 MPa'dır. Deprem hesabında mod süperpozisyonu yöntemi ile dinamik analiz yapılmıştır.

Binanın mevcut durumunun statik ve dinamik analizi yapılmış ve göçme bölgesi giriş hasar oranı %28.6 olarak elde edilmiştir. Bu oran ile DBYBHY (2007)'deki Can Güvenliği performans düzeyinin sağlanmadığı ve güçlendirmenin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen görelî kat ötelenme değerleri Tablo 2' de sunulmuştur.

Tablo 2. Mevcut bina için katlar arası görelî kat ötelenme değerleri

$$[\max(R.\Delta/h: MH < 0.01 < BH < 0.03 < IH < 0.04 < GB)]$$

KAT	h _i	X yönü R _x .Δ _x /h	Y yönü R _y .Δ _y /h
6	2.72	0.0047550 MH	0.0062894 MH
5	2.72	0.0059801 MH	0.0079669 MH
4	2.72	0.0066938 MH	0.0091518 MH
3	2.72	0.0066174 MH	0.0089855 MH
2	2.72	0.0046966 MH	0.0059489 MH
1	2.72	0.0002546 MH	0.0003946 MH

Bu tabloda, h_i : kat yüksekliğini; R_x ve R_y : x ve y doğrultusundaki taşıyıcı sistem davranış katsayılarını; Δ_x ve Δ_y : azaltılmış görelî kat ötelenmelerini; MH, BH, IH, ve GB sırasıyla minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme bölgelerini ifade etmektedir. Tablo 2'den mevcut binanın görelî kat ötelenme değerlerinin minimum hasar bölgesi için istenen üst sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir.

Mevcut binaya ait analiz sonucunda elde edilen performans raporuna ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1- Binanın düşey taşıyıcı elemanlarının planda simetrik olarak düzenlenmemesinin yanı sıra bu elemanların çoğunun eğilmede kuvvetli eksen, X eksenı doğrultusunda olmasından dolayı kiriş hasarlarının Y eksenı doğrultusunda olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde kolon kesme kuvvet etkisinin Y eksenı doğrultusunda daha fazla oranlarda olduğu tespit edilmiştir.

2-Kolonların taşıma gücü kapasitelerinin yetersiz kalmasından dolayı aşırı zorlanan kolonlar kuvvet dağılımı ilkesi gereğince kapasitelerini aşan yükleri komşu elemanlara aktarmaktadır. Bu durumun kiriş elemanlarında hasar oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir.

3-Analiz sonuçları değerlendirildiğinde DBYBHY (2007) madde 7.7.3 Can Güvenliği performans düzeyi kriterleri açısından;

a) Herhangi bir kattaki kirişlerin %30'undan fazlasının ileri hasar bölgesine geçmesine müsaade edilmez kuralına karşın ileri hasar bölgesindeki kiriş hasar yüzdeleri için en yüksek değerin X eksenı doğrultusunda 2. ve 3. katlarda % 33.3 olduğu, Y eksenı doğrultusunda ise 3. katta % 66.7 oranında olduğu belirlenmiştir.

b) İleri hasar bölgesinde kolonların her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olması gerekirken, bu oranın 2. kat X doğrultusunda %40.6ve 2. kat Y doğrultusunda %58.3 olduğu tespit edilmiştir.

4- Mevcut yapıya ait analiz sonuçlarından elde edilen düzensizlik değerlerinden Zemin, 1. ve 2. katlarda maksimum burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi}=1.09$ olduğu ve bu durumun $\pm X$ yönünde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Bina yüksekliği 25 m'den küçük, toplam kat sayısı 8'den az ve burulma düzensizliği katsayısı $n_{bi}<1.4$ olduğundan performans hesapları DBYBHY (2007) Bölüm 7.5'de

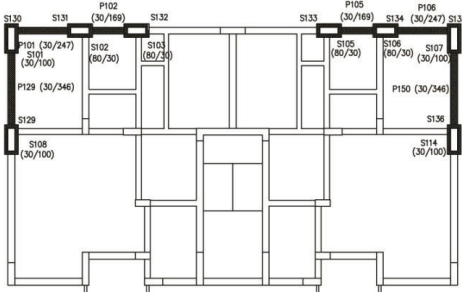
verilen Doğrusal Elastik Yöntemler ile belirlenmiştir.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığınca yaptırılan proje dosyasından zemin taşıma gücü 0.19 MPaolarak alınmıştır. Mevcut binaya ait performans sonuçlarından, bina mevcut temelinde meydana gelen gerilme 0.28 MPa olarak elde edilmiş ve bu değerin emniyet gerilmesi değerini aştığı belirlenmiştir. Bu durum, yapı temelinin mevcut durumunun yetersiz olduğunu göstermektedir. DBYBHY(2007)' de temel elemanlarda donatıların pas payı 5 cm olmak zorunda olmasından dolayı donatıların bu durumu dikkate alınarak, hesaplarda 40 cm'likradye temel eklenmiştir. Temel sistemi bütün çözüm önerilerinde aynı alınarak yapıya ait sonuçların daha doğru bir şekilde kıyaslanması sağlanmıştır. Üretim kolaylığı açısından beton sınıfı C25 seçilmiştir. Donatı olarak DBYBHY (2007)'ye uygun olarak S420 kullanılmıştır.

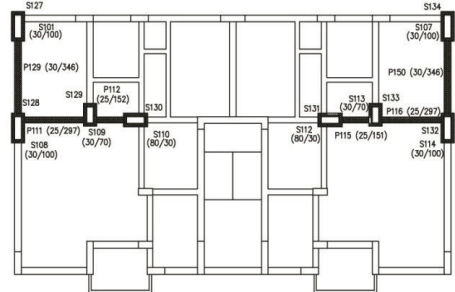
Çözümü yapılan bütün güçlendirme önerileri için; yapının mimari planının bozulmamasına dikkat edilmiştir. Bina temeli ve üst yapı ile ilgili detaylı çalışmalar yapılmış olup, binanın oturduğu zemine ilişkin çalışmaların uygun güçlendirme önerisinin seçiminden önce yapılmasının yerinde olacağı düşünülmektedir.

Güçlendirme önerileri

Mevcut binanın güçlendirilmesi için üç farklı öneri sunulacaktır. Birinci güçlendirme önerisi olarak; x ve y doğrultusundaki dış akslarda kiriş ve kolonlar DBYBHY (2007) Madde 7.7.3 kriterlerini sağlamadığından boşluklu perde elemanlar bu akslara simetrik olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Bu güçlendirme önerisine ait kalıp planı Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Birinci güçlendirme önerisi için kalıp aplikasyon planı



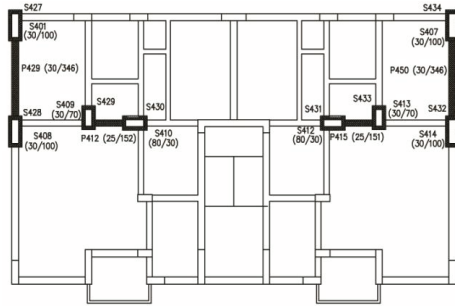
Şekil 3. İkinci güçlendirme önerisi için bodrum, zemin 1. ve 2. katlara ait kalıp aplikasyon planı

Bu öneri için Sta4CAD V13.1 (2013)'de yapılan üç boyutlu modellemeye ait analiz sonucunda Tablo 3'de verilen katlar arası görelî ötelenme değerlerinin DBYBHY (2007)'de Minimum Hasar Bölgesi için verilen 0.01 üst sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Elde edilen analiz sonuçlarından, girişlerde hasar oranı %11.8, kolon hasar oranının %0.6 oranında olduğu, bu değerlerin DBYBHY (2007) Can Güvenliği Performans düzeyi için verilen kriterleri sağladığı ve önerilen güçlendirmenin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. Birinci güçlendirme önerisi için katlar arası görelî ötelenme değerleri
[max(R.Δ/h: MH < 0.01 < BH < 0.03 < IH < 0.04 < GB)]

KAT	hi	X yönü Rx.Δx/h	Y yönü Ry.Δy/h
6	2.72	0.0021215 MH	0.0032022 MH
5	2.72	0.0025392 MH	0.0035262 MH
4	2.72	0.0028325 MH	0.0035424 MH
3	2.72	0.0028449 MH	0.0032557 MH
2	2.72	0.0022758 MH	0.0024549 MH
1	2.72	0.0003611 MH	0.0005221 MH

İkinci güçlendirme önerisi için Şekil 3'de 2. kata ait kalıp planı, Şekil 4'de ise 3. ve 4. katların kalıp planı verilmiştir.



Şekil 4. İkinci güçlendirme önerisi için 3. ve 4. katlara ait kalıp aplikasyon planı

Bu güçlendirme önerisinde birinci güçlendirme önerisinden farklı olarak dış aksta bulunan boşluklu perdeler iç akslara alınmış ve önceki çözüm önerisinde boşluklu olarak düzenlenen perdeler bu çözümde boşluksuz olarak modellenmiştir. Ayrıca beklenen performans sağlandığından iç aksa alınan bazı perdeler Şekil 4'de görüleceği üzere 3. ve 4. katlarda devam ettirilmemiştir.

İkinci güçlendirme önerisi için görelî kat ötelenme değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Tüm değerlerin minimum hasar bölgesi için 0.01 sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Bu öneriye ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde; giriş hasar oranı % 5.9, kolon hasar oranı % 0.3 olup DBYBHY (2007)'deki Can Güvenliği performans düzeyi kriterlerinin sağlandığı tespit edilmiştir.

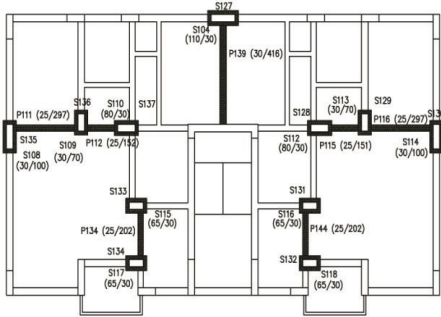
Tablo 4. İkinci güçlendirme önerisi için katlar arası görelî öteleme değerleri
[max(R. Δ /h: MH < 0.01 < BH < 0.03 < IH < 0.04 < GB]

KAT	hi	X yönü Rx.Ax/h	Y yönü Ry.Ay/h
6	2.72	0.0034753	MH 0.0034657
5	2.72	0.0036007	MH 0.0036508
4	2.72	0.0026360	MH 0.0036030
3	2.72	0.0024619	MH 0.0032659
2	2.72	0.0019370	MH 0.0024452
1	2.72	0.0002818	MH 0.0005158

Tablo 5. Üçüncü güçlendirme önerisi için katlar arası görelî öteleme değerleri
[max(R. Δ /h: MH < 0.01 < BH < 0.03 < IH < 0.04 < GB]

KAT	hi	X yönü Rx.Ax/h	Y yönü Ry.Ay/h
6	2.72	0.0026747	MH 0.0037020
5	2.72	0.0029621	MH 0.0040502
4	2.72	0.0030392	MH 0.0041300
3	2.72	0.0028215	MH 0.0037643
2	2.72	0.0020782	MH 0.0026429
1	2.72	0.0002996	MH 0.0004252

Üçüncü ve son güçlendirme önerisine ait kalıp aplikasyon planı Şekil 5'deki gibidir. Önceki çözüm önerilerinden farklı olarak burada perde elemanlar binanın iç kısımlarında kullanılmıştır.



Şekil 5. Üçüncü güçlendirme önerisi için kalıp aplikasyon planı

Bu öneriye ait analiz sonucunda elde edilen görelî kat ötelenme değerleri Tablo 5'de verilmiş olup, bu değerlerin minimum hasar bölgesi sınırının altındadır. Bu öneriye ait giriş hasar oranı %11.1, kolon hasar oranı %0.3 olup bu oranların Can Güvenliği Performans düzeyi için talep edilen oranları sağladığı belirlenmiştir.

Mevcut yapı yaklaşık maliyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: "Mimarlık Ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2014 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkındaki Tebliği" esas alınarak 748.271,70 TL (Yedi yüz kırk sekiz bin iki yüz yetmiş bir Türk Lirası) olarak hesaplanmıştır.Yapı Yaklaşık Maliyet Hesaplama programı OSKA (2013) yardımı ile birinci, ikinci ve üçüncü çözüm önerilerinin yaklaşık maliyetleri sırasıyla 207.331,74 TL, 208.291,29 TL ve 221.024,41 TL olarak elde edilmiştir.Bu yaklaşık maliyetlere göre birinci, ikinci ve üçüncü çözüm önerileri mevcut yapı yaklaşık maliyetinin sırasıyla %27, %28 ve %30'u mertebesindedir. Bu durum sunulan güçlendirilme önerilerinin maliyet açısından da kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir.

Sonuçlar

1- Mevcut yapının analizi sonucunda en büyük serbest titreşim periyodu;I. mod için $T_{1y}=0.6462$, II. mod için $T_{2x} = 0.5357$, III. mod için $T_{3\theta} = 0.4745$, birinci güçlendirme önerisinde; I. mod için $T_{1x}=0.3783$, II. mod için $T_{2y}= 0.3438$, III. mod için $T_{3\theta}=0.1790$, İkinci güçlendirme önerisinde; I. mod için $T_{1y}= 0.3459$, II. mod için $T_{2x}=0.3139$, III. mod için $T_{3\theta}=0.2327$, Üçüncü güçlendirme önerisinde; I. mod için $T_{1\theta} =0.4451$, II. mod için $T_{2y} = 0.3642$, III. mod için $T_{3x}=0.3106$. olarak tespit edilmiştir.

2- Görelî kat ötelemeleri incelendiğinde; Mevcut yapı için en büyük görelî kat ötelenmesi oranı $\Delta_{max}=0.0091518$; birinci, ikinci, üçüncü

güçlendirme önerileri için en büyük görelî kat ötelenmesi değerleri sırasıyla $\Delta_{1max}=0.0035424$, $\Delta_{2max}=0.0036508$ ve $\Delta_{3max}=0.0041300$ olarak elde edilmiştir. Yapı periyotları ve maksimum görelî kat ötelenme değerleri incelendiğinde güçlendirme önerilerinde hedeflenen daha rijit yapı elde etme amacına ulaşıldığı görülmektedir.

3- Perde taban moment oranı kontrolü yapıldığında; birinci güçlendirme önerisinde X yönü için 0.72, Y yönü için 0.81; ikinci güçlendirme önerisinde X yönü için 0.79, Y yönü için 0.80; ve üçüncü güçlendirme önerisinde X yönü için 0.80, Y yönü için 0.71 değerleri elde edilmiştir. Bu değerler güçlendirme önerilerinde her iki doğrultuda deprem kuvvetlerini karşılayacak yeterli sayıda perde duvar ilave edildiğini göstermektedir.

4- Tüm güçlendirme önerilerinde r =etki/kapasite oranlarının DBYBHY (2007) yönetmeliğindeki farklı hasar düzeylerine karşı gelen r sınır değerleriyle karşılaştırılarak performans seviyeleri belirlenmiş ve tüm elemanlar için etki/kapasite oranlarının (kirişler ve kolonlar) bina Can Güvenliği performans düzeyini sağladığı tespit edilmiştir.

5- Görelî kat ötelenme oranı açısından 1. güçlendirme önerisinin en uygun olduğu, burulma etkisi açısından, perde oranı yüksek olduğundan ve eklenen elemanların simetriğe yakın düzenlenmesinden dolayı 3. çözüm önerisinin en uygun olduğu, maliyet açısından ise 1. çözüm önerisinin az da olsa daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

6-Sunulan güçlendirme önerilerinin mimarisinin ve detayının uygulanabilir olmasına dikkat edilmiştir. Güçlendirme önerilerinde burulma düzensizliği bulunmamakla birlikte simetriğe yakın düzenlenmesi dolayısıyla 3. güçlendirme önerisinin burulma etkisi açısından en uygun güçlendirme önerisi olduğu açıktır.

7- İleride yapılacak güçlendirme çalışmalarında maliyetin yanında mimari ve güçlendirme detayı açısından uygun çözümlerin elde edilmesine ve

burulma etkilerinin minimuma indirgenmesine dikkat edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (1997). İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.
- Baran, M., Susay, M, Okuyucu, D. ve Tankut, T. (2011). Seismics trengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels, *Magazine of Concrete Research*, **63**, 5, 321-332.
- Çetinkaya, N., (2002). Betonarme Yapı Elemanlarının FRP Malzemelerle Onarım Ve Güçlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, PAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- DBYBHY (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalarhakkında yönetmelik.
- Ghobarah, A., El-Attar, M. Ve Aly N.M., (2000). Evaluation of retro fit strategies for reinforced concrete columns: a case study, *Engineering Structures*, **22**, 5, 490-501.
- Gürol, K.B., (2007). Deprem dayanımı yetersiz betonarme binaları güçlendirme yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Huesta, M.B.D. ve Bai J.W., (2007). Seismic retrofit of a reinforced concrete flat-slab structure: Part I- seismic performance evaluation, *Engineering Structures*, **29**, 6, 1165-1177.
- Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2014 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkındaki tebliğ, (2014).Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- OSKA yazılım (2013). Yapı yaklaşık maliyet analiz programı.
- Özcan, O., Binici, B. Ve Özcebe, G., (2010). Yetersiz betonarme kolonlar için lifli polimer güçlendirme tasarım kurallarının irdelenmesi, *Teknik Dergi*, **21**, 4, 5219-5239.
- Rocha, P., Delgado, P., Costa, A. ve Delgado, R., (2004). Seismic retrofit of RC frames, *Computers & Structures*, **82**, 17-19, 1523-1534.
- Sta4CAD V13.1 (2013). Yapı analiz programı.
- Şik, H., (2014). Deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için farklı güçlendirme önerilerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, DÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- TS 500, (2000). Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 13791 (2010). Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerinin yerinde tayini, Türk Standartları, Ankara.

Comparison of Different Retrofitting Proposals for a Reinforced Concrete Building with Inefficient Earthquake Safety

Extended abstract

The big portion of our country is in the earthquake zone and the most important preparation against to this situation is to construct the earthquake-resistant buildings.

The most important parameter for earthquake-resistant buildings is to construct them in accordance with existing specifications. However; we know that the specifications are continually updated depending on the novel developments. Therefore, the buildings constructed by using previous specifications should be also investigated again. In that context, some applications have been used to increase the strength of existing buildings are called as retrofitting.

Retrofitting is a necessity and its applications may be various by using different materials. Most of the existing buildings in Turkey have been constructed as reinforced concrete and this tradition is valid for the currently constructed buildings.

Among the important factors in the emergence of retrofitting necessity of existing buildings are the time-dependent corrosion of the buildings, concrete produced in unsuitable conditions, performing the checks insufficiently during the construction, consolidation on the building foundation, modification in occupancy of structural system, adding new structural members subsequently, removing some members from building and changing of design specifications.

Pulling down the existing buildings and rebuilding of them may be inappropriate for economic reasons. Therefore, retrofitting could be preferred providing that reasonable cost. According to 'Specification for Building to be Built in Seismic Zone (2007)', the probability of occurring a high-intensity earthquake for the existing buildings during their service life is so high. For this reason, retrofitting necessity could be inevitable for the structural safety.

There are lots of articles and theses in the subject of retrofitting of reinforced concrete structures. Some studies could be summarized as follows:

Ghobarah et al. (2000) investigated the earthquake performance of an existing office building. They obtained the performance curve by using non-linear pushover analysis.

Çetinkaya N. (2002) examined the retrofitting and strengthening of reinforced concrete structures using FRP (fiber retrofitting polymer) composite materials. It is demonstrated that the retrofitting and strengthening by using FRP increased the load carrying capacity of members of structures.

Rocha et al. (2004) presented different numerical simulations for retrofitting of reinforced concrete frame structures and the results obtained from the numerical simulations are compared to the results obtained from the experimental studies.

Hueste and Bai (2007) investigated the earthquake performance of five-story reinforced concrete office structure constructed in 1980s. Three different retrofitting proposals such as adding of shear walls, jacketing of columns, binding of plastic zone of columns by using steel plates are used to increase the earthquake performance and the results of these applications are compared to each other. The comparisons showed that the most appropriate proposal is the adding of shear walls.

Gürol K.B. (2007) evaluated different retrofitting strategies for reinforced concrete structures with inefficient earthquake structures. The influence of each retrofitting strategies to structure behaviour is investigated by using experimental studies existed in the literature. In addition, application details are given for the proposed strategies.

In this study, various retrofitting proposals are presented for a building with inefficient earthquake safety by using Sta4CAD structural analysis software and the cost analyses for each proposal are calculated by using OSKA approximate cost analysis software.

The results obtained from these proposals are compared to each other and the existing structure. The results showed that the retrofitting proposal including shear walls both outer and inner axes yielded more appropriate solution in terms of strength and cost.

Keywords: Reinforced concrete structure, earthquake safety, retrofitting.

mühendislik dergisi

