



## Orta Katlı Betonarme Yapıların Deprem Performansları

Hüseyin BİLGİN, Mehmet İNEL ve Hayri Baytan ÖZMEN  
Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kınıklı/DENİZLİ

**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 göz önüne alındığında, dikkatler çoğunluğunu 3-8 kat arası binaların oluşturduğu betonarme yapıların yetersiz performansları üzerinde yoğunlaşmıştır. Gözlenen hasarların başlıca nedenleri arasında, proje ile uygulama arasında beton kalitesi, donatı miktarı ve detayları, taşıyıcı eleman boyut ve yerleşimleri açılarından önemli farklılıklar bulunması, zemin katın işyeri amacıyla kullanılması sonucu oluşan yumuşak kat, zayıf kolon-kuvvetli kiriş, ağır kapalı çıkımlar, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-75) öncesi inşa edilen yapıların projelerinde gözönüne alınmış olan deprem yüklerinin az olması ve yetersiz konstrüktif detaylar ile zamana ve çevresel şartlara bağlı oluşan hasarlar sayılabilir. Çalışmanın amacı, deprem riski yüksek olan ülkemiz yapı stoğunun büyük bölümünü oluşturan orta yükseklikteki betonarme binaların deprem performanslarını Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2006'ya (DBYBHY-2006) göre değerlendirmektir. Orta katlı yapıları temsil etmesi için 4 ve 7 katlı 14 adet bina seçilmiştir. Her bir yapı statik itme (artımsal itme) analizine tabii tutulmuş, yapılara ait kapasite eğrileri hesaplanmıştır. DBYBHY-2006'ya göre, hesaplanan kapasite eğrileri ışığında her bir yapıya ait deprem performansları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme yapı stoku, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik-2006, Doğrusal ötesi statik analiz, Performansa dayalı değerlendirme.

### 1 GİRİŞ

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde çok kısa denebilecek zaman aralıkları içerisinde yıkıcı depremler meydana gelmiştir. 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. Ülkemizde meydana gelen bu depremlerde, birçok betonarme konut yapısal özelliklerinin yetersizliklerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı önemli derecede hasar görmüş ve can kayıplarına neden olmuştur.

Türkiye'de orta ve büyük depremler altında büyük hasara uğraması muhtemel binlerce konut yapısı vardır [1]. Genel olarak, kat sayısı 3~8 arasında değişen yükseklikteki bu yapılarda betonarme çerçevelerden teşkil edilmiş taşıyıcı sistemlerde oldukça kötü detaylandırılmış malzeme ve kötü işçiliğe rastlanılmaktadır [2]. Yaşanan depremlerde gözlenen genel problemler, zemin kat yüksekliğinin artırılması veya işyeri olarak kullanılan zemin katta geniş alan isteği nedeniyle bölme duvarların olma-

ması nedenleriyle oluşan yumuşak kat, zayıf kolon-kuvvetli kiriş, ağır kapalı çıkımlar ve enine donatı aralığının öngörülenden çok fazla olması olarak sayılabilir.

Bu çalışmada mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1975'e [8] göre tasarlanmış, 4 ve 7 kattan oluşan toplam 14 adet konut yapısına ait projeler incelenmiştir. Bu projelerin incelenmesinde DBYBHY-2006 [13] final versiyonuna eklenen "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünde yer alan doğrusal ötesi statik analiz yöntemleri ve deprem performansının belirlenmesi ilkeleri kullanılmıştır. Yönetmelikte öngörülen performans düzeylerinin sağlanıp sağlanmadığı irdelenmiştir.

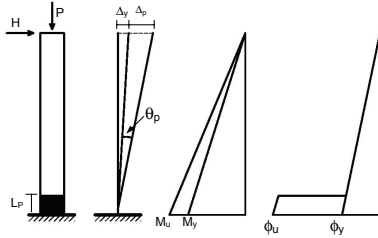
### 2 ÇALIŞMANIN AMACI

Çalışmanın amacı, ülkemiz konut yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan orta katlı konut yapılarının doğrusal ötesi davranışlarının dikkate alınmasıyla performans değerlendirmesini yapmaktır. Orta katlı binaları temsil etmesi için farklı özelliklerde 14

adet bina seçilmiş ve uygulamada karşılaşılabilecek etriye sıklıkları dikkate alınması sonucu iki farklı etriye aralığı düşünülmüştür. Her bir binanın x ve y doğrultuları da dikkate alındığında toplam 56 adet model oluşturulmuştur. Doğrusal ötesi davranış, doğrusal ötesi statik itme analizi ile ifade edilmiştir.

### 3 KULLANILAN YÖNTEM

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

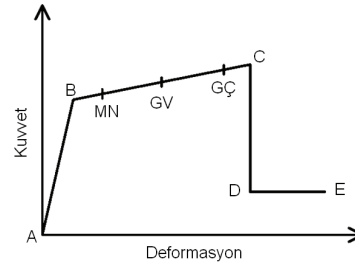


Şekil 1. Yığılı plastik davranış hipotezi

Yığılı plastik hipotez uyarınca kiriş, kolon türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılabilir. Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü 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 davranış Şekil 2'de gösterilen kuvvet-deformasyon eğrisi ile ifade edilebilir [3]. Bir elemanın davranışının ifade edilebilmesi, B, C ve E noktalarının belirlenmesi ile mümkün olur. Eleman uçlarında eğilme, kesme ve eksenel yük mafsalları tanımlanmıştır. Kesme mafsalları özellikle etriye aralığının yeterli sıklıkta olmadığı yapılarda oluşabilecek kesme hasarlarını göz önüne alır.

Artımsal itme analizi için oluşturulan modellerde FEMA-356 [3], ATC-40 [4], FEMA-440 [5] dökümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [6]. SAP2000'de her bir eleman için oluşturulan kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiş ve plastik mafsallı özellikleri; eleman boyutları, boyuna donatı ve sargı donatısı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, Geliştirilmiş Kent-Park beton modeli ile yapılmıştır [7]. Doğrusal ötesi statik itme analizinde kullanılan yüklenme şekli, toplanmış kat kütleleri ve lineer dinamik

analizden elde edilen mod şekliyle (x- ve y- yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır.



Şekil 2. Kuvvet-deformasyon eğrisi

### 4 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 toplam 14 adet farklı karakteristikte konut yapısı seçilmiş ve 1975 Afet Yönetmeliği [8] 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. Yüklemeler TS 498'e göre tanımlanmıştır [9]. 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 Çizelge 1 ve 2'de görülmektedir. Modelleme ve analizde SAP2000 programı kullanılmıştır. Malzeme özellikleri olarak BS16 beton sınıfı ve S220 çelik kullanılmıştır. 10 ve 20 cm olarak kullanılan etriye aralıkları sırasıyla 1975 Afet Yönetmeliği için sünek ve sünek olmayan olumsuz durumları temsil etmektedir.

Sistemin doğrusal ötesi davranışını her bir elemanın doğrusal ötesi davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Betonarme elemanlar en büyük kesit tesislerine uç bölgeler maruz kalmaktadır. Bu nedenle hasar ve dolayısıyla da doğrusal ötesi davranışın yoğunlaştığı bölgeler, buralarda oluşmaktadır.

Çizelge 1. 4-katlı binalara ait karakteristik özellikler

| 4 Katlı Binalar |                           |        |      |                    |
|-----------------|---------------------------|--------|------|--------------------|
| Bina No         | W <sub>sismik</sub> (ton) | T (sn) |      | H <sub>N</sub> (m) |
|                 |                           | X      | Y    |                    |
| 1               | 862                       | 0.57   | 0.56 | 11.2               |
| 2               | 948                       | 0.63   | 0.58 | 11.2               |
| 3               | 1017                      | 0.68   | 0.61 | 11.2               |
| 4               | 866                       | 0.70   | 0.69 | 12.4               |
| 5               | 966                       | 0.80   | 0.73 | 12.4               |
| 6               | 1036                      | 0.80   | 0.76 | 12.4               |
| 7               | 879                       | 0.54   | 0.48 | 11.2               |

Çizelge 2. 7-katlı binalara ait karakteristik özellikler

| 7 Katlı Binalar |                           |        |      |                    |
|-----------------|---------------------------|--------|------|--------------------|
| Bina No         | W <sub>sismik</sub> (ton) | T (sn) |      | H <sub>N</sub> (m) |
|                 |                           | X      | Y    |                    |
| 1               | 1723                      | 0.78   | 0.78 | 19.6               |
| 2               | 1730                      | 0.87   | 0.82 | 20.8               |
| 3               | 1898                      | 0.94   | 0.85 | 19.6               |
| 4               | 2040                      | 0.88   | 0.82 | 19.6               |
| 5               | 1925                      | 0.98   | 0.92 | 20.8               |
| 6               | 2067                      | 1.06   | 0.95 | 20.8               |
| 7               | 1728                      | 0.74   | 0.74 | 19.6               |

## 5 YAPILARIN ANALİTİK MODELLEMESİ

Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [6]. 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. 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 olarak dikkate alınmıştır. Plastik mafsallık boyutlarının hesabında (1) numaralı denklem kullanılmıştır [10];

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

Burada;

$L_p$  : Plastik mafsallık boyu,  
 $L_0$ : Moment sıfır noktası-plastik mafsallık arası mesafe,  
 $f_{sy}$ : Yanal donatı akma dayanımı,  
 $d_{bl}$ : Boyuna donatı çapıdır.

### 5.1 Moment Mafsallarının Modellenmesi

SAP2000 programında mafsallar Şekil 2.'de tanımlanan kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde idealleştirilen beş nokta ile tanımlanmaktadır. Şekil üzerinde gösterilen "C" ve "D" noktaları aynı deformasyona karşı geldiğinden "C" noktasının tanımlanması ile "D" noktası da tanımlanmış olacaktır. Bu çalışmada,

kolon ve kirişler için; kesitin akma noktası olan "B" noktası, M- $\phi$  grafiğinin eğiminden, "C" 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) nolu formül kullanılmıştır [10]. 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 [11]. Her iki eleman için de, herhangi bir donatının kopması ( $\epsilon_s = \epsilon_{su}$ ) "E" noktası olarak kabul edilmiştir.

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

Burada;

$\epsilon_{cu}$  : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,  
 $\rho_s$  : Donatı hacimsel oranı,  
 $f_{yh}$  : Sargı donatısının akma dayanımı,  
 $\epsilon_{su}$  : Sargı donatısının birim şekil değiştirmesi,  
 $f_{cc}$  : Sargılı beton basınç dayanımıdır.

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.

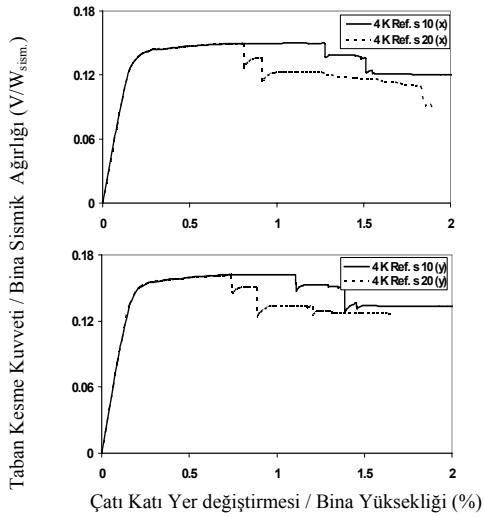
Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları da tanımlanmıştır. Kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanlar kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme kapasiteleri TS500' e göre hesaplanmıştır [12].

Binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında Afet Yönetmeliği kriterleri esas alınmıştır; Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olarak ifade edilmiştir [13]. Söz konusu sınırlar Şekil 2'de gösterilen tipik eleman için doğrusal ötesi kuvvet-deplasman ilişkisi üzerinde gösterilmiştir.

## 6 ARTIMSAL İTME ANALİZİ

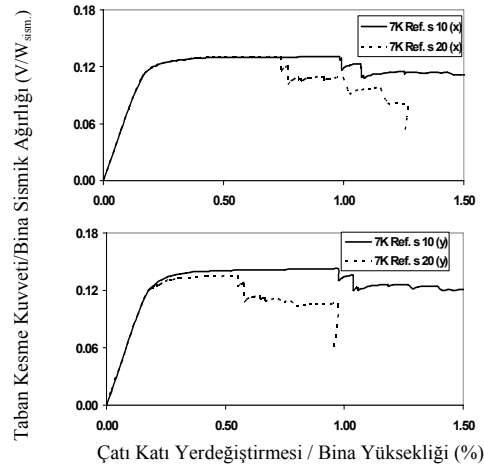
Yapıların yatay yükler altındaki davranış özelliklerinin ve performans seviyelerinin belirlenmesine yönelik yapılan artımsal itme (pushover) analizleri, genel olarak yapıda adım adım artırılan yanal yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değişiminin yapı elemanlarındaki elastik olmayan davranış özellikleri 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 deplasmanı ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle karakterize edilir. Pratikte kullanımı 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 mertebeye etkilerinin de dikkate alınmasıyla kat hizalarında uygulanmıştır. Şekil 4 ve 5'te sırasıyla 4 ve 7 katlı referans yapılar için 10 ve 20 cm. etriye aralıkları 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 3. 10 ve 20 cm. etriye aralıkları için  $x$ - ve  $y$ - yönleri

kapasite eğrileri (4- katlı yapılar için)



Şekil 4. 10 ve 20 cm. etriye aralıkları için  $x$ - ve  $y$ - yönleri kapasite eğrileri (7- katlı yapılar için)

## 7 DBYBHY-2006'YA GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

## 7.1 Performans Hesabı

Özellikle son 20 yıl içerisinde meydana gelen yıkıcı depremlerden sonra yapılan binaların belirli standartlarda olması için kurallar getirilmeye çalışılmış ve bunlar deprem 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 [14], 2005 yılı ortalarında taslak olarak tekrar düzenlenmiş [15] ve 2006 yılında tekrar revize edilmiş ve resmi gazetede yayınlanmıştır [13].

Deprem Yönetmeliği 2006'ya 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 Çizelge 3'te özetlenmiştir (DBYBHY, 2006).

Çizelge 3. Afet Yönetmeliği 2006'ya göre performans kriterleri ve tanımları

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

Çizelge 4. 4 katlı binalara ait performans seviyeleri

| Kat                | Bina No/<br>Etriye Aralığı<br>(cm) | V/W <sub>sis</sub> | Çatı katı görelî öte-<br>lenme oranı, % |      |      |      |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|---|------|------|------|
|                    |                                    |                    | HK                                      | CG   | GÖ   |      |
| 4-katlı (x-y-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-z-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 |

Çizelge 5. 7 katlı binalara ait performans seviyeleri

| Kat                | Bina No/<br>Etriye Aralığı<br>(cm) | V/W <sub>sis</sub> | Çatı katı görelî öte-<br>lenme oranı, % |      |      |      |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|---|------|------|------|
|                    |                                    |                    | HK                                      | CG   | GÖ   |      |
| 7-katlı (x-y-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-z-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 |

Artımsal itme analizi sonuçları ile DBYBHY-2006'da verilen performans kriterleri kullanılarak her bir bina için tanımları yapılan performans seviyelerine karşılık gelen deplasman kapasiteleri elde edilmiştir. Deplasman kapasitesi olarak çatı katı deplasmanı kullanılmış ve bu deplasmanın bina yüksekliği ile normalize edilmiş değerleri Çizelge 4 ve 5'te verilmektedir.

Final Yönetmelikte konut yapıları için tasarım depreminde CG durumu hedeflenmekle birlikte, bu çalışmada diğer durumların da (HK, GÖ) hangi seviyelere karşı geldiği hesaplanmıştır. Talepler üç değişik seviyede depremlerle ifade edilmiştir; sık olan, tasarım ve ender olan depremler. Sık ve ender olan depremler şu an kullanılmakta olan 1998 Afet Yönetmeliğinde tanımlanan tasarım depremi talep spektrumunun yarısı ve 1.5 katı olarak alınmıştır. Talepler elde edilirken bina önem katsayısı uygulanmamıştır.

Kapasite eğrileri ile performans düzeylerine karşı gelen deprem talepleri kullanılarak yer değiştirme istemleri Afet Yönetmeliği'nin 7. Bölümüne göre belirlenmiştir [13]. Bunun için binaların gözönüne alınan yönlerdeki birinci mod periyotlarının hakim periyot olduğu kabulü yapılmıştır. 4- ve 7-katlı yapılara ait elde edilen yer değiştirme istemleri sırasıyla Çizelge 6 ve 7'de özetlenmiştir. Göz önüne alınan 14 binanın her iki yönü için hesaplanan 28 deprem isteminin, yapıların 10 ve 20 cm etriye aralıklarına sahip olması halı dikkate alınarak toplam 56 durum için performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 6. 4-katlı binalara ait HK, CG ve GÖ durumları için yer değiştirme istemleri

| Bina No | Yön | PF <sub>1</sub> | $\alpha_1$ | Performans Noktası, $\Delta_{çatı}/H_{bina}$ (%) |      |      |
|---------|-----|-----------------|------------|--|------|------|
|         |     |                 |            | 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 |

Çizelge 4-7 incelendiğinde, binaların için bulunan performans seviyelerinin hiçbiri yönetmelikçe ön-

görülen yerdeğiştirme taleplerini (istemlerini) karşılayamamaktadır.

Çizelge 7. 7-katlı binalara ait HK, CG ve GÖ durumları için yerdeğiştirme istemleri

| Bina No | Yön | PF <sub>1</sub> | $\alpha_1$ | Performans Noktası, $\Delta_{çatı}/H_{bina}$ (%) |      |      |
|---------|-----|-----------------|------------|--|------|------|
|         |     |                 |            | 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 [8] göre tasarlanmış, 4- ve 7-kattan oluşan toplam 14 adet konut yapısına ait projeler incelenmiştir. Bu projelerin incelenmesinde DBYBHY-2006 [13] final versiyonuna eklenen "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünde yer alan doğrusal ötesi statik analiz yöntemleri ve deprem performansının belirlenmesi ilkeleri kullanılmıştır. Yönetmelikte öngörülen performans düzeylerinin sağlanıp sağlanmadığı irdelenmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sargı donatısının deplasman kapasitesi üzerinde oldukça önemli etkisi vardır. Özellikle 4-katlı yapılardan gözlemlenen sonuçlara göre etriye aralığının artması deplasman kapasitesini %50'ye varan oranda azaltmakta, aynı durum 7-katlı yapılarda %40 mertebelerine ulaşmaktadır.

- ABYYHY 75'e göre yapılan binalarda öngörülen düşük yatay dayanım nedeniyle büyük deplasman istemleri ile karşılaşmaktadır. Bu yapılar özellikle etriye aralığının yetersiz olduğu durumlarda öngörülen güvenlik seviyelerini karşılamakta oldukça uzlaşmaktadırlar.

• Çizelge 6 ve 7 incelendiğinde, Afet Yönetmeliği 2006'ya göre 10 ve 20 cm. etriye aralığında hedeflenen yer değiştirme istemleri aynıdır. Hesaplanan bu istemler ve elde edilen performans seviyeleri karşılaştırıldığında analizi yapılan hiçbir konut yapısı öngörülen yer değiştirme istemlerini karşılayamamaktadır.

Ülkemiz yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış kat sayısı 3~8 arasında değişen birçok konut yapısı mevcuttur. DBYBHY-2006 kriterlerine göre bu aralığı temsil etmesi için seçilen 14 adet 4- ve 7-katlı konut yapısının performans değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Öngörülen performans seviyesine hiçbir yapı ulaşamamıştır. Düşük rijitlik ve dayanımdan dolayı, deprem enerjisini sönmüleyebilmek için büyük yer değiştirme istemlerinin fazla olduğu bu tip yapılarda; büyük rijitlik ve dayanımları nedeniyle deplasman istemlerini azaltarak çeşitli süneklik kusurlarının etkilerini düşüren perde duvarların her iki yönde yeterli seviyede kullanılmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

## 9 KAYNAKLAR

- [1] D. D'Ayala and A. W. Charleson, 2000. "Review of Seismic Strengthening Guidelines for R.C Buildings in Developing Countries". *Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zeland, Paper No:820.
- [2] Aschheim M., Gulkan P.et al , 2000, "Performance of buildings, 1999 Kocaeli, Turkey, "EarthquakeReconnaissance Report", supplement to vol. 16 Earthquake Spectra.
- [3] 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.
- [4] ATC-40, 1996., "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Vol 1. Washington, DC. USA.
- [5] 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
- [6] CSI, SAP2000 V-8, 2002. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- [7] Scott BD, Park R, Priestley MJN. Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates. *ACI Structural Journal* 1982;76(1):13-27.
- [8] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYHY-1975).
- [9] TS 498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, Ankara.
- [10] Priestley M.J.N, Seible F, Calvi G.M.S., 1996. Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York.

- [11] Priestley, M. J. N., 2000 "Performance Based Seismic Design". *Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zeland, Paper No:2831.
- [12] TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- [13] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Final, 2006 (DBYBHY-2006 Final).
- [14] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1997 (ABYYHY-1997).
- [15] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Taslak 1 (ABYYHY-2005 Taslak-1).
- [16] Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N., 2003. Destructive Earthquakes in Turkey, [http:// www. deprem. gov. tr/reports. html](http://www.deprem.gov.tr/reports.html).
- [17] Ozcebe G., Ramirez J., Wasti T.S., Yakut A., 2004. *1 May 2003 Bingöl Earthquake Engineering Report*, Publication No:2004/1.
- [18] Priestley, M. J. N., 1997. Displacement -Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 157-192.
- [19] 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 Practise in Turkey, *Engineering Structures*, Vol. 25, pp:103-114.
- [20] Sucuoğlu H., 2000. The 1999 Kocaeli and Düzce-Turkey Earthquakes, [www.metu.edu.tr/home/www.eerc/guncel/koca-dzc.pdf](http://www.metu.edu.tr/home/www.eerc/guncel/koca-dzc.pdf).
- [21] Yakut A, Gulkan P, Bakır BS, Yılmaz MT. Re-examination of damage distribution in Adapazari: structural considerations. *Engineering Structures*, 2005; 27(7): 990-1001.