

## TÜRKİYE’DE YAŞANAN DEPREM HASARLARI VE YAPI STOĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

### EARTHQUAKE DAMAGES IN TURKEY AND THE EVALUATION OF BUILDING STOCK

Mehmet İNEL<sup>1</sup>, Hayri Baytan ÖZMEN<sup>2</sup> ve Hüseyin BİLGİN<sup>3</sup>

#### ÖZET

Türkiye son 20 yılda büyük can ve mal kaybına yol açan birçok orta ve büyük ölçekte deprem yaşamıştır. Ortaya çıkan can kayıpları ve ağır hasarlı veya yıkılan binaların sayısı ülkemiz yapılarının, özellikle de orta yükseklikteki betonarme binaların yetersiz sismik performansını gündeme getirmiştir. Bu çalışmanın amacı, deprem riski yüksek olan ülkemiz yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan orta yükseklikteki betonarme binaların deprem performanslarını dolgu duvarların da modellendiği doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak değerlendirmektir. Ülkemiz yapı stoğunu yansıtan bir bina seti 1975 Afet Yönetmeliği esas alınarak tasarlanmıştır. Bu binalarda yumuşak kat, ağır kapalı çıkımlar, kısa kolon gibi rastlanması muhtemel düzensizlikler ve bunların bir arada bulunması durumu dikkate alınmıştır. Sünek ve sünek olmayan davranış, binaların her birinin 100 ve 200 mm olmak üzere iki farklı etriye aralığı dikkate alınmasıyla modellenmiştir. Modellemesi yapılan binaların her iki yönde kapasite eğrileri elde edilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik davranış karakteristikleri “Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Sistem Yaklaşımı” dikkate alınarak belirlenmiştir. Binaların deplasman istemleri doğrusal olmayan dinamik analizle seçilen deprem kayıtları altında hesaplanmıştır. Performans değerlendirmesi 2007 Deprem Yönetmeliği’ne göre yapılmıştır. Analizler sonucunda yapılan analitik hasar değerlendirmesi, Türkiye’de yaşanan depremlerin büyük deplasman istemlerine sebep olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı, ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmı risk altındadır. Ayrıca, yapısal düzensizliklerin de performans üzerinde etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapı stoğu, Binalar, Deprem hasarları, Doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz.

#### ABSTRACT

Over the past several decades, Turkey has been hit by several moderate to large devastating 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 seven stories in height. 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, considering nonlinear behavior of reinforced concrete components as well as masonry infill walls. A sample building set is designed according to 1975 Turkish Earthquake Code to reflect existing possible construction practice; regular buildings and buildings with irregularities such as soft story, heavy overhangs, short columns, and soft story with heavy overhangs. Ductile and non-ductile details are taken into account by transverse reinforcement amount (transverse reinforcement spacing of 100 mm and 200 mm). Capacity curves of investigated building set are determined by pushover analyses conducted in two principal directions. The inelastic dynamic characteristics are represented by equivalent single-degree-of-freedom

<sup>1</sup> Yard. Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, [minel@pau.edu.tr](mailto:minel@pau.edu.tr)

<sup>2</sup> Yüksek Mühendis, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, [hozmen@pau.edu.tr](mailto:hozmen@pau.edu.tr)

<sup>3</sup> Yüksek Mühendis, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü, Denizli, [huseyinbilgin@gmail.com](mailto:huseyinbilgin@gmail.com)

(SDOF) systems. Their seismic displacement demands are determined using nonlinear response history analysis under selected ground motions. Seismic performance evaluation is carried out in accordance with recently published Turkish Earthquake Code (2007). Analytical damage evaluation in this study has shown that the seismic effects of earthquakes experienced in Turkey are significant and some of the earthquakes impose excessive displacement demands. Therefore, considerable portion of existing building stock may not be safe enough in Turkey. Also, it is observed that structural irregularities affect seismic performance of buildings.

Keywords: Reinforced concrete building stock, Buildings, Earthquake damages, Nonlinear static and dynamic analysis.

## GİRİŞ

Türkiye son 20 yılda büyük can ve mal kaybına yol açan birçok orta ve büyük ölçekte deprem yaşamıştır. Özellikle 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 performanslarının tespiti ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu depremlere ait açıklayıcı bilgiler Tablo 1’de görülmektedir. Ülkemizde meydana gelen bu depremlerde, birçok betonarme bina yapısal özelliklerinin yetersizliklerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı önemli derecede hasar görmüş ve can kayıplarına neden olmuştur.

Tablo 1. Türkiye’de 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 ölçekteki depremler altında büyük hasara uğraması muhtemel binlerce bina vardır (D’Ayala ve Charleson, 2000). Kat sayısı 3 ile 8 arasında değişen yükseklikteki yapıların betonarme çerçevelerden teşkil edilmiş taşıyıcı sistemlerinde, yetersiz detaylandırma, kalitesiz malzeme ve kötü işçiliğe rastlanmıştır (Ascheim ve 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, kuvvetli kiriş-zayıf kolon, ağır kapalı çıkmalar, yetersiz perde duvar oranı, yapının projesinden farklı olarak inşa edilmesi ve enine donatı miktarının öngörülenden az olması olarak sayılabilir.

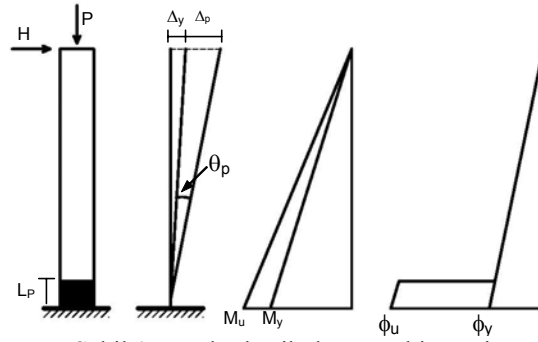
Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için 1998 Afet Yönetmeliği’ne (ABYYYHY-1998) yeni bir bölüm eklenmiş ve yürürlüğe girmiştir (DBYBHY-2007). Bu çalışmada kullanılan binaların deprem güvenliği, son yönetmelikte verilen deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir.

## ÇALIŞMANIN AMACI VE KULLANILAN YÖTEM

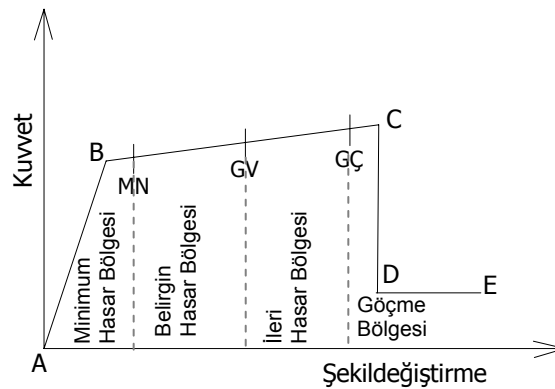
Çalışmanın amacı, ülkemiz yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan orta yükseklikteki betonarme binaların doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alınmasıyla performans değerlendirmesini yapmaktır. Performans analizinde ülkemizin son 20 yılda yaşadığı yıkıcı depremler kullanılmış ve bu deprem etkileri altındaki her bir binanın deprem performansları irdelenmiştir. Çalışmada 4- ve 7- katlı olmak üzere aynı plana sahip referans binalar 1975 Afet Yönetmeliği (ABYYYHY-1975) esas alınarak tasarlanmıştır. Geçmiş depremlerde gözlemlenen hasar gören yapılarıdaki yapısal eksikliklerin bu binalara yansıtılması ile toplam 22 adet bina seti

oluşturulmuştur. Sünek ve sünek olmayan davranış, uygulamada karşılaşılabilecek iki farklı enine donatı aralığı ile dikkate alınmıştır; 100 mm enine donatı aralığı sünek ve 200 mm de sünek olmayan davranışı temsil etmektedir. Her bir binanın x ve y doğrultuları da dikkate alındığında toplam 88 adet model oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan davranış, uygulama ve araştırma çevrelerinde yaygın olarak kullanılan artımsal itme analizi 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) 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). 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 olduğu bu bölge plastik mafsallık boyu ( $L_p$ ) olarak adlandırılır. Yığılı plastik davranış karakterize eden plastik mafsallık, 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 (DBYBHY-2007). 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 enine donatı aralığının yeterli sıklıkta olmadığı yapılarda kesme hasarlarının oluşabileceği göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 1. Yığılı plastik davranış hipotezi



Şekil 2. Eleman kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi

Artımsal itme analizi için oluşturulan modellerde ATC-40 (1996), FEMA-356 (2000), FEMA-440 (2005), DBYBHY-2007 (2007) dokümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır (CSI, 2002). SAP2000’de her bir eleman için otomatik mafsallık yerine oluşturulan kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiştir. Plastik mafsallık özellikleri eleman boyutları, boyuna ve enine donatı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının

dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, Geliştirilmiş Kent ve Park beton modeli ile yapılmıştır (Scott vd., 1982).

## İNCELENEN BİNALARA AİT TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında incelenecek bina setinin oluşturulması için aynı plana sahip 4 ve 7 katlı binalar 1975 Afet Yönetmeliği dikkate alınarak Z3 sınıfı zemin üzerinde tasarlanmıştır. Daha sonra bu referans binalara geçmiş depremlerde rastlanan yapısal düzensizlikler eklenerek 11 adet 4 katlı ve 11 adet 7 katlı binanın bulunduğu bir set oluşturulmuştur. Bu binalar arasında, hiçbir yapısal kusuru olmayan ve “referans” bina olarak adlandırılan, zemin katın diğer katlara oranla yüksek olduğu yumuşak katlı ve zemin katta dolgu duvar olmayan yumuşak katlı, bir yönden kapalı çıkmalı, iki yönden 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  $0.470 \text{ t/m}^2$  ölü ağırlık hesaplanmıştır. Çatı katında tesviye betonu öngörülmemekle birlikte yalıtım ve ahşap çatı örtüsü ile  $0.450 \text{ t/m}^2$  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 (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. Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için, DBYBHY-2007’de (2007) verilen *çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri* kullanılmıştır; kirişlerde  $0.40 EIo$ , kolonlarda  $N_D / (Ac f_{ck}) \leq 0.10$  olması durumunda  $0.40 EIo$  ve  $N_D / (Ac f_{ck}) \geq 0.40$  olması durumunda  $0.80 EIo$ ’dir. Kolonlar için ara eksenel yük değerlerinde interpolasyon yapılmıştır. Analizlerde dolgu duvarların etkileri dahil edilmiştir.

Her bir yapının 3-boyutlu modelleri SAP2000 programı kullanılarak 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. Modellerde duvarların etkisi eşdeğer çapraz basınç çubukları kullanılarak yansıtılmıştır. Basınç çubuklarının özellikleri FEMA-356 (2000) ve DBYBHY-2007 (2007) esas alınarak belirlenmiştir. Malzeme özellikleri olarak C16 beton sınıfı ve S220 çelik kullanılmış ve enine donatı aralığı olarak 1975 Afet Yönetmeliğini temsil etmesi itibarıyla 100 mm ve olumsuz durumu yansıtabilmesi için 200 mm olarak dikkate alınmıştır. Yapılara ait doğal periyot ve sismik ağırlıklar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. 4- ve 7- katlı yapılara ait doğal titreşim periyodu, sismik ağırlık ve akma dayanımı katsayısı

Yapı Tipi	Periyot Aralığı (s.) (Çatlama kesit rijitliği)	Sismik Ağırlık Değişimi (kN)	Akma Dayanımı Katsayısı ( $V_y/W_{sis}$ )
4-kat	0.47-1.10	8456-10163	0.11-0.25
7-kat	0.74-1.32	12912-20277	0.11-0.18

## MODELLEMEDE KULLANILAN PARAMETRELER

Plastik mafsallık özellikleri, kesitte bulunan boyuna ve enine donatı miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Moment-eğrilik hesabında kirişlerde eksenel yük sıfır, kolon ise, ölü yükler ve azaltılmış hareketli yüklerin toplamından oluşan eksenel yük miktarı dikkate alınmıştır. S220 sınıfı için yaygın kullanılan ikinci derece parabolik  $\sigma$ - $\epsilon$  modeli esas alınmıştır.

Pekleşmeli ikinci derece parabolik modelde pekleşmenin başladığı şekil değiştirme değeri 0.01 kabul edilmiştir. Plastik mafsallık boylarının hesabında (1) numaralı denklem kullanılmıştır (Priestley vd.,1996);

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

Burada;

$L_p$  plastik mafsalsal boyu,  $L_0$  plastik mafsalsal ile moment sıfır noktası arası mesafe,  $f_s$  boyuna donatı akma dayanımı ve  $d_{bl}$  boyuna donatı çapıdır.

### Moment Mafsallarının Tanımlanması

SAP2000 programında mafsallar Şekil 2’de tanımlanan kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde idealleştirilen beş nokta ile tanımlanmaktadır. “A” noktası orijini temsil ederken, “B” ve “C” noktaları kesitin akma ve nihai eğrilik değerleriyle ilişkilidir. “D” noktası kesitin dayanım kapasitesini kaybettiği nokta ve “E” noktası da kesitin göçtüğü noktayı temsil etmektedir. “C” ve “D” noktalarının şekildeğiştirme değerleri aynı olup, dayanım kapasitesinin “D” noktasında %20’ye düştüğü kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, kolon ve kirişler için; kesitin akma noktası olan “B” noktası,  $M-\phi$  grafiğinin eğiminden, “C”, “D” ve “E” noktaları da beton basınç-şekildeğiştirme ve çekme donatısındaki şekildeğiştirme değeriyle tanımlanmıştır. Beton basınç deformasyonu ( $\epsilon_{cu}$ ) kriteri için, en üst çekirdek beton lifi şekildeğiştirme değerinin hesaplanması için önerilen ve kabul görmüş (2) nolu formül kullanılmıştır (Priestley vd., 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. “C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekildeğiştirme kapasitesinin %50’sine ( $0.5\epsilon_{cu}$ ) ulaşmasına izin verilirken (Priestley, 2000), herhangi bir donatının kopması ( $\epsilon_s = \epsilon_{su}$ ) “E” kriteri olarak kabul edilmiştir.

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

Burada;  $\epsilon_{cu}$  kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,  $\rho_s$  hacimsel enine donatı oranı,  $f_{yh}$  enine donatı akma dayanımı,  $\epsilon_{su}$  çekme donatısı birim şekil değiştirme kapasitesi ve  $f_{cc}$  sargılı beton nihai dayanımıdır.

Yerdeğiştirme 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. Moment mafsallarından farklı olarak, kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanların kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme kapasiteleri TS500 (2000) e göre hesaplanmıştır.

Binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında Vision 2000 (1995) esas alınarak plastik deformasyon kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Plastik deformasyonun %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-deplasman ilişkisi üzerinde işaretlenmiştir.

### Analizlerde Kullanılan Deprem İvme 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 (Tablo 3).

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

Tanımlayıcı	Deprem	Tarih (Gün/Ay/Yıl)	Büyük­lük	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

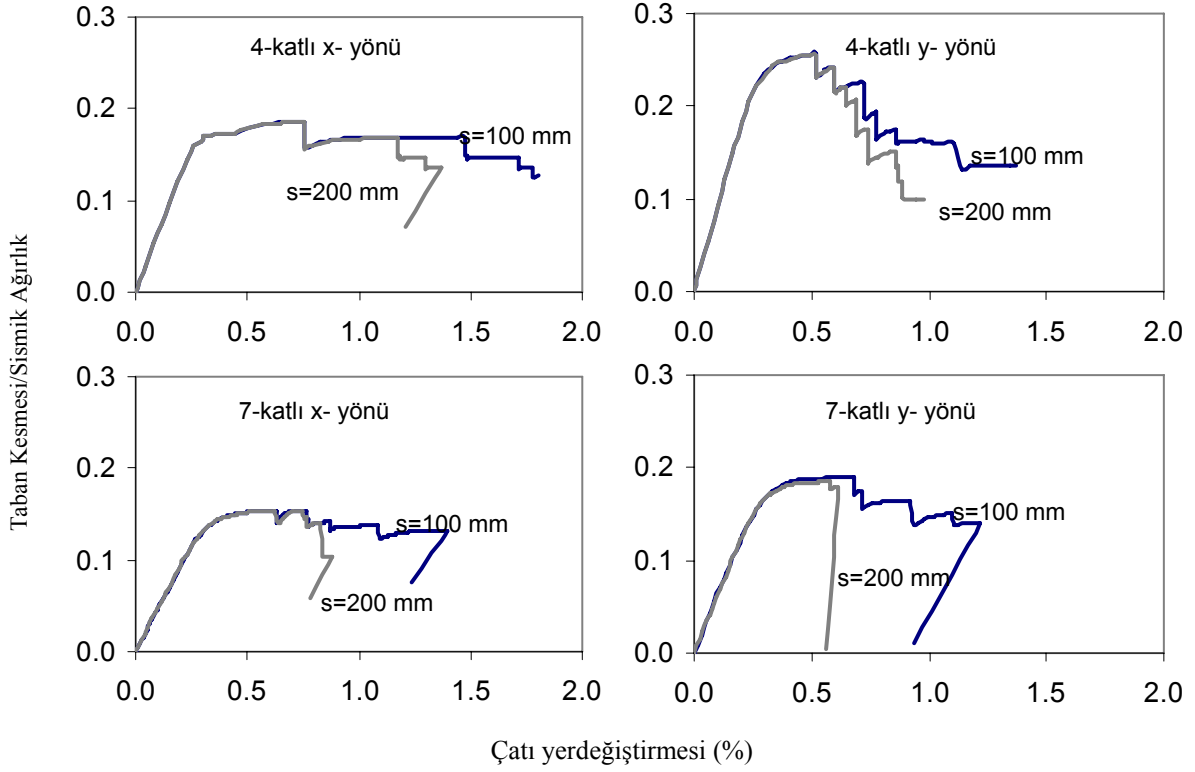
### ARTIMSAL İTME ANALİZİ

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 referans binalara ait 100- ve 200- mm etriye aralıkları için kapasite eğrileri verilmiştir. Enine donatı aralığının deplasman kapasitesi üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.

### PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

DBYBHY-2007’ye 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; yönetmelikte tanımlanan performans seviyeleri (Tablo 4) dikkate alınarak performans değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Artımsal itme analizi sonuçları ile Tablo 4’te 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 çatı katı yerdeğiştirme kapasitelerinin yapı yüksekliğine göre normalize edilmiş değerleri Tablo 5 ve 6’da 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 (Akkar vd., 2005).



Şekil 3. 4- ve 7- katlı referans yapıların 100- ve 200- mm etriye aralıkları için kapasite eğrileri

Tablo 4. Yönetmelik performans kriterleri ve tanımları (DBYBHY-2007, 2007)

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

Enine donatı aralığının ötelenme kapasitesi üzerindeki etkileri net olarak görülmektedir (Tablo 5 ve 6). Bununla birlikte Tablo 5 ve 6 incelendiğinde, 8 binada Hemen Kullanım (HK) ve Can Güvenliği (CG) durumları için yerdeğiştirme kapasitelerindeki düşüklükler göze çarpmaktadır. Bunun sebebi, bu binalarda kısa kolon davranışının oluşmasıdır. Kısa kolon davranışı 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 (Doğangün, 2004).

Tablo 5. 4- katlı binalara ait performans seviyeleri

Kat	Yapı No / Etriye Aralığı (mm)		Çatı katı görelî yerdeğîştirme oranı (%)		
			Hemen Kullanım (HK)	Can Güvenliğı (CG)	Göçmenin Önlenmesi (GÖ)
4-katlı (x-yönü)	1	100	0.54	1.10	1.48
		200	0.51	0.69	1.17
	2	100	0.51	1.08	1.33
		200	0.46	0.65	1.17
	3	100	0.49	1.51	2.02
		200	0.45	0.86	1.59
	4	100	0.28	0.69	1.17
		200	0.25	0.37	0.84
	5	100	0.33	0.81	1.22
		200	0.30	0.46	0.82
	6	100	0.26	0.55	0.88
		200	0.23	0.37	0.61
	7	100	0.33	0.81	0.88
		200	0.29	0.48	0.82
	8	100	0.28	0.59	0.92
		200	0.23	0.41	0.62
	9	100	0.34	0.93	1.10
		200	0.31	0.59	0.78
	10	100	0.26	0.56	0.87
		200	0.24	0.38	0.61
	11	100	0.07	0.07	1.36
		200	0.06	0.07	0.84
4-katlı (y-yönü)	1	100	0.23	0.60	0.86
		200	0.20	0.41	0.65
	2	100	0.31	0.68	0.77
		200	0.30	0.46	0.65
	3	100	0.36	0.70	1.03
		200	0.33	0.53	0.78
	4	100	0.17	0.38	0.70
		200	0.14	0.24	0.45
	5	100	0.22	0.49	0.69
		200	0.19	0.37	0.47
	6	100	0.17	0.42	0.65
		200	0.15	0.28	0.45
	7	100	0.23	0.48	0.59
		200	0.20	0.36	0.48
	8	100	0.18	0.42	0.66
		200	0.15	0.33	0.46
	9	100	0.22	0.61	0.84
		200	0.19	0.44	0.74
	10	100	0.28	0.54	0.82
		200	0.25	0.41	0.60
	11	100	0.06	0.06	1.14
		200	0.06	0.06	0.74

### ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ÖTESİ ANALİZ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMEİ

Son yıllarda yayımlanan uluslararası yönergelerde (ATC-40, 1996; FEMA-356, 2000; FEMA440, 2005) deprem etkisine maruz yapılarda maksimum global yerdeğîştirme istemlerinin hesaplaması



için farklı doğrusal ötesi yöntemler önerilmektedir. Bu metotlarda, bir yapıdaki doğrusal ötesi deformasyon istemi, “Eşdeğer” Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistem davranışı kullanılarak elde edilmektedir.

Tablo 6. 7- katlı binalara ait performans seviyeleri

Kat	Yapı No / Etriye Aralığı (mm)		Çatı katı görelî yerdeğîştirme oranı (%)		
			Hemen Kullanım (HK)	Can Güvenliğı (CG)	Göçmenin Önlenmesi (GÖ)
7-katlı (x-yönü)	1	100	0.43	0.65	1.40
		200	0.38	0.59	0.83
	2	100	0.43	0.63	1.04
		200	0.38	0.58	0.83
	3	100	0.44	0.72	1.13
		200	0.38	0.59	0.78
	4	100	0.33	0.54	0.66
		200	0.30	0.43	0.57
	5	100	0.30	0.48	0.61
		200	0.27	0.37	0.49
	6	100	0.25	0.40	0.60
		200	0.23	0.32	0.44
	7	100	0.35	0.53	0.56
		200	0.27	0.39	0.49
	8	100	0.25	0.41	0.59
		200	0.23	0.32	0.45
	9	100	0.31	0.48	0.63
		200	0.28	0.38	0.49
	10	100	0.25	0.42	0.60
		200	0.22	0.32	0.43
	11	100	0.08	0.08	0.98
		200	0.08	0.08	0.70
7-katlı (y-yönü)	1	100	0.36	0.48	0.68
		200	0.31	0.46	0.58
	2	100	0.37	0.55	0.73
		200	0.33	0.40	0.53
	3	100	0.44	0.70	0.86
		200	0.40	0.54	0.62
	4	100	0.25	0.38	0.54
		200	0.22	0.31	0.39
	5	100	0.27	0.41	0.60
		200	0.24	0.36	0.46
	6	100	0.19	0.32	0.47
		200	0.18	0.25	0.36
	7	100	0.27	0.42	0.56
		200	0.25	0.35	0.44
	8	100	0.19	0.33	0.44
		200	0.19	0.27	0.35
	9	100	0.31	0.50	0.63
		200	0.29	0.42	0.49
	10	100	0.26	0.40	0.54
		200	0.24	0.34	0.41
	11	100	0.08	0.08	0.95
		200	0.08	0.08	0.55

Artımsal itme analizinden elde edilen kapasite eğrileri 2007 Deprem Yönetmeliği kullanılarak iki doğrulu bir eğri haline getirilmiştir. Yapıların “Eşdeğer” TSD sistem modellerinin tanımlanmasında; akma dayanımının sismik ağırlık ile normalize edilmesi sonucu elde edilen akma dayanımı katsayısı, akma deplasmanı ve akma sonrası rijitlik katsayısı ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan binaların akma sonrası rijitlik katsayısı değerleri küçük olduğunda, enine donatı aralığı sadece nihai ötelenme değerini değiştirmektedir. Dolayısıyla göz önüne alınan depremlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanarak yerdeğiştirme istemlerinin hesabında, 88 model yerine 44 modele ait kapasite eğrileri “Eşdeğer” TSD sistem olarak idealize edilmiştir.

FEMA-356 (2000) ve ATC-40 (1996) dokümanlarında akma deplasmanının ifade edilmesi aynı iken akma dayanımı katsayısının ifadesi farklıdır. FEMA-440 (2005) dokümanında ATC-40 yaklaşımının daha gerçekçi sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada yönetmeliğimizde de yer alan ATC-40’daki yöntem kullanılmıştır.

“Eşdeğer” TSD sistem modeli oluşturulan her bir yapıya, Tablo 3’te verilen depremler uygulanmıştır. USEE (İnel vd., 2001) programı kullanılarak, 880 adet doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiş ve her bir sisteme ait yerdeğiştirme istemleri bulunmuştur. Elde edilen TSD sistemin deprem istemleri doğal titreşim moduna ait katkı çarpanı ile çarpılarak, çatı katı yerdeğiştirme istemleri hesaplanmıştır. Tablo 5 ve 6 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.

Tablo 7. Yapılarda gözönüne alınan performans seviyelerinin aşılma olasılığı

Deprem	Hemen Kullanım				Can Güvenliği				Göçmenin Önlenmesi			
	4-katlı		7-katlı		4-katlı		7-katlı		4-katlı		7-katlı	
	s=100 mm	s= 200 mm	s= 100 mm	s= 200 mm	s= 100 mm	s= 200 mm	s= 100 mm	s= 200 mm	s= 100 mm	s= 200 mm	s= 100 mm	s= 200 mm
AF02SULT.360	0.47	0.51	0.37	0.40	0.12	0.17	0.12	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
AF02SULT.090	0.47	0.51	0.38	0.40	0.12	0.18	0.12	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
BN03BING.360	1.00	1.00	0.58	0.84	0.59	0.96	0.17	0.31	0.16	0.51	0.00	0.00
BN03BING.090	0.62	0.74	0.33	0.64	0.15	0.32	0.12	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
AD98CEYH.090	0.74	1.00	1.00	1.00	0.25	0.70	0.33	0.53	0.00	0.10	0.02	0.19
AD98CEYH.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	0.96	0.62	1.00	0.07	0.28	0.05	0.32
DN95DINA.090	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.38	0.64	0.28	0.77
DN95DINA.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.42	0.53	0.66	0.92	0.10	0.23	0.15	0.58
DZ99BOLU.360	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.67	0.96	0.71	1.00
DZ99BOLU.090	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00
DZ99DUZC.180	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.92	1.00	0.56	0.82	0.26	0.36
DZ99DUZC.270	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.79	0.96	0.71	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	0.67	1.00	0.83	1.00	0.14	0.34	0.21	0.62
KC99DUZC.270	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.83	1.00	1.00	0.25	0.58	0.53	0.94
KC99GEBZ.180	0.70	0.70	0.62	0.84	0.25	0.31	0.15	0.52	0.05	0.12	0.00	0.03
KC99IZMT.090	0.83	0.83	0.65	1.00	0.20	0.62	0.26	0.42	0.00	0.05	0.03	0.12
KC99YARM.060	1.00	1.00	0.98	0.98	0.42	0.62	0.94	0.98	0.16	0.27	0.49	0.62
KC99YARM.330	1.00	1.00	1.00	1.00	0.53	1.00	1.00	1.00	0.26	0.32	0.28	0.83

Çalışmada kabul edilen düzensizliklerin yapı stoğundaki dağılımının aynı oranda olmaması nedeniyle performans değerlendirmesi ile ilgili verilecek istatistiksel ifadeler gerçeği yansıtmayacaktır. Bu nedenle yapısal düzensizliklerin dağılımı için İnel vd. (2004) tarafından

Denizli’de yapılan bina envanter çalışmasından faydalanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen yaklaşık dağılımlar: %35 düzenli bina (referans), %17 sinde bir taraftan kapalı çıkma, %8 inde iki taraftan kapalı çıkma, %15 inde zemin kat yüksekliği, zemin kat duvarları veya her ikisine bağlı yumuşak kat, %12 sinde kısa kolon, %8 inde yumuşak kat ve bir taraftan kapalı çıkma ve %5 inde de yumuşak kat ve iki taraftan kapalı çıkma şeklindedir. Bu dağılımın esas alındığı bir bina stoğu üzerinde ağırlıklı ortalama kullanılarak yapılan performans değerlendirmesi sonucu elde edilen performans seviyelerinin aşılma olasılıkları göz önüne alınan her bir ivme kaydı için Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 8’de de performans değerlendirmesi yapılan yapılar için performans seviyelerinin ortalama aşılma olasılığı istatistikleri verilmiştir.

Tablo 8. Kat sayısı ve etriye aralığına göre performans seviyelerinin ortalama aşılma olasılıkları

Yapı	Etriye Aralığı	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
4-katlı	s= 100 mm	0.890	0.580	0.330
	s= 200 mm	0.910	0.760	0.460
7-katlı	s= 100 mm	0.850	0.660	0.320
	s= 200 mm	0.900	0.760	0.520

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla Türkiye yapı stoğunda önemli bir yere sahip orta yükseklikteki binaları temsil ettiği düşünülen 4- ve 7- kattan oluşan toplam 44 adet binanın doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak ve 2007 Deprem Yönetmeliği kullanılarak sismik performans kapasiteleri hesaplanmıştır. . Seçilen binaların Türkiye’de son 20 yılda meydana gelen depremlerden oluşan bir set altındaki deplasman istemleri elde edilmiş ve kapasiteler ile karşılaştırılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Gözlemler ve bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- Enine donatı aralığının binaların yerdeğiştirme kapasiteleri üzerinde oldukça önemli etkisi vardır. Göçmenin önlenmesi seviyesi için ortalama aşılma oranları 100 ve 200 mm etriye aralığı için sırasıyla yaklaşık %30 ve %50’dir.
- Betonarme çerçevelerin güçlü ve dolgu duvarların zayıf olduğu yapılarda (bu çalışmada 7 katlı binalar) enine donatının önemi artmaktadır. Dolgu duvarlar tarafından taşınan yatay yük arttığında, betonarme elemanların katkısı azalmaktadır. Yani bu durumlarda betonarme elemanlardaki enine donatı aralığı daha az belirgin olmaktadır.
- Dolgu duvar miktarı bağımsız olduğunda, betonarme elemanların dayanımı kat sayısı ile doğrudan alakalıdır. Kat sayısı arttıkça, aynı miktar dolgu duvara sahip daha güçlü betonarme elemanlar oluşmaktadır. Bundan dolayı, dolgu duvarların önemi zayıf çerçevelerden teşkil edilmiş az katlı yapılarda daha belirgindir.
- Yapı setinin artımsal itme analizleri sonucunda kuvvetli kiriş-zayıf kolon mekanizmasının yapıların birçoğunda yaygın bir problem olarak oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Yapısal düzensizlikler binaların sismik performanslarını etkilemektedirler. Kısa kolon ve ağır kapalı çıkmalara sahip yumuşak katlı yapılar *Can Güvenliği* performans düzeyi için en kritik durumlardır. Bu çalışmada ayrıntısı burada verilmemekle birlikte, hem 4- hem de 7- katlı yapılar için ağır kapalı çıkmalara sahip yumuşak katlı yapıların *Göçmenin Önlenmesi* seviyesi için en fazla hasar verici yapılar olduğu gözlenmiştir. Düzensizliklerin etkisi 7- katlı yapılarda 4- katlı olanlara göre daha belirgindir.
- Bu çalışmada 4- katlı yapıların desplasman kapasiteleri daha fazla olmasına rağmen, performans değerlendirmesinde elde edilen aşılma olasılıkları arasında kayda değer farklılıkların olmaması, 4- katlı yapıların 7- katlılara göre daha yüksek talepler gerektirdiğini göstermiştir. Diğer yandan, ülkemizdeki binaların yerdeğiştirme kapasiteleri, kat sayısı arttıkça azalmaktadır. Bu nedenle, hangi bina grubunun olası bir depremde daha fazla hasar alacağını kestirmek oldukça güçtür.

Sonuç olarak diyebiliriz ki; Türkiye yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış kat sayısı 3~8 arasında değişen birçok bina mevcuttur. Bu yapıların yatay yük dayanımlarının düşük olması ve yüksek deprem talepleri gerektirmesi, yapı kalitesinin kötü ve tasarlandıkları dönem itibarıyla geçerli olan yönetmeliğin daha düşük şartlar içermesi gibi nedenlerle açıklanabilir. Dolayısıyla bu yapılardan yeterli bir sismik performans beklemek gerçekçi değildir. Özellikle yerdeğiştirme istemlerinin fazla olduğu bu tip yapılarda; yatay yerdeğiştirme istemlerini sınırlandıracak çözümler üzerinde durulması gerekmektedir. Seçeneklerden birisi de büyük rijitlik ve dayanımları nedeniyle yerdeğiştirme istemlerini azaltarak çeşitli süneklik kusurlarının etkilerini düşüren perde duvarların her iki yönde yeterli seviyede kullanılmasıdır.

## Teşekkür

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

## KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975. (ABYYHY-1975).  
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998. (ABYYHY-1998).  
 Akkar S, Sucuoglu H, Yakut A (2005) "Displacement based fragility functions for low- and mid-rise ordinary concrete buildings" *Earthquake Spectra*, 21(4):901-927  
 Aschheim M. and Gulkan, P. (2000). "Performance of buildings, 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Reconnaissance Report", supplement to vol. 16 *Earthquake Spectra*.  
 ATC-40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Applied Technology Council, Vol 1. Washington, DC. USA.  
 CSI, SAP2000 V-8 (2002) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Basic Analysis  
 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 Zealand, Paper No:820.  
 Dogangun A (2004) "Performance of reinforced concrete buildings during the May 1 2003 Bingöl earthquake in Turkey", *Engineering Structures*, 26(6): 841-856.  
Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007 (DBYBHY-2007).  
 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.  
 FEMA-440 (2005) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by *ATC for American Society of Civil Engineers for Federal Emergency*, Washington, D.C.  
 Inel M, Senel SM, Toprak S, Kayhan AH, Yilmaz S (2004) "Building damage assessment of urban areas: A case Study for Denizli", *ACE 2004 6th International Congress on Advances in Civil Engineering* October, 6-8, , Istanbul, Turkey.  
 Inel M, Bretz E, Black E, Aschheim M, Abrams D (2001) 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/>  
 Priestley, MJN (2000) "Performance Based Seismic Design", *Proceedings, 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, Paper No: 2831.  
 Priestley MJN, Seible F, Calvi GMS (1996). Seismic Design and Retrofit of Bridges. *John Wiley & Sons*, Inc., New York.  
 Scott BD, Park R, and Priestley MJN (1982) "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates", *ACI Structural Journal*, 76(1): 13-27.  
 TS 498 (1987) Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *TSE*, Ankara.  
 TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *TSE*, Ankara.  
 Vision 2000 (1995) Soulages, J., ed. Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Sacramento, CA, 2 vols, April 3.