

ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ AFET YÖNETMELİĞİNE GÖRE TAYİNİ

Mehmet İNEL, Hüseyin BİLGİN, H. Baytan ÖZMEN

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı/Denizli

Geliş Tarihi : 03.07.2006

ÖZET

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde çok kısa denebilecek zaman aralıkları içerisinde yıkıcı depremler meydana gelmiş ve birçok betonarme yapı hasar görmüştür. Bu çalışmanın amacı, deprem riski yüksek olan ülkemiz yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan orta yükseklikteki betonarme binaların deprem performanslarını Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre değerlendirmektir. Orta katlı yapıları temsil etmesi için 4- ve 7-katlı 14 adet bina seçilmiştir. Yapısal parametreler belirlendikten sonra, her bir yapı statik itme analizine tabi tutulmuş, yapılara ait kapasite veya “artımsal itme analizi” eğrileri hesaplanmıştır. Deprem Yönetmeliği esas alınarak, hesaplanan kapasite eğrileri ışığında her bir yapıya ait deprem performansları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Betonarme yapılar, Deprem, Doğrusal ötesi statik itme analizi, Yapısal hasar.

SEISMIC EVALUATION OF EXISTING MID-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS ACCORDING TO SPECIFICATION FOR BUILDING STRUCTURES TO BE BUILT IN DISASTER AREAS

ABSTRACT

Over the past several decades, Turkey has been hit by devastating earthquakes and remarkable number of reinforced concrete buildings has been damaged in the high seismicity regions of our country. The aim of this study is to evaluate the seismic performance of the mid-rise reinforced concrete buildings that are major part of building stock of our earthquake-prone country, according to recent Turkish Earthquake Code. 4- and 7-story buildings were selected to represent mid-rise building stock. After determining the structural parameters, each building was subjected to pushover analysis and the capacity curves were obtained. Earthquake performance of each building was determined in the light of their capacity curves according to the recent Turkish Earthquake Code.

Key Words : Reinforced concrete structures, Earthquake, Nonlinear static analysis, Structural damage.

1. GİRİŞ

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde çok kısa denebilecek zaman aralıkları içerisinde yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu yıkıcı

depremler eski çağlardan beri büyük coğrafi değişikliklere ve zararlara sebep olmuştur. Geçtiğimiz son yüzyılda büyüklükleri 5 ve yukarısı olan yaklaşık 200 civarında deprem meydana gelmiş ve bu depremlerde 80.000’den fazla vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 500.000’den fazla bina ya

tamamen yıkılmış ya da büyük ölçüde hasara uğramıştır. Özellikle son 20 yılda yaşadığımız 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Kocaeli, 1999 Düzce ve son olarak da 2003 yılında meydana gelen Bingöl depremleri, ülke genelinde mevcut bina stoklarının deprem dayanıklılığının tespiti ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu depremlere

ait açıklayıcı bilgiler Tablo 1’de görülmektedir. Ülkemizde meydana gelen bu depremlerde, birçok betonarme konut yapısal özelliklerinin yetersizliklerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı önemli derecede hasar görmüş ve can kayıplarına neden olmuştur.

Tablo 1. Ülkemizde Son 20 Yılda Meydana Gelen Yıkıcı Depremler.

Tarih Gün/Ay/Yıl	Büyüklik (M_s)	Yer	Ölen Kişi Sayısı	Ağır hasarlı yapı sayısı	Enlem (N)	Boylam (E)	Derinlik (km)
13.03.1992	(M_s) = 6.8	Erzincan	653	6702	39.68	39.56	27
01.10.1995	(M_s) = 5.9	Dinar	94	4 909	38.18	30.02	24
27.06.1998	(M_s) = 5.9	Adana-Ceyhan	146	4 000	36.85	35.55	23
12.08.1999	(M_s) = 7.4	Kocaeli	15 000	50 000~100 000	40.70	29.91	20
12.11.1999	(M_w) = 7.2	Düzce	845	15 389	40.79	31.21	11
03.02.2002	(M_w) = 6.5	Afyon-S.Dağı	42	4 401	38.46	31.30	6
01.05.2003	(M_w) = 6.4	Bingöl	176	1 351	38.94	40.51	6

Türkiye’de orta ve büyük depremler altında büyük hasara uğraması muhtemel binlerce bina vardır (D’Ayala and Charleson, 2000). Kat sayısı 3 ile 8 arasında değişen yükseklikteki bu yapılara ait betonarme çerçevelerden teşkil edilmiş taşıyıcı sistemlerde, oldukça kötü detaylandırılmış malzeme ve kötü işçiliğe rastlanılmaktadır (Ascheim and Gülkan, 2000). Genel olarak yaşanan depremlerde gözlenen problemler, zemin katın yüksekliğinin artırılması veya zemin kattaki dolgu duvar miktarının üstteki katlara oranla az olması sebebiyle oluşan yumuşak kat, zayıf kolon-kuvvetli kiriş, ağır kapalı çıkmalar ve enine donatı aralığının öngörülenden çok fazla olması olarak sayılabilir.

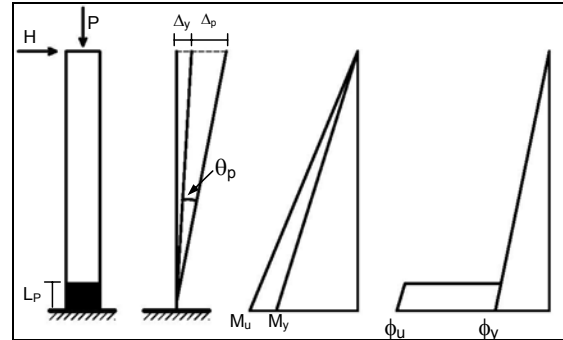
Ülkemizde 2005 yılı ortalarında taslak olarak gündeme gelen Afet Yönetmeliğine mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için yeni bir bölüm eklenmiş (Anon., 2005a), daha sonraki ikinci çalışmada Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te 7. bölüm olarak yayınlanmıştır (Anon., 2006). Bu çalışmada kullanılan binaların deprem güvenliği, son yönetmelikte verilen deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KULLANILAN YÖNTEM

Çalışmanın amacı, ülkemiz konut yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan orta katlı, özellikle konut yapılarının doğrusal ötesi davranışlarının dikkate alınmasıyla performans değerlendirmesini yapmaktır. Çalışmada farklı özelliklerde 14 adet bina seçilmiş ve uygulamada karşılaşılabilecek enine

donatı aralıklarının (etriye sıklıkları) dikkate alınması sonucu iki farklı enine donatı aralığı düşünülmüştür. Her bir binanın x ve y doğrultuları da dikkate alındığında toplam 56 adet model oluşturulmuştur. Doğrusal ötesi davranış, uygulama ve araştırma çevrelerinde yaygın olarak kullanılan artımsal itme analizi ile ifade edilmiştir.

Elemanlara ait doğrusal ötesi davranış parametreleri, bu davranışın eleman uçlarında yoğunlaşacağı varsayımına dayanan “yığılı plastik davranış hipotezi” kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 1).

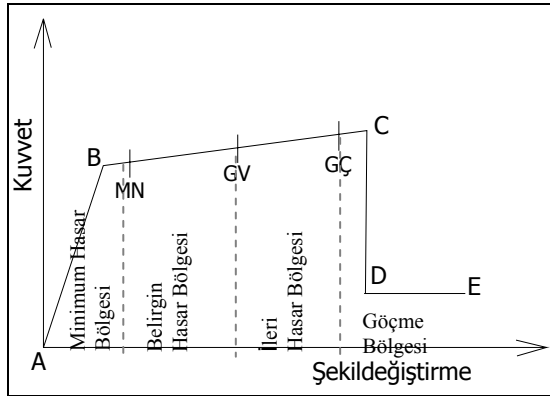


Şekil 1. Yığılı plastik davranış hipotezi.

Bu hipotez uyarınca kiriş, kolon türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılır. Eğilme davranışının hakim olması nedeniyle bu bölge plastik mafsallı boyu (L_p) olarak adlandırılır. Yığılı plastik davranış karakterize eden plastik mafsallı, bu bölgenin tam ortasında noktasal bir eleman olarak idealleştirilebilir. Tipik bir elemanın doğrusal ötesi davranışı Şekil 2’de gösterilen kuvvet-şekil

değiştirme eğrisi ile ifade edilebilir (Anon., 2000). Bir elemanın davranışının ifade edilebilmesi, B, C, ve E'nin belirlenmesi ile mümkün olur. Eleman uçlarında eğilme, kesme ve eksenel yük ile ilgili mafsallar tanımlanmıştır. Özellikle enine donatı aralığının yeterli sıklıkta olmadığı yapılarda kesme hasarlarının oluşabileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Artımsal itme analizi için oluşturulan modellerde ATC-40, FEMA-356 ve FEMA-440 (Anon., 1996; Anon., 2000; Anon., 2005b.) dokümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır (Anon., 2002). SAP2000'de her bir eleman için oluşturulan kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiş ve plastik mafsal özellikleri; eleman boyutları, boyuna ve enine donatı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, Geliştirilmiş Kent-Park beton modeli ile yapılmıştır (Scott et al., 1982). Artımsal itme analizinde kullanılan yüklem şekli, toplanmış kat kütleleri ve lineer dinamik analizden elde edilen mod şekliyle (x ve y yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır.



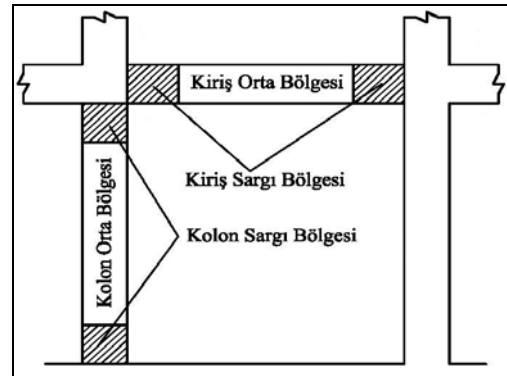
Şekil 2. Bir eleman için kuvvet-şekil değiştirme.

3. BİNALARA AİT TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında incelenecek olan yapısal eksikliklerin değerlendirilmesi amacıyla farklı yapısal özelliklere sahip yedisi 4 ve yedisi 7 katlı olmak üzere 14 adet farklı karakteristikte konut yapısı seçilmiş ve 1975 Afet Yönetmeliği dikkate alınarak Z3 sınıfı zemin üzerinde tasarlanmıştır. 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre tasarlanmış benzer kat planlarına sahip 4 ve 7 katlı binalar Türkiye yapı stokunda ağırlıklı bir yeri olması nedeniyle

seçilmişlerdir. Bu binalar arasında, hiçbir yapısal kusuru olmayan ve “referans” bina olarak adlandırılan, zemin katın diğer katlara oranla yüksek olduğu yumuşak katlı, kapalı çıkmalı, kısa kolonlu, hem kapalı çıkma hem de yumuşak katlı binalar bulunmaktadır.

Yapılarda döşeme kalınlığı 12 cm alınmış, normal katların fayans kaplı olduğu varsayılarak gerekli tesviye betonu ve diğer malzemeler ile birlikte 0.470 t/m² ölü ağırlık hesaplanmıştır. Çatı katında tesviye betonu öngörülmemekle birlikte yalıtım ve ahşap çatı örtüsü ile 0.450 t/m² ölü ağırlık hesaplanmıştır. Çatı kat hariç diğer tüm kirişlerin üstünde dolgu duvar olduğu varsayılmış ve bu yük kirişlere düzgün yayılı yük olarak etkilmiştir. Diğer yüklemeler TS 498'e (Anon., 1987) göre tanımlanmıştır. Yapıda bulunan döşemeler modellere dahil edilmemiş, bunun yerine kendi ağırlıkları ve üzerlerindeki yükler kirişlere yayılı yük olarak atanmış ve her kat seviyesinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Yapılara ait bazı tanımlayıcı özellikler Tablo 2'de görülmektedir. Modelleme ve analizde SAP2000 programı kullanılmıştır. Malzeme özellikleri olarak C16 beton sınıfı ve S220 çelik kullanılmış ve enine donatı aralığı olarak 1975 Afet Yönetmeliğini temsil etmesi itibarıyla 10 cm ve olumsuz durumu yansıtabilmesi için 20 cm olarak dikkate alınmıştır. Her bir yapının 3-boyutlu modelleri hazırlanmıştır. Sistemin doğrusal ötesi davranışı her bir elemanın doğrusal ötesi davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Betonarme elemanlar en büyük kesit tesirlerine uç bölgelerde maruz kalmaktadır. Bu nedenle hasar ve dolayısıyla da doğrusal ötesi davranışın yoğunlaştığı bölgeler buralarda oluşmaktadır. Bu sebeple plastik mafsallar, literatürde enine donatı sıklaştırılma şartı bulunmasından dolayı sargı bölgesi olarak da adlandırılan bu bölgelerde tanımlanmaktadır (Şekil 3). Plastik mafsalların tanımlanmasında sözü edilen enine donatı aralıkları bu bölgeler içindir.



Şekil 3. Kolon ve kiriş elemanlarda sargılama bölgeleri.

4. ANALİTİK MODELLEMEDE KULLANILAN TASARIM PARAMETRELERİ

Plastik mafsallık özellikleri, kesitte bulunan boyuna ve enine donatı miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Moment-eğrilik hesabında kirişlerde eksenel yük sıfır alınmıştır. Kolon elemanlarda ise, ölü yükler ve azaltılmış (Yönetmelikte öngörülen hareketli yük azaltma katsayısı dikkate alınarak) hareketli yüklerin toplamından oluşan eksenel yük miktarı dikkate alınmıştır. S220 sınıfı için yaygın kullanılan ikinci derece parabolik σ - ϵ modeli esas alınmıştır. Pekleşmeli ikinci derece parabolik modelde pekleşmenin başladığı şekil değiştirme değeri 0.01 kabul edilmiştir. Plastik mafsallık boyalarının hesabında (1) numaralı denklem kullanılmıştır (Priestley et al., 1996);

$$L_p = 0.08 L_0 + 0.022 f_{sy} d_b - 0.044 f_{sy} d_b \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Tablo 2. Binalara Ait Karakteristik Özellikler.

4 Katlı Binalar					7 Katlı Binalar				
Bina No	W _{sismik} (ton)	T (sn)		H _N (m)	Bina No	W _{sismik} (ton)	T (sn)		H _N (m)
		X	Y				X	Y	
1	862	0.57	0.56	11.2	8	1723	0.78	0.78	19.6
2	948	0.63	0.58	11.2	9	1730	0.87	0.82	20.8
3	1017	0.68	0.61	11.2	10	1898	0.94	0.85	19.6
4	866	0.70	0.69	12.4	11	2040	0.88	0.82	19.6
5	966	0.80	0.73	12.4	12	1925	0.98	0.92	20.8
6	1036	0.80	0.76	12.4	13	2067	1.06	0.95	20.8
7	879	0.54	0.48	11.2	14	1728	0.74	0.74	19.6

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yh} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2)$$

Deplasman kapasitesinin belirlenmesinde dolaylı olarak etkili olan moment taşıma kapasitesindeki ciddi düşüşler ek kriter olarak alınmıştır. “C” noktasının tanımlanmasında moment kriteri olarak, moment kapasitesindeki düşüş % 30, “E” noktasında bu azalma % 40 olarak sınırlandırılmıştır.

Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları da tanımlanmıştır. Kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanlar kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme

4. 1. Moment Mafsallarının Tanımlanması

SAP2000 programında mafsallar Şekil 2’de tanımlanan kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi üzerinde idealleştirilen beş nokta ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, kolon ve kirişler için; kesitin akma noktası olan “B” noktası, M- ϕ grafiğinin eğiminden, “C”, “D” ve “E” noktaları da beton basınç-şekil değiştirme ve çekme donatısındaki şekil değiştirme değeriyle tanımlanmıştır. Beton basınç deformasyonu (ϵ_{cu}) kriteri için, en üst çekirdek beton lifi şekil değiştirme değerinin hesaplanması için önerilen ve kabul görmüş (2) nolu formül kullanılmıştır (Priestley et al., 1996). Ayrıca beton basınç şekil değiştirme değerinin “C” noktası için, 0.02 ve “E” noktası için de, 0.03 değerini aşmaması ek kriter olarak eklenmiştir. Kolon ve kiriş elemanlarda donatı çekme deformasyonları için iki değişik sınır dikkate alınmıştır. Kolon ve kirişlerde “C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekil değiştirme kapasitesinin % 50’sine ($0.5\epsilon_{cu}$) ulaşmasına izin verilmiştir (Priestley, 2000). Her iki eleman için de, herhangi bir donatının kopması ($\epsilon_s = \epsilon_{su}$) “E” noktası olarak kabul edilmiştir.

kapasiteleri TS500’ e göre hesaplanmıştır (Anon., 2000).

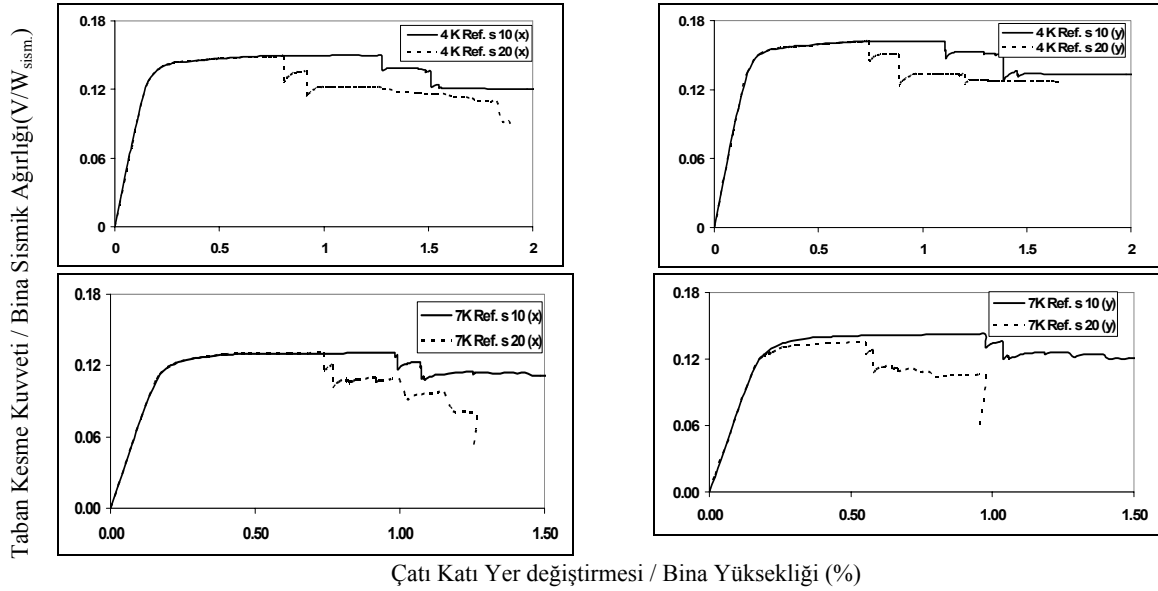
Binalara ait deprem performansı değerlendirmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kriterleri esas alınmıştır (Anon., 2006). Plastik şekil değiştirmenin % 10’u Minimum Hasar Sınırı (MN), % 60’ı Güvenlik Sınırı (GV) ve %90’ı da Göçme Sınırı (GÇ) olarak ifade edilmiştir. Söz konusu sınırlar Şekil 2’de gösterilen tipik eleman için doğrusal ötesi kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi üzerinde işaretlenmiştir.

5. ARTIMSAL İTME (PUSHOVER) ANALİZİ

Yapıların yatay yükler altındaki davranış özelliklerinin ve performans seviyelerinin belirlenmesine yönelik yapılan artımsal itme (pushover) analizleri, genel olarak yapıda adım adım artırılan yanıl yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değişiminin yapı elemanlarındaki elastik olmayan davranış özellikleri dikkate alınarak hesaplandığı ve bu hesapların belli performans seviye değerleri için tarif edildiği sayısal bir inceleme yöntemidir. Artımsal itme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesi ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle karakterize edilir. Pratikte kullanımı ve mühendisler arasında aşinalığı

nedeniyle kapasite eğrisi performans değerlendirmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Artımsal itme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve doğrusal dinamik analizden elde edilen mod şekliyle (x ve y yönlerinde) orantılı olarak ikinci mertbe etkilerinin de dikkate alınmasıyla kat hizalarında uygulanmıştır. Şekil 4'te 4 ve 7 katlı referans yapılar için kapasite eğrileri verilmiştir. Şekillerde düşey ve yatay eksenin daha anlaşılır olması için taban kesme ve çatı katı yer değiştirmesi yerine, taban kesme kuvveti sismik ağırlık, çatı katı yer değiştirmesi de bina yüksekliği ile normalize edilmiştir.



Şekil 4. 4 katlı (4K) ve 7 katlı (7K) binalara ait 10 ve 20 cm. enine donatı aralıkları için x- ve y- yönleri kapasite eğrileri.

6. PERFORMANS HESABI

Özellikle son 20 yıl içerisinde meydana gelen yıkıcı depremlerden sonra yapılan binaların belirli standartlarda olması için kurallar getirilmeye çalışılmış ve bunlar afet yönetmeliklerinde ortaya konulmuştur. Teknoloji geliştikçe ve depremlerden dolayı meydana gelen can ve mal kayıpları yanında elde edilen tecrübeler arttıkça bu yönetmelikler değiştirilmiştir. Ülkemizde de 1997 yılında yenilenen Afet Yönetmeliği (Anon., 1997) 2005 yılı ortalarında taslak olarak tekrar düzenlenmiş ve 2006 yılında tekrar revize edilmiş ve resmi gazetede yayınlanmıştır (Anon., 2006).

2006 yılında revize edilen yönetmeliğe göre binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Bunlar; Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçmenin Önlenmesi (GÖ) ve Göçme durumlarıdır. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda; tanımlanan performans seviyeleri Tablo 3'te özetlenmiştir (Anon., 2006).

Artımsal itme analizi sonuçları ile Tablo 3'te verilen performans kriterleri kullanılarak her bir bina için tanımları yapılan performans seviyelerine karşılık gelen deplasman kapasiteleri elde edilmiştir. Yer

değiştirme kapasitesi olarak çatı katı yer değiştirmesi kullanılmış ve bu yer değiştirmenin

bina yüksekliği ile normalize edilmiş değerleri Tablo 4 ve 5'te verilmektedir.

Tablo 3. Yönetmelik Performans Kriterleri ve Tanımları (Anon., 2006).

Performans Seviyesi	Performans Kriterleri
Hemen Kullanım (HK)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kirişlerin en fazla % 10'u MN-GV aralığında olmalıdır. 2. Hiç bir düşey taşıyıcı eleman MN seviyesini geçmemelidir. 3. Hiç bir kiriş eleman GV seviyesini geçmemelidir. 4. Kat görelî ötelenmesi % 0.8 değerini aşmamalıdır.
Can Güvenliği (CG)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kirişlerin en fazla % 20'si GV-GÇ aralığını geçebilir. 2) GV-GÇ aralığında düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki kat kesmesine oranı % 20'yi aşmamalıdır. Bu oran çatı katında % 40'ı geçmemelidir. 3) Her iki ucu akmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin % 30'unu aşmamalıdır. 4) Kat görelî ötelenmesi % 2 değerini aşmamalıdır
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kirişlerin en fazla % 20'si GÇ'yi geçebilmektedir. 2) GÇ'yi geçmiş düşey taşıyıcıların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin % 20'sini aşmamalıdır. Bu oran çatı katında en fazla % 40 olabilir. 3) Her iki ucu akmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin % 30'unu aşmamalıdır. 4) Kat görelî ötelenmesi % 3 değerini aşmamalıdır.
Göçme Durumu	<ol style="list-style-type: none"> 1. Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

Tablo 4. 4 Katlı Binalara Ait Performans Seviyeleri.

Kat	Bina No/ Etriye Aralığı (cm)	V/W _{sis}	Çatı katı görelî yer değiştirme oranı, %			
			HK	CG	GÖ	
4-katlı (x-yönü)	1	10	0.147	0.28	0.68	1.28
		20	0.143	0.25	0.46	0.81
	2	10	0.132	0.28	0.72	1.29
		20	0.131	0.20	0.44	0.81
	3	10	0.112	0.33	0.80	1.42
		20	0.132	0.21	0.44	0.75
	4	10	0.126	0.21	0.69	1.28
		20	0.124	0.19	0.41	0.80
	5	10	0.112	0.22	0.71	1.30
		20	0.112	0.16	0.42	0.80
	6	10	0.099	0.25	0.77	1.46
		20	0.110	0.17	0.40	0.76
	7	10	0.134	0.07	0.07	1.36
		20	0.133	0.06	0.07	0.84
4-katlı (y-yönü)	1	10	0.158	0.28	0.66	1.11
		20	0.156	0.22	0.43	0.74
	2	10	0.156	0.25	0.62	1.07
		20	0.153	0.22	0.38	0.70
	3	10	0.145	0.23	0.63	1.07
		20	0.150	0.21	0.42	0.70
	4	10	0.131	0.21	0.62	1.16
		20	0.117	0.17	0.36	0.71
	5	10	0.129	0.21	0.59	1.05
		20	0.124	0.18	0.36	0.69
	6	10	0.118	0.20	0.61	1.06
		20	0.121	0.18	0.38	0.71
	7	10	0.139	0.06	0.06	1.14
		20	0.141	0.06	0.06	0.74

Tablo 5. 7 Katlı Binalara Ait Performans Seviyeleri.

Kat	Bina No/ Etriye Aralığı (cm)	V/W _{sis}	Çatı katı görelî yer değiştirme oranı, %			
			HK	CG	GÖ	
7-katlı (x-yönü)	1	10	0.128	0.36	0.68	0.99
		20	0.126	0.28	0.51	0.74
	2	10	0.115	0.35	0.68	0.99
		20	0.115	0.29	0.52	0.75
	3	10	0.114	0.34	0.61	0.92
		20	0.114	0.28	0.47	0.67
	4	10	0.117	0.19	0.41	0.72
		20	0.114	0.17	0.27	0.48
	5	10	0.104	0.20	0.44	0.73
		20	0.104	0.17	0.31	0.51
	6	10	0.104	0.20	0.42	0.70
		20	0.101	0.17	0.30	0.47
	7	10	0.124	0.08	0.08	0.98
		20	0.123	0.08	0.08	0.70
7-katlı (y-yönü)	1	10	0.140	0.31	0.61	0.98
		20	0.130	0.18	0.37	0.55
	2	10	0.129	0.32	0.55	0.80
		20	0.122	0.16	0.37	0.51
	3	10	0.124	0.25	0.54	0.77
		20	0.115	0.17	0.33	0.49
	4	10	0.121	0.19	0.36	0.64
		20	0.110	0.13	0.25	0.42
	5	10	0.114	0.19	0.37	0.55
		20	0.104	0.15	0.26	0.40
	6	10	0.108	0.19	0.37	0.56
		20	0.099	0.15	0.28	0.39
	7	10	0.1285	0.08	0.08	0.95
		20	0.1238	0.08	0.08	0.55

7. DEPREM YÖNETMELİĞİ (2006)'YA GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

2006 yılında yayımlanan yönetmelikte üç performans düzeyi hedeflenmiştir: (1) sık olan depremlerde (50 yılda aşılma olasılığı % 50) Hemen Kullanım (HK), (2) orta sıklıkta oluşan orta büyüklükteki depremlerde (50 yılda aşılma olasılığı % 10) Can Güvenliği (CG) ve ender olan depremlerde (50 yılda aşılma olasılığı % 2) kriterlerinin sağlanması. Final Yönetmelikte konut yapıları için CG durumu hedeflenmekle birlikte, bu çalışmada diğer durumların da (HK, GÖ) hangi seviyelere karşı geldiği hesaplanmıştır. Sık ve ender olan depremler şu an kullanılmakta olan 1997

Afet Yönetmeliğinde (Anon., 1997) tanımlanan talep spektrumunun yarısı ve 1.5 katı olarak alınmıştır. Talepler elde edilirken bina önem katsayısı uygulanmamıştır.

Artımsal itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ile performans düzeylerine karşı gelen deprem talepleri kullanılarak yer değiştirme istemleri 2006 yılında yayımlanan Deprem Yönetmeliği'nin 7. Bölümüne göre belirlenmiştir (Anon., 2006). Bunun için binaların göz önüne alınan yönlerdeki birinci mod periyotlarının hakim periyot olduğu kabulü yapılmıştır. 4 ve 7 katlı yapılara ait elde edilen yer değiştirme istemleri sırasıyla Tablo 6 ve 7'de özetlenmiştir.

Tablo 6. 4 Katlı Binalara Ait “HK”, “CG” ve “GÖ” Durumları İçin Yer Değiştirme İstemleri.

Bina No	Yön	PF ₁	α_1	Performans Noktası, $\Delta_{\text{çatı}} / H_{\text{bina}}$ (%)		
				HK	CG	GÖ
1	X	1.32	0.83	0.65	1.30	1.95
	Y	1.32	0.83	0.64	1.27	1.91
2	X	1.35	0.83	0.71	1.41	2.12
	Y	1.31	0.83	0.62	1.24	1.85
3	X	1.34	0.84	0.82	1.64	2.45
	Y	1.32	0.83	0.64	1.28	1.93
4	X	1.26	0.93	0.66	1.32	1.99
	Y	1.25	0.93	0.65	1.30	1.94
5	X	1.26	0.93	0.71	1.42	2.13
	Y	1.25	0.93	0.69	1.38	2.08
6	X	1.26	0.93	0.81	1.62	2.44
	Y	1.25	0.93	0.72	1.44	2.17
7	X	1.32	0.72	0.78	1.57	2.35
	Y	1.32	0.72	0.78	1.57	2.35

Burada; PF₁, birinci moduna ait modal katılım faktörü; α_1 ise birinci moda ait kütle katılım oranıdır.

Göz önüne alınan 14 binanın her iki yönü için hesaplanan 28 deprem isteminin, yapıların 10 ve 20 cm enine donatı aralıklarına sahip olması hali dikkate alınarak toplam 56 durum için performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 4-7 incelendiğinde, hiçbir bina hiçbir performans durumu için yönetmelikçe öngörülen yer değiştirme istemlerini karşılayamamaktadır.

Tablo 7. 7 Katlı Binalara Ait “HK”, “CG” ve “GÖ” Durumları İçin Yer Değiştirme İstemleri.

Bina No	Yön	PF ₁	α_1	Performans Noktası, $\Delta_{\text{çatı}} / H_{\text{bina}}$ (%)		
				HK	CG	GÖ
1	X	1.37	0.77	0.61	1.22	1.83
	Y	1.37	0.77	0.61	1.22	1.83
2	X	1.41	0.77	0.67	1.34	2.01
	Y	1.38	0.77	0.61	1.21	1.82
3	X	1.38	0.77	0.62	1.24	1.86
	Y	1.39	0.77	0.63	1.26	1.89
4	X	1.35	0.86	0.61	1.22	1.82
	Y	1.36	0.85	0.61	1.22	1.82
5	X	1.35	0.86	0.65	1.30	1.95
	Y	1.36	0.86	0.65	1.30	1.95
6	X	1.35	0.86	0.67	1.35	2.02
	Y	1.36	0.86	0.68	1.35	2.03
7	X	1.37	0.72	0.59	1.18	1.77
	Y	1.42	0.77	0.61	1.22	1.83

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1975'e (Anon., 1975) göre tasarlanmış, 4 ve 7 kattan oluşan toplam 14 adet konut yapısına ait projeler incelenmiştir. Bu projelerin incelenmesinde 2006 Deprem Yönetmeliği “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” bölümünde yer alan doğrusal ötesi statik analiz yöntemleri ve deprem performansının belirlenmesi ilkeleri kullanılmıştır (Anon., 2006). Yönetmelikte öngörülen performans düzeylerinin sağlanıp sağlanmadığı irdelenmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Enine donatı aralığının deplasman kapasitesi üzerinde oldukça önemli etkisi vardır. Özellikle 4 katlı yapılarda gözlemlenen sonuçlara göre enine donatı aralığının artması deplasman kapasitesini % 50'ye varan oranda azaltmakta, aynı

durum 7 katlı yapılarda % 40 mertebelerine ulaşmaktadır.

- ABYYHY 1975'e (Anon., 1975) göre yapılan binalarda öngörülen düşük yatay dayanım nedeniyle büyük deplasman istemleri ile karşılaşmaktadır. Bu yapılar özellikle enine donatı aralığının yetersiz olduğu durumlarda öngörülen güvenlik seviyelerini karşılamaktan oldukça uzaklaşmaktadırlar.
- Tablo 6. ve 7. incelendiğinde, 2006 yılında yayınlanan Deprem Yönetmeliği'ne göre 10 ve 20 cm. enine donatı aralığında hedeflenen yer değiştirme istemleri aynıdır. Ancak 20 cm enine donatı bulunan binaların yer değiştirme kapasitelerinin 10 cm aralığa göre elde edilen kapasitelerden oldukça düşük olduğu unutulmamalıdır. Hesaplanan bu istemler ve elde edilen performans seviyeleri karşılaştırıldığında analizi yapılan hiçbir yapı öngörülen yer değiştirme istemlerini karşılayamamaktadır.

Sonuç olarak diyebiliriz ki; Türkiye yapı stokunun hala büyük bir bölümünü oluşturan 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış kat sayısı 3~8 arasında değişen birçok konut yapısı mevcuttur. 2006 yılı başlarında yayınlanan yönetmelik (Anon., 2006) kriterlerine göre bu aralığı temsil etmesi için seçilen 14 konut yapısının performans değerlendirmesi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Öngörülen performans seviyesine hiçbir yapı ulaşamamıştır. Özellikle yer değiştirme istemlerinin fazla olduğu bu tip yapılarda; yatay yer değiştirme istemlerini sınırlandıracak çözümler üzerinde durulması gerekmektedir. Seçeneklerden birisi de büyük rijitlik ve dayanımları nedeniyle yer değiştirme istemlerini azaltarak çeşitli süneklik kusurlarının etkilerini düşüren perde duvarların her iki yönde yeterli seviyede kullanılmasıdır.

9. SİMGELER

L_p	: Plastik mafsallı boyu,
L_o	: Moment sıfır noktası-plastik mafsallı arası mesafe,
f_{sy}	: Yanal donatı akma dayanımı,
d_{bl}	: Boyuna donatı çapı,
ϵ_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,
ρ_s	: Donatı hacimsel oranı,
f_{yh}	: Çeliğin akma dayanımı,
ϵ_{su}	: Donatı birim şekil değiştirme kapasitesi,

f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı,
PF_1	: Birinci moda ait modal katılım faktörü,
α_1	: Birinci moda ait kütle katılım oranıdır.

10. TEŞEKKÜR

Bu çalışma kısmi olarak TÜBİTAK Proje No. 105M024 ile desteklenmektedir.

11. KAYNAKLAR

Anonim, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975.

Anonim, 1987. TS 498. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, Ankara.

Anonim, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1997.

Anonim, 2000. TS 500. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.

Anonim, 2005a. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-Taslak, 2005.

Anonim, 2006. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Final, 2006.

Anonymous, 1996. ATC-40. Applied Technology Council, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol 1. Washington, DC. USA.

Anonymous, 2000. FEMA-356. Prestandart and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. prepared by American Society of Civil Engineers for Federal Emergency, Washington, D.C.

Anonymous, 2002. CSI. SAP2000 V-8, 2002. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

Anonymous, 2005b. FEMA-440. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by ATC for American Society of Civil Engineers for Federal Emergency, Washington, D.C.

Aschheim M. and Gulkan, P. 2000. "Performance of buildings, 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Reconnaissance Report", supplement to vol. 16 Earthquake Spectra.

D'Ayala, D. and Charleson, A. W. 2000. "Review of Seismic Strengthening Guidelines for R.C Buildings in Developing Countries". **Proceedings. 12th World Conference on Earthquake Engineering**, New Zeland, Paper No:820.

Scott, B. D. Park, R. Priestley M. J. N. 1982. Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates. *ACI Structural Journal*;76(1):13-27.

Mander, J. B., Priestley, M.J.N, Park, R. 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, pp.1804-1826.

Ozcebe, G., Ramirez, J., Wasti T.S., Yakut A. 2004. **1 May 2003 Bingöl Earthquake Engineering Report**, Publication No : 2004/1.

Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G. M. S. 1996. Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Priestley, M. J. N. 1997. Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 157-192.

Priestley, M. J. N. 2000. "Performance Based Seismic Design". **Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake Engineering**, New Zeland, Paper No : 2831.

Sezen, H., Whittaker, A., Elwood. K. J., Mosalam. K. M. 2003. Performance of Reinforced Concrete Building During the August 17 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and construction Practice in Turkey, *Engineering Structures*, Vol. 25, pp:103-114.

Sucuoğlu, H. 2000. The 1999 Kocaeli and Düzce-Turkey Earthquakes, www.metu.edu.tr/home/wwwweerc/guncel/koca-dzc.pdf

Vision, 2000, Soulages, J., ed, 1995. Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Sacramento, CA, 2 Vols, April 3.

