

## Orta Yükseklikli Betonarme Binaların Türkiye’de Yaşanan Son Depremlerdeki Performansı

Mehmet İNEL\*  
Hüseyin BİLGİN\*\*  
Hayri Baytan ÖZMEN\*\*\*

### ÖZ

Ülkemiz son yirmi yılda çok büyük can kaybı ve maddi hasarlara sebep olan orta ve büyük şiddette depremlere maruz kalmıştır. Ortaya çıkan hasarlı bina ve can kayıplarının sayısı sonucu dikkatler çoğunluğunu 3-8 kat arası binaların oluşturduğu betonarme yapıların yetersiz performansları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışmanın amacı, ülkemiz yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan orta yükseklikteki betonarme binaların deprem performanslarını değerlendirmektir. Performans değerlendirmesinde ülkemizin son 20 yılda yaşadığı yıkıcı depremler esas alınmıştır. Orta katlı yapıları temsil etmesi için ülkemiz yapılarında rastlanacak olumsuzlukları da içeren, 4- ve 7- katlı 14 adet bina seçilmiştir. Her bir yapının statik itme analiziyle kapasite eğrisi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yoluyla da deprem istemleri hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizde “Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Sistem” yaklaşımı kullanılmıştır. Sismik performans değerlendirmesi yeni yayınlanan 2007 Deprem Yönetmeliği kullanılarak yapılmıştır.

### ABSTRACT

#### Performance of Mid-Rise Reinforced Concrete Buildings During Recent Earthquakes in Turkey

Over the past two decades Turkey has been hit by several moderate to large earthquakes that resulted in significant loss of life and property. Remarkable number of casualties and heavily damaged or collapsed buildings has emphasized inadequate seismic performance of multistory reinforced concrete buildings, typically three to eight stories in height. The aim of this study is to evaluate the seismic performance of the mid-rise reinforced concrete buildings which are major part of building stock. In performance evaluation, destructive earthquakes over the past two decades have been taken into consideration. Fourteen 4- and 7-story buildings are selected to reflect existing construction practice, including structural

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 21.07.2006 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - minel@pau.edu.tr

\*\* Epoka University, Tirana, Albania - hbilgin@epokauniversity.com

\*\*\* Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - hozmen@pau.edu.tr

irregularities. Capacity curve of each building was obtained by pushover analysis. Then, their seismic displacement demands were determined using nonlinear time history analysis under selected ground motions. The inelastic dynamic characteristics were represented by equivalent single-degree-of-freedom systems. Seismic performance evaluation is carried out per recently published 2007 Turkish Earthquake Code.

## 1. GİRİŞ

1990 yıllardan günümüze ülkemiz nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde meydana gelen depremler önemli ölçüde hasarlar vermiştir [1]. Bunlar; 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 17 Ağustos 1999 Marmara, 12 Kasım 1999 Düzce, 2002 Afyon-Sultandağı ve 2003 yılında yaşanan Bingöl depremleridir. Başta Kocaeli olmak üzere literatürde bu depremlerle ilgili bir çok çalışma mevcuttur [2-11]. Depremlere ait açıklayıcı bilgiler Çizelge 1.’de görülmektedir. Bu depremlerde mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümünü oluşturan kat sayıları 3 ile 8 arasında değişen yükseklikteki betonarme çerçeveli yapıların istenilen deprem performansına sahip olmadığı ortaya çıkmıştır. Deprem riski yüksek olan bölgelerdeki mevcut yapı stoğunun büyüklüğü ve ülkemizin ekonomik şartları gözönüne alındığında, olası depremler karşısında büyük can ve mal kaybının önlenmesi için mevcut yapı stoğunun belli öncelikler de dikkate alınarak gözden geçirilmesi gerekmektedir.

*Çizelge 1. Türkiye’de son 20 yılda meydana gelen yıkıcı depremler*

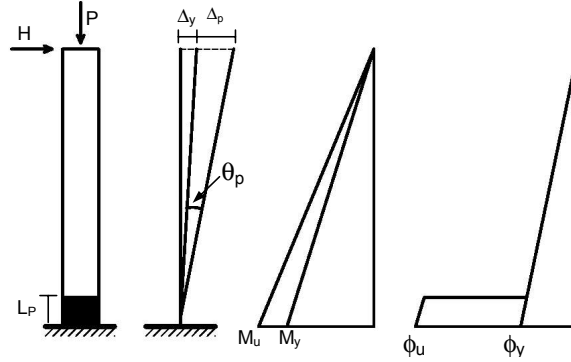
Tarih Gün/Ay/Yıl	Büyükklük $M_s$	Yer	Ölen Kişi Sayısı	Ağır Hasarlı Yapı Sayısı	Enlem (N)	Boylam (E)	Derinlik (km)
13.03.1992	$M_s=6.8$	Erzincan	653	6702	39.68	39.56	27
01.10.1995	$M_s=5.9$	Dinar	90	4909	38.18	30.02	24
27.06.1998	$M_s=5.9$	Ceyhan	146	4000	36.85	35.55	23
12.08.1999	$M_s=7.4$	Kocaeli	15000	50000	40.70	29.91	20
12.11.1999	$M_w=7.2$	Düzce	845	15389	40.79	31.21	11
03.02.2002	$M_w=6.5$	S.Dağı	42	4401	38.46	31.30	6
01.05.2003	$M_w=6.4$	Bingöl	176	1351	38.94	40.51	6

## 2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KULLANILAN YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı ülkemiz konut yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan orta katlı yapıların doğrusal ötesi davranışlarının dikkate alınmasıyla performans değerlendirmesini yapmaktır. Performans analizinde ülkemizin son 20 yılda yaşadığı yıkıcı depremler kullanılmış ve bu deprem etkileri altındaki her bir binanın deprem performansları irdelenmiştir. Çalışmada farklı özelliklerde 14 adet bina seçilmiş ve uygulamada karşılaşılabilecek etriye sıklıkları dikkate alınması sonucu iki farklı etriye aralığı (100 mm. ve 200 mm.) 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 ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz ile ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analizde “Eşdeğer” Tek Serbestlik Dereceli Sistem (TSD) yaklaşımı kullanılmış ve göz önüne alınan

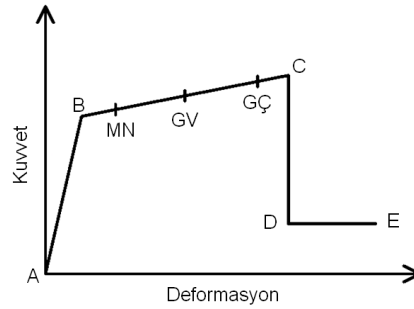
depremler altında her bir sisteme ait yer değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Sismik performans değerlendirmesinde ise 2007 Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007) [12] kriterleri esas alınmıştır. Analizleri yapılan binalar dikkate alınarak, geçmiş depremlerde yaşanan hasarlar ve nedenleri irdelenmiştir.

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

Tipik bir elemanın doğrusal ötesi davranışını Şekil 2.'de gösterilen kuvvet-deformasyon eğrisi ile ifade edilebilir [13]. Bir elemanın davranışının ifade edilebilmesi, B, C, ve E noktalarının belirlenmesi ile mümkün olur. Eleman uçlarında eğilme, kesme ve eksenel yük ile ilgili mafsallar tanımlanmıştır. Özellikle etriye aralığının yeterli sıklıkta olmadığı yapılarda kesme hasarlarının oluşabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Artımsal itme analizi için oluşturulan modellerde DBYBHY-2007 [12], FEMA-356 [13], ATC-40 [14] ve FEMA-440 [15] dokümanlarından faydalanılmıştır.



Şekil 2. Tipik bir eleman için kuvvet-deformasyon eğrisi

### 3. TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında orta katlı yapıları temsil ettiği varsayılan farklı yapısal özelliklere sahip yedisi 4 ve yedisi 7 katlı olmak üzere 14 adet farklı karakteristikte konut yapısı seçilmiş ve 1975 Afet Yönetmeliği [16] dikkate alınarak, 1. Deprem Bölgesinde, 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. Yüklemeler TS 498’e [17] göre tanımlanmış ve kat seviyesinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Malzeme özellikleri olarak BS16 beton ve S220 çelik kullanılmış ve etriye aralığı sünek durumu temsil etmesi için 100 mm ve sünek olmayan olumsuz durumu yansıtabilmesi için de 200 mm olarak dikkate alınmıştır. Yapılara ait bazı tanımlayıcı özellikler Çizelge 2.’de görülmektedir.

Çizelge 2. Binalara ait karakteristik özellikler

4 Katlı Binalar					7 Katlı Binalar				
Bina No	W <sub>sismik</sub> (ton)	T (sn)		H <sub>N</sub> (m)	Bina No	W <sub>sismik</sub> (ton)	T (sn)		H <sub>N</sub> (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

### 4. YAPILARIN ANALİTİK MODELLEMESİNDE KULLANILAN MALZEME MODELLERİ VE DİĞER TASARIM PARAMETRELERİ

Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [18]. SAP2000’de her bir eleman için oluşturulan kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiş ve plastik mafsallık özellikleri; eleman boyutları, boyuna donatı ve sargı donatısı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellemesi, Geliştirilmiş Kent-Park beton modeli ile yapılmıştır [19]. Artımsal itme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve doğrusal dinamik analizden elde edilen mod şekliyle (x- ve y- yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır. S220 sınıfı için yaygın kullanılan ikinci derece parabolik  $\sigma$ - $\epsilon$  modeli esas alınmıştır [12]. Plastik mafsallık boylarının hesabında denklem (1) kullanılmıştır [20];

$$L_p = 0.08 L_0 + 0.022 f_{sy} d_{bl} \geq 0.044 f_{sy} d_{bl} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

#### 4.1. Moment Mafsallarının Tanımlanması

SAP2000 programında mafsallar Şekil 2.’de tanımlanan kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde idealleştirilen beş nokta ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, kolon ve kirişler için; kesitin akma noktası olan “B” noktası, M- $\phi$  grafiğinin eğiminden, “C”, “D” ve “E” noktaları da beton basınç-şekil değiştirme ve çekme donatısındaki şekil değiştirme

değeriyle tanımlanmıştır. Beton basınç deformasyonu ( $\epsilon_{cu}$ ) kriteri için, en üst çekirdek beton lifi şekil değiştirme değerinin hesaplanması için önerilen ve kabul görmüş (2) numaralı denklem kullanılmıştır [21]. 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 kirişlerde “C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekil değiştirme kapasitesinin %50’sine ( $0.5\epsilon_{cu}$ ) ulaşmasına izin verilmiştir [21]. Her iki eleman için de, herhangi bir donatının kopması ( $\epsilon_s = \epsilon_{su}$ ) “E” noktası olarak kabul edilmiştir.

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

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 kapasiteleri TS500’ e göre hesaplanmıştır [22].

Çizelge 3. Türkiye’de son 20 yılda yaşanan yıkıcı deprem kayıtları

Tanımlayıcı	Deprem	Tarih (Gün/Ay/Yıl)	Büyüklik	İstasyon	Bileşen (°)	PGA (g)	Odak Der. (km)
AF02SULT.360	Afyon-S.Dağı	03.02.2002	$M_w = 6.5$	Afyon	Kuzey	0.114	6
AF02SULT.090	Afyon-S.Dağı	03.02.2002	$M_w = 6.5$	Afyon	Doğu	0.094	6
BN03BING.360	Bingöl	01.05.2003	$M_w = 6.4$	Bingöl	Kuzey	0.546	6
BN03BING.090	Bingöl	01.05.2003	$M_w = 6.4$	Bingöl	Doğu	0.277	6
AD98CEYH.090	Adana-Ceyhan	27.06.1998	$M_s = 5.9$	Ceyhan	Doğu	0.274	23
AD98CEYH.180	Adana-Ceyhan	27.06.1998	$M_s = 5.9$	Ceyhan	Güney	0.223	23
DN95DINA.090	Dinar	01.10.1995	$M_s = 5.9$	Dinar	Doğu	0.330	24
DN95DINA.180	Dinar	01.10.1995	$M_s = 5.9$	Dinar	Güney	0.282	24
DZ99BOLU.360	Düzce	12.11.1999	$M_w = 7.2$	Bolu	360°	0.728	11
DZ99BOLU.090	Düzce	12.11.1999	$M_w = 7.2$	Bolu	090°	0.822	11
DZ99DUZC.180	Düzce	12.11.1999	$M_w = 7.2$	Düzce	180°	0.348	11
DZ99DUZC.270	Düzce	12.11.1999	$M_w = 7.2$	Düzce	270°	0.535	11
ER92ERZN.360	Erzincan	13.03.1992	$M_s = 6.8$	Erzincan	Kuzey	0.515	27
ER92ERZN.090	Erzincan	13.03.1992	$M_s = 6.8$	Erzincan	Doğu	0.496	27
KC99DUZC.180	Kocaeli	17.08.1999	$M_s = 7.4$	Düzce	180°	0.312	20
KC99DUZC.270	Kocaeli	17.08.1999	$M_s = 7.4$	Düzce	270°	0.358	20
KC99GEBZ.180	Kocaeli	17.08.1999	$M_s = 7.4$	Gebze	180°	0.244	20
KC99IZMT.090	Kocaeli	17.08.1999	$M_s = 7.4$	İzmit	090°	0.220	20
KC99YARM.060	Kocaeli	17.08.1999	$M_s = 7.4$	Yarımca	060°	0.268	20
KC99YARM.330	Kocaeli	17.08.1999	$M_s = 7.4$	Yarımca	330°	0.349	20

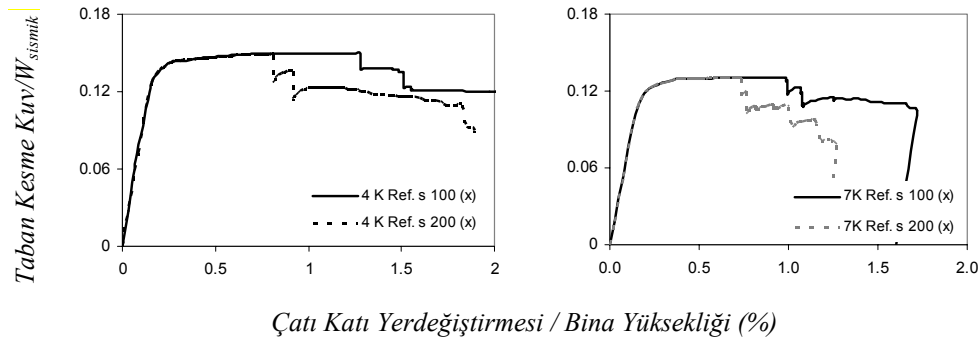
Binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında 2007 Deprem Yönetmeliği’nin “7.7.Bina Deprem Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Kararları” bölümü esas alınmıştır [12]. Plastik deformasyonun %10’u Minimum Hasar Sınırı (MN), %60’ı Güvenlik Sınırı (GV) ve %90’ı da Göçme Sınırı (GÇ) olarak ifade edilmiştir. Bu sınırlar Şekil 2.’de gösterilen tipik eleman için doğrusal ötesi kuvvet-deplasman ilişkisi üzerinde işaretlenmiştir.

#### 4.2. Gözönüne Alınan Deprem Kayıtları

Zaman Tanım Alanında Çözümleme Yönteminde farklı karakteristikteki ivme kayıtlarının kullanılması güvenilir bir değerlendirme için önkoşuldur. Benzer özellikte ivme kayıtlarının kullanılması, doğru bir davranış değerlendirmesi için yetersiz kalabilmektedir. Çalışmada özellikle son 20 yılda ülkemizde yaşanan yıkıcı deprem kayıtlarından seçimler yapılmıştır (Çizelge 3.)

### 5. ARTIMSAL İTME (PUSHOVER) ANALİZİ

Bu çalışmada artımsal itme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve doğrusal dinamik analizden elde edilen mod şekliyle (x- ve y- yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır. Analizlerde P-Delta etkileri dikkate alınmıştır. Şekil 3.’te 4 ve 7 katlı örnek yapılar için 100 ve 200 mm. etriye aralıkları için kapasite eğrileri verilmiştir.



### 6. PERFORMANS HESABI

2007 Deprem Yönetmeliği’ne [12] 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

dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Artımsal itme analizi sonuçları ile yönetmelikte verilen performans kriterleri kullanılarak her bir bina için tanımları yapılan performans seviyelerine karşılık gelen global yerdeğiştirme kapasiteleri elde edilmiştir. Yerdeğiştirme kapasitesi olarak çatı katı ötelenmesi kullanılmıştır. Akma dayanımı katsayıları ve değişik performans seviyelerine ait yerdeğiştirme kapasitelerinin yapı yüksekliğine göre normalize edilmiş değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Göçmenin Önlenmesi (GÇ) durumuna karşılık gelen ötelenme ve akmaya karşılık gelen taban kesme dayanımı katsayıları incelendiğinde, bina yüksekliği arttıkça bu değerlerin küçüldüğü görülmektedir. Bu tespiti, 1999 yılında meydana gelen Marmara depreminin gözlem sonuçları da doğrulamaktadır [23].

Çizelge 4. Değişik performans seviyelerinde 4 ve 7 katlı binaların yerdeğiştirme kapasiteleri

Kat	Bina No/ Etriye Aralığı (mm)	V/W <sub>sismik</sub>	Çatı katı görelî yerdeğiştirme oranı, %			Kat	Bina No/ Etriye Aralığı (mm)	V/W <sub>sismik</sub>	Çatı katı görelî yerdeğiştirme oranı, %			
			HK	CG	GÖ				HK	CG	GÖ	
4-katlı (x-yönü)	1	100	0.144	0.28	0.68	1.28	1	100	0.158	0.28	0.66	1.11
		200	0.143	0.25	0.46	0.81		200	0.156	0.22	0.43	0.74
	2	100	0.132	0.28	0.72	1.29	2	100	0.156	0.25	0.62	1.07
		200	0.131	0.20	0.44	0.81		200	0.153	0.22	0.38	0.70
	3	100	0.112	0.33	0.80	1.42	3	100	0.145	0.23	0.63	1.07
		200	0.132	0.21	0.44	0.75		200	0.150	0.21	0.42	0.70
	4	100	0.126	0.21	0.69	1.28	4	100	0.131	0.21	0.62	1.16
		200	0.124	0.19	0.41	0.80		200	0.117	0.17	0.36	0.71
	5	100	0.112	0.22	0.71	1.30	5	100	0.129	0.21	0.59	1.05
		200	0.112	0.16	0.42	0.80		200	0.124	0.18	0.36	0.69
	6	100	0.099	0.25	0.77	1.46	6	100	0.118	0.20	0.61	1.06
		200	0.110	0.17	0.40	0.76		200	0.121	0.18	0.38	0.71
	7	100	0.134	0.07	0.07	1.36	7	100	0.139	0.06	0.06	1.14
		200	0.133	0.06	0.07	0.84		200	0.141	0.06	0.06	0.74
7-katlı (x-yönü)	1	100	0.128	0.36	0.68	0.99	1	100	0.140	0.31	0.61	0.98
		200	0.126	0.28	0.51	0.74		200	0.130	0.18	0.37	0.55
	2	100	0.115	0.35	0.68	0.99	2	100	0.129	0.32	0.55	0.80
		200	0.115	0.29	0.52	0.75		200	0.122	0.16	0.37	0.51
	3	100	0.114	0.34	0.61	0.92	3	100	0.124	0.25	0.54	0.77
		200	0.114	0.28	0.47	0.67		200	0.115	0.17	0.33	0.49
	4	100	0.117	0.19	0.41	0.72	4	100	0.121	0.19	0.36	0.64
		200	0.114	0.17	0.27	0.48		200	0.110	0.13	0.25	0.42
	5	100	0.104	0.20	0.44	0.73	5	100	0.114	0.19	0.37	0.55
		200	0.104	0.17	0.31	0.51		200	0.104	0.15	0.26	0.40
	6	100	0.104	0.20	0.42	0.70	6	100	0.108	0.19	0.37	0.56
		200	0.101	0.17	0.30	0.47		200	0.099	0.15	0.28	0.39
	7	100	0.124	0.08	0.08	0.98	7	100	0.129	0.08	0.08	0.95
		200	0.123	0.08	0.08	0.70		200	0.124	0.08	0.08	0.55

Enine donatı aralığının ötelenme kapasitesi üzerindeki etkileri net olarak görülmektedir (Çizelge 4). Sırasıyla 100- ve 200- mm. etriye aralıkları dikkate alındığında, 4- katlı yapılar için ortalama ötelenme oranları %0.75-1.25 aralığındayken bu değer 7- katlı yapılarda ortalama 0.55-0.80 aralığında kalmaktadır. Bununla birlikte Çizelge 4. incelendiğinde, 8 binada Hemen Kullanım (HK) ve Can Güvenliği (CG) durumları için ötelenme

kapasitelerindeki düşüklükler göze çarpmaktadır. Bunun sebebi, bu binalarda kısa kolon davranışının oluşmasıdır. Bu binalarda bazı kolonların kısa kolon oluşturması kesme kırılmasının momentten önce oluşmasına sebep olmasıyla HK ve CG seviyelerini karşılayamamaktadır. GÖ seviyesi binada oluşacak sınırlı sayıda kısa kolon oluşumundan etkilenmemektedir. Bu davranış türüne daha önce yaşadığımız depremlerde rastlanılmış ve toptan göçme olmadan bazı kolonlardaki önemli kesme hasarlarıyla yapılar depremi atlattır [4].

## **7. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ÖTESİ ANALİZ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

Son yıllarda yayımlanan uluslararası yönergelerde [13-15] deprem etkisine maruz yapılarda maksimum global yerdeğiştirme istemlerinin hesaplaması için farklı doğrusal ötesi yöntemler önerilmektedir. Bu metotlarda, bir yapıdaki doğrusal ötesi deformasyon istemi, “Eşdeğer” TSD sistem davranışı kullanılarak elde edilmektedir.

Artımsal itme analizinden elde edilen kapasite eğrileri 2007 Deprem Yönetmeliği kullanılarak iki doğrulu bir eğri haline getirilmiştir. İdealize edilmiş kapasite eğrisi akma ve nihai noktalar ile tanımlanmaktadır. Yapıların “Eşdeğer” TSD sistem modellerinin tanımlanmasında; akma dayanım katsayısı, akma deplasmanı ve akma sonrası rijitlik katsayısı ile tanımlanmaktadır.

Göz önüne alınan yapının akma sonrası rijitlik katsayısı çok küçük olduğunda, enine donatı aralığı sadece nihai ötelenme değerini değiştirmektedir. Bundan dolayı göz önüne alınan depremlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanarak yerdeğiştirme istemlerinin hesabında, 56 model yerine 28 modele ait kapasite eğrileri “Eşdeğer” TSD sistem olarak idealize edilmiştir.

FEMA-356 [13] ve ATC-40 [14] dokümanlarında akma deplasmanının ifade edilmesi aynı iken akma dayanım katsayısının ifadesi farklıdır. FEMA-440 [15]’ta ATC-40 yaklaşımının daha gerçekçi sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada yönetmeliğimizde de yer alan ATC-40’deki yöntem kullanılmıştır. “Eşdeğer” TSD sisteme geçişte kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\Delta_y = \frac{\Delta_{y,\text{çatı}}}{\Gamma_1} \quad (3)$$

$$C_y = \frac{S_a}{g} = \frac{V_{y,\text{ÇSD}} / W}{\alpha_1} \quad (4)$$

“Eşdeğer” TSD sistem modeli oluşturulan her bir yapı, Çizelge 3’te verilen depremlere tabii tutulmuştur. USEE [24] programı kullanılarak, 560 adet doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiş ve her bir sisteme ait yerdeğiştirme istemleri bulunmuştur. Elde edilen deprem istemleri,  $\Gamma_1$  ile çarpılarak çatı katı yerdeğiştirme istemleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4. kullanılarak göz önüne alınan yer hareketleri etkisi altında her bir binaya ait performans değerlendirmesi yapılmıştır. 100- ve 200- mm. etriye durumu için deprem



istemleri aynı olmasına rağmen, yerdeğiştirme kapasiteleri farklıdır. Bu yüzden, göz önüne alınan yapılar için performans değerlendirmesi 100- ve 200- mm. enine donatı aralığı için ayrı ayrı yapılmıştır. Çizelge 5.'te yapılara ait performans değerlendirmesi ve Çizelge 6.'da da performans değerlendirmesi yapılan yapılar için performans seviyelerinin ortalama aşılma olasılığı istatistikleri verilmiştir.

Çizelge 5. Yapılarda gözönüne alınan performans seviyelerinin aşılma olasılığı

Deprem Kaydı Tanımlayıcısı	Hemen Kullanım				Can Güvenliği				Göçmenin Önlenmesi			
	4-katlı		7-katlı		4-katlı		7-katlı		4-katlı		7-katlı	
	s= 10 cm	s= 20 cm	s= 10 cm	s= 20 cm	s= 10 cm	s= 20 cm	s= 10 cm	s= 20 cm	s= 10 cm	s= 20 cm	s= 10 cm	s=20 cm
AF02SULT.360	0.64	1.00	0.57	0.64	0.14	0.14	0.14	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
AF02SULT.090	0.64	1.00	0.57	0.64	0.14	0.14	0.14	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
BN03BING.360	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	0.57	0.86	0.00	0.57	0.00	0.36
BN03BING.090	0.71	0.93	1.00	1.00	0.14	0.29	0.14	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
AD98CEYH.090	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.71	0.43	1.00	0.00	0.00	0.00	0.29
AD98CEYH.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	0.43	0.86	0.00	0.36	0.00	0.07
DN95DINA.090	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	0.50	0.93
DN95DINA.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	0.79	0.93	1.00	0.00	0.29	0.00	0.86
DZ99BOLU.360	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	1.00	0.57	1.00
DZ99BOLU.090	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
DZ99DUZC.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.57	0.86	0.50	0.86	0.21	0.43
DZ99DUZC.270	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	1.00
ER92ERZN.360	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ER92ERZN.090	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KC99DUZC.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	0.57	0.79	0.00	0.57	0.29	0.43
KC99DUZC.270	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.29	0.79	0.57	0.93
KC99GEBZ.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.29	0.71	0.57	0.86	0.00	0.07	0.00	0.43
KC99IZMT.090	1.00	1.00	0.64	0.93	0.14	1.00	0.21	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
KC99YARM.060	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	1.00	1.00	1.00	0.29	0.50	0.71	0.93
KC99YARM.330	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	1.00	1.00	0.29	0.57	0.43	1.00

Çizelge 6. Yapılarda gözönüne alınan performans seviyelerinin ortalama aşılma olasılığı

Yapı	Etriye Aralığı	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
4-katlı	s= 100 mm	0.950	0.668	0.336
	s= 200 mm	0.996	0.839	0.529
7-katlı	s= 100 mm	0.939	0.686	0.346
	s= 200 mm	0.961	0.836	0.582

## 8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında kullanılan depreme kayıtları esas alınarak yapılan performans değerlendirmesi sonucunda; Hemen Kullanım (HK) seviyesini hemen hemen hiçbir yapı karşılayamamaktadır. Bu, Can Güvenliği (CG) için tasarlanan konut yapıları için beklenen bir durum sayılabilmesine karşın CG performans seviyesi de oldukça yetersizdir. Çizelge 6 incelendiğinde, en iyi durumda (100 mm.) yapıların %33’ü CG performans seviyesini karşılayabilmektedir. Depremlerde kayıpların en aza indirilmesinde önemli bir seviye olan Göçmenin Önlenmesi (GÇ) performans seviyesini ise yapılar etriye aralıklarına göre %40-65 oranında karşılayabilmektedir. Elde edilen analiz sonuçları, 1999 yılında meydana gelen Marmara Depreminde gözlemlenen hasar sonuçlarıyla oldukça uyumludur [25].

Bazı depremlerin karakteristiklerinden dolayı belli yapılarda büyük yerdeğiştirme istemlerine sebep olabilmektedir. Özellikle; Bingöl, Adana-Ceyhan, Dinar ve Düzce depremlerin bir yönleri 4- katlı yapılarda yıkıcı olabilirken, Dinar depreminin diğer yönü 7- katlı yapılar için tehlikeli olmaktadır. 1995 Dinar depreminin her iki yönü, 1999 Düzce’nin tüm kayıtları, 1992 Erzincan ve 1999 Kocaeli’nin Düzce ve Yarımca kayıtları en yıkıcı kayıtlar olup, hemen hemen tüm binalarda CG seviyesi aşılmaktadır.

Ülkemiz orta katlı betonarme yapı stoğunu temsil etmesi amacıyla gözönüne alınan 14 adet konut binasını, doğrusal ötesi davranışları dikkate alınarak sismik performans değerlendirmesi yapılmıştır. Seçilen binalar için Türkiye’de son 20 yılda meydana gelen yıkıcı deprem kayıtları dikkate alınarak yerdeğiştirme istemleri hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen gözlem ve bulgular aşağıda özetlenmiştir;

1. 1975 Afet Yönetmeliği’ne göre tasarlanan binalarda yanal dayanım ve rijitliğin düşük olması, deplasman istemlerini artırması sebebiyle büyük depremlerde gözlenen başlıca hasar nedenlerindedir.
2. Enine donatı miktarının yapıların sismik performansı üzerinde önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. 4 katlı 100 mm etriye aralıklı yapıların ortalama deplasman kapasitesi (GÇ için) %1.22 iken 200 mm etriye aralığı için bu değer % 0.75 olmaktadır. 7 katlı binalar için aynı değerler sırasıyla %0.81 ve %0.54’tür. Etriye aralığının 10 ve 20 cm alınmasıyla deplasman kapasitesinde yaklaşık %35 fark oluştuğu görülmektedir.
3. İncelenen bina setinin doğrusal ötesi statik analizi sonucu hemen bir çok durumda kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışına rastlanılmaktadır. 1975 Afet Yönetmeliği’nde yer almayan bu kontrol mevcut yapılarda olumsuz göçme mekanizmalarına yol açarak yapı sünekliğinin düşmesine yol açmaktadır. Bu durum mevcut yapı stoğunun önemli problemleri arasında yer almaktadır.

- 1992 Erzincan ve 1999 Düzce Depremleri, incelenen yapı seti üzerinde %2'nin üzerinde yerdeğiştirme istemleri oluşturabilmektedir. Özellikle 1992 Erzincan depremi için %4'lere varabilen bu deplasman talepleri yönetmelikte öngörülenden daha yıkıcı bir sismik olaya işaret etmektedir. Bu sebeple Türkiye gibi sismik risk haritalarının yerel ölçek ve detayda yapılmadığı ülkelerde tamı tamına yönetmelik koşullarını sağlayan tasarımlar yapmak beklenildiği kadar güvenli olmayabilir.
- Yeni yapılarda yüksek yanal dayanım ve rijitlik sağlayarak deprem istemlerini büyük ölçüde düşüren çözümler üzerinde durulmalıdır.

### **Semboller**

$d_{bl}$	: Boyuna donatı çapı
$f_c$	: Beton basınç dayanımı
$f_{cc}$	: Sargılı beton basınç dayanımı
$f_{ye}$	: Donatı akma dayanımı,
$f_{yh}$	: Yanal donatı akma dayanımı
$H_{bina}$	: Bina yüksekliği
$L_o$	: Plastik mafsal ile moment sıfır noktası arası mesafe
$L_p$	: Plastik mafsal boyu
$M$	: Moment
$C_y$	: Akma dayanımı katsayısı
$\Delta_y$	: Akma deplasmanı
$\Gamma_1$	: Birinci moda ait modal katkı çarpanı
$S_a$	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin akma ivmesi
$W_{sismik}$	: Bina sismik ağırlığı
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$V_{y,\zeta SD}$	: Çok serbestlik dereceli sistemin taban kesme dayanımı
$\alpha_1$	: Birinci moda ait etkin Kütle oranı
$\Delta_{y,\zeta atı}$	: Çatı kat deplasmanı
$\epsilon_{cu}$	: Beton maksimum birim kısalma değeri
$\epsilon_{su}$	: Donatı kopma uzaması
$\phi$	: Eğrilik
$\rho_s$	: Hacimsel yanal donatı oranı

**Kaynaklar**

- [1] Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Merkezi, [www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr).
- [2] Adalier, K., Aydıngün, O., Structural Engineering Aspects of the June 27 1998 Adana-Ceyhan Earthquake, Engineering Structures; Vol.23, pp:343-355, 2001.
- [3] Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N., Destructive Earthquakes in Turkey, <http://www.deprem.gov.tr/reports.html>, 2003.
- [4] Doğangün, A., Performance of Reinforced Concrete Buildings during the May 1 2003 Bingöl Earthquake in Turkey, Engineering Structures; Vol.26, pp:841-856, 2004.
- [5] Elnashai, A., S., Analysis of the Damage Potential of the Kocaeli (Turkey) Earthquake of 17 August 1999. Engineering Structures; Vol.22, pp:746-754, 2000.
- [6] Karaşin, A., H., Karaesmen, E., Bingöl Depreminde Meydana Gelen Hapısal Hasarların İrdelenmesi. 23-25 Mart Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 2005.
- [7] Özcebe, G., 3 Subat 2002 Afyon-Sultandağı Depreminde Gözlenen Yapısal Hasarlar ve Nedenleri, ODTÜ, 2002.
- [8] Özcebe G., Ramirez J., Wasti T.S., Yakut A., 1 May 2003 Bingöl Earthquake Engineering Report , [http://www.seru.metu.edu.tr/archives/databases/Bingol\\_Database](http://www.seru.metu.edu.tr/archives/databases/Bingol_Database), 2004, Publication No:2004/1.
- [9] Scawthorn, C., Johnson, G.S., Preliminary Report Kocaeli (Izmit) Earthquake of 17 August 1999, 2000. Engineering Structures, Vol. 22, pp: 727-745.
- [10] 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.
- [11] Sucuoglu, H., The 1999 Kocaeli and Düzce-Turkey Earthquakes, available at [www.metu.edu.tr/home/wwweerc/guncel/koca-dzc.pdf](http://www.metu.edu.tr/home/wwweerc/guncel/koca-dzc.pdf).
- [12] Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2006 (ABYYHY-2006)
- [13] FEMA-356, 2000. Prestandart and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared by American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency, Washington, D.C.
- [14] ATC-40, 1996. Applied Technology Council, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Vol 1. Washington, DC. USA.
- [15] FEMA-440, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by ATC for American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency, Washington, D.C.
- [16] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYHY-1975).

- [17] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [18] CSI, SAP2000 V-8, 2002. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- [19] Scott BD, Park R, and Priestley M.J.N., Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates, ACI Structural Journal, 1982, Vol. 76, No. 1, pp. 13-27, 1982.
- [20] Priestley MJN, Seible F, Calvi GMS. Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.
- [21] Priestley, M. J. N., Performance Based Seismic Design. Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake. Engineering, New Zealand, Paper No: 2831, 2000.
- [22] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [23] Özcebe, G., Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi, Tübitak Araştırma Raporu; Rapor No: İCTAG YMAÜ İ574, Ankara, Türkiye, 2004.
- [24] İnel M, Bretz E, Black E, Aschheim M, Abrams D. USEE 2001-utility software for earthquake engineering: program, report, and user's manual. CD Release 01-05. University of Illinois (Urbana): Mid-America Earthquake Center. Available for download from <http://mae.ce.uiuc.edu/>
- [25] Sucuoglu, H and Yilmaz, T., Duzce, Turkey: a city hot by two major earthquakes in 1999 within three months, <http://bridge.ecn.purdue.edu/~anatolia/reports/paper01.doc>, 2000.