



## DBYBHY2007 VE FEMA440 DA ÖNERİLEN PERFORMANS NOKTASI BELİRLEME YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

### COMPARISON OF THE PERFORMANCE POINT DETERMINATION APPROACHES PROPOSED IN TEC2007 AND FEMA440

Konuralp GİRGIN<sup>1\*</sup>, Ercan YÜKSEL<sup>2</sup>, Arda KARABULUT<sup>3</sup>, Selim ÇAKIRTERZİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul.  
girgink@itu.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul.  
yukseleerc@itu.edu.tr

<sup>3</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul.  
karabulutarda@gmail.com, selimcakirterzi@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 22.06.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 25.09.2012

doi: 10.5505/pajes.2013.02996

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

#### Özet

Mevcut betonarme yapı sistemlerinin performansa dayalı hesabında, kapasite ve istem eğrilerinin kesleştirilmesi ile elde edilen performans noktasının belirlenmesi için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY2007) de,  $T_B$ 'den daha uzun periyotlu yapılar için eşit yerdeğiştirme prensibine dayalı bir yöntem izlenirken, FEMA440 da efektif periyot ve sönüm tanımlarına dayalı bir ardışık yaklaşım yöntemi önerilmektedir. Bu çalışmada, düzenli betonarme yapı sistemlerini temsil edecek şekilde seçilen, farklı kat sayılarına sahip çerçeve ve perde-çerçeve türü taşıyıcı sistemi olan binalar üzerinde çalışılmıştır. Bu binalar için DBYBHY2007 ve FEMA440 da tanımlanan performans noktası belirleme yaklaşımları kullanılarak elde edilen deprem istemleri, birbirleriyle ve "kesin çözüm" olarak kabul edilen Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz (ZTADOA) ile bulunan deprem istemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu istemler arasında tepe yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti, görelî kat ötelemeleri bulunmaktadır. İncelenen sistemlerde, DBYBHY2007 ile belirlenen istemlerin "kesin çözüm" olarak kabul edilen ZTADOA sonuçlarına daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Performansa dayalı hesap, Performans noktası, Betonarme yapı sistemleri, Eşit yer değiştirme kuralı, Deprem istemi.

#### Abstract

There are different approaches in the performance based design of the existing reinforced concrete structures, regarding the determination of the intersection point of capacity and demand curves. While the equivalent displacement approach is employed in Turkish Earthquake Code (TEC2007), a successive approximation technique based on the effective period and damping is suggested in FEMA440. Frame type and wall-frame type regular structures with different number of stories are selected to discuss the approaches on the performance point determination techniques proposed in TEC2007 and FEMA440. The resulting earthquake demands are compared with each other and also those obtained from the nonlinear time history analyses. Top displacement, base shear, relative story drift are amongst the discussed demand parameters. It is shown that for the structures considered in this study, the demands obtained from the TEC2007 procedure are more close to the nonlinear time history analyses results.

**Keywords:** Performance based design, Performance point, Reinforced concrete structures, Equal displacement rule, Earthquake demand.

## 1 Giriş

Deprem etkisindeki yapı sistemlerinin performansa dayalı hesabında kullanılan ve ATC-40, [1]'de önerilen kapasite spektrum yöntemi ile FEMA-273, [2] ve FEMA-356, [3]'de önerilen yer değiştirme katsayıları yöntemi doğrusal olmayan statik hesap yöntemleridir.

Kapasite spektrum yönteminde, yapıda oluşan doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenmektedir. Yutulan enerji miktarı ve karşı gelen eşdeğer sönüm yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Performans noktası adı verilen kesişim noktasında, binadan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi, seçilmiş deprem durumu için yapının yerdeğiştirme talebi ile yatay yük taşıma kapasitesinin ilişkili olduğu esasına dayanmaktadır. Yerdeğiştirme talebi, grafik yöntem yerine sayısal olarak hesaplanmaktadır. Bu amaçla taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak değişen, yapının periyot, çevrimsel davranış ve

ikinci mertebeye etkilerinin büyüklüğüne bağlı olan katsayılar kullanılmaktadır.

Fajfar'ın [4] önerdiği N2 metodu, kapasite spektrum yöntemini inelastik talep spektrumu kullanarak uygulamaktadır. Lin v.d., [5] yaptıkları deneysel çalışma sonuçları ile kapasite spektrum yöntemi ve yerdeğiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarını karşılaştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, yerdeğiştirme katsayıları yönteminin daha büyük yerdeğiştirme istemleri öngördüğü belirtilmiştir.

FEMA-440, [6]'da performansa göre tasarımda kullanılabilecek gelişmiş yeni yöntemler yer almaktadır. Etkif periyot ve sönüm tanımları kullanılmakta, ardışık yaklaşıma dayalı yöntemler izlenerek performans noktası bulunmaktadır.

DBYBHY2007, [7]'de ise mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri önerilmektedir. Bu yöntemlerin uygulanmasına yönelik açıklamalı örnekler Aydınoglu v.d., [8] de yer almaktadır.

DBYBHY2007'ye göre boyutlandırılan, orta yükseklikte düzenli çerçeve ve perde-çerçeve türü taşıyıcı sisteme sahip betonarme yapı sistemlerinin statik itme analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bunu takiben aşağıda sıralanan hesap aşamaları gerçekleştirilmiştir.

1. DYBHY2007'de tanımlandığı biçimde performans noktaları belirlenmiş, yapısal deprem istemleri bulunmuştur.
2. FEMA-440 da efektif periyot ve sönüm tanımlarına dayalı bir ardışık yaklaşım yöntemi izlenerek performans noktaları bulunmuş ve yapısal deprem istemleri belirlenmiştir.
3. DBYBHY2007 yönetmeliğinde öngörülen tasarım ivme spektrumu tanımına uygun olarak benzeştirilmiş 7 adet deprem ivme kaydı için ZTADOA ile hesap yapılarak 'ortalama deprem istemleri' elde edilmiştir.
4. Ortalama deprem istemleri, DBYBHY2007 ve FEMA440 yaklaşımları ile elde edilen performans noktalarına karşı gelen deprem istemleri ile karşılaştırılmıştır.

DBYBHY2007'de tanımlanan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile elde edilen kapasite eğrisinin, istem eğrisi gibi doğrusal-elastik biçime çevrilmesi istenmekte ve bu nedenle kapasite eğrisinin başlangıç teğeti kullanılmaktadır. Bu teğetin elastik istem spektrumunu kestiği nokta, sistemin yatay yerdeğiştirme istemini vermektedir. Doğrusal-elastik davranış durumu için belirlenen büyüklükler, sistemin doğrusal davrandığını bir başka deyişle depremden dolayı taşıyıcı sistemde hasar oluşmadığını ifade etmektedir. Eşit yerdeğiştirme prensibi uyarınca,  $S_{de1}$  doğrusal-elastik spektral yerdeğiştirmesinden  $S_{di1}$  doğrusal-elastik olmayan spektral yerdeğiştirmesine geçilir. Hakim periyodu büyük yapılarda doğrusal-elastik ve doğrusal-elastik olmayan yerdeğiştirmeler yaklaşık olarak eşit kabul edilirken, hakim periyodu küçük yapılarda doğrusal-elastik olmayan spektral yerdeğiştirme,  $S_{de1}$  in bir katsayı ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (C_{R1} > 1) \quad (1)$$

Spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$ ;  $T_1$  başlangıç periyodunun, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme ilişkisinde bulunduğu konuma göre farklı yaklaşımlar ile belirlenmektedir.

FEMA440 yaklaşımında; efektif periyot  $T_{eff}$  ve efektif sönüm  $\beta_{eff}$  deprem istemine bağlıdır. Eşdeğer doğrusallaştırma ile bulunan en büyük yerdeğiştirme (performans noktası) grafik yöntemler ile ardışık yaklaşım uygulanarak belirlenmektedir. Bu amaçla üç yöntem önerilmiştir. İzlenen yol genel hatlarıyla aşağıda özetlenmiştir.

1. Zemin ve kuvvetli yer hareketinin özelliklerine göre spektral istem eğrisi  $\beta_{eff} = \% 5$  alınarak oluşturulur.
2. Zemin yapı etkileşimi dikkate alınacaksa, FEMA 440 Bölüm 9'da tanımlanan yol izlenerek spektral istem eğrisi düzenlenir.
3. ATC40'da tanımlanan yöntem kullanılarak; ivme spektrumu, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülür.
4. Yapı sisteminin kapasite eğrisi elde edilir. Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülür.
5. Bir başlangıç performans noktası ( $\max a_{pi}$  ve  $\max d_{pi}$ ) seçilir. Bu seçim, eşit yerdeğiştirme kuralına göre ya da deneyimle doğrudan yapılabilir.
6. ATC40'da tanımlanan yola uygun olarak kapasite eğrisi iki doğrulu biçime dönüştürülür. Bu dönüşüm ile başlangıç periyodu  $T_0$ , akma yerdeğiştirmesi  $d_y$  ve akma ivmesi  $a_y$  büyüklükleri belirlenir.

7. Bir önceki adımda iki doğrulu biçime dönüştürülen kapasite eğrisinden yararlanılarak akmadan sonraki bölge için rijitlik ve süneklik oranları ( $\alpha, \mu$ ) hesaplanır.
8.  $\alpha$  ve  $\mu$  büyüklükleri kullanılarak,  $T_{eff}$  efektif periyot ve  $\beta_{eff}$  efektif sönüm elde edilir.
9.  $\beta_{eff}$  değeri kullanılarak spektral ivme-spektral yerdeğiştirme eğrisi değiştirilir.
10. Yeni oluşturulan spektral ivme-spektral yerdeğiştirme eğrisi ile  $T_{eff}$  doğrusunun kesişim noktası olan  $d_y$  spektral yerdeğiştirmesi elde edilir. Spektral ivme  $a_y$  değeri kapasite eğrisi kullanılarak belirlenir.
11.  $d_y$  değeri ardışık yaklaşımın bir önceki adımında hesaplanan değerle karşılaştırılır. Ardışık iki adım arasındaki göreceli fark, öngörülen sınırlar içinde ise performans noktası ( $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$ ) belirlenir. Aksi halde 5. hesap adımına geri dönülerek işlemler tekrarlanır.

## 2 Taşıyıcı Sistem Tipleri ve Boyutlandırma

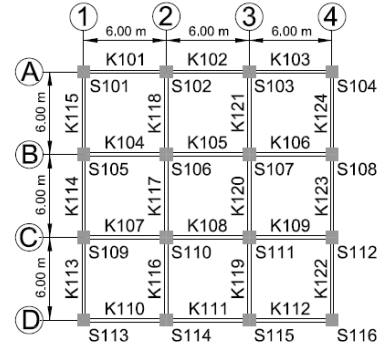
DBYBHY2007'ye göre tasarlanmış farklı kat sayılarına sahip düzenli çerçeve ve perde-çerçeve türü betonarme taşıyıcı sistemler üzerinde kuramsal bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Taşıyıcı Sistem Özellikleri

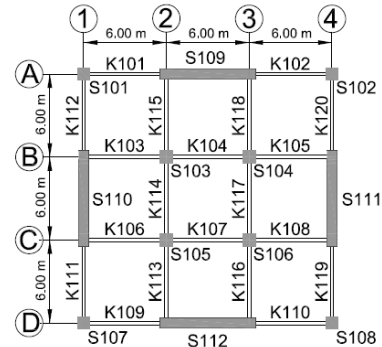
Seçilen betonarme taşıyıcı sistemlerin genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Yapı sistemlerinin tipik kat planları ve görünüşleri ise Şekil 1'de yer almaktadır.

Tablo 1: İncelenen betonarme sistemlerin özellikleri.

Bina tipi	Kat adedi	Taşıyıcı sistem tipi
A1	6	Çerçeve Sistem
A2	8	Çerçeve Sistem
A3	10	Çerçeve Sistem
B1	6	Perde - Çerçeve Sistem
B2	8	Perde - Çerçeve Sistem
B3	10	Perde - Çerçeve Sistem



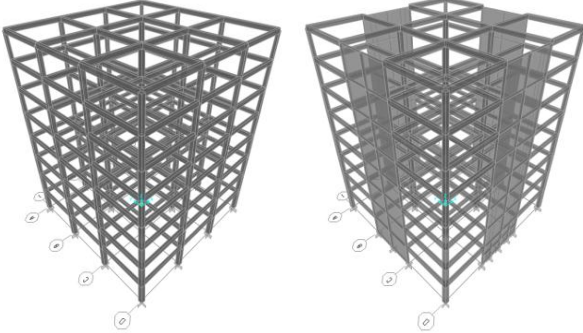
Tip A1, A2, A3



Tip B1, B2, B3

Şekil 1: Tipik kat planları.

Planda çift simetri eksenine sahip binaların, her iki doğrultuda 4 aksı bulunmaktadır. Tüm bina türleri için; aks aralıkları 6 m, kat yükseklikleri ise 3 m'dir. Betonarme taşıyıcı sistemlere ait ayrıntılı bilgi Karabulut, [9] ve Çakarterzi, [10]'nin çalışmalarında bulunmaktadır. Sekiz katlı yapıların üç boyutlu görünüşleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Sekiz katlı binaların üç boyutlu görünüşleri.

## 2.2 Malzeme Özellikleri

Taşıyıcı sistem hesaplarında C30 kalitesinde beton ve S420a betonarme çeliği kullanılmıştır. Malzeme mekanik özellikleri TS500, [11]'e uygun olarak alınmıştır.

## 2.3 Deprem Karakteristikleri

DBYBHY2007'ye göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinde; yapı önem katsayısı  $I=1$ , hareketli yük katılım katsayısı  $n = 0.30$ , etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0 = 0.40$ , yapı davranış katsayısı  $R = 7$ , yerel zemin sınıfı Z2, spektrum karakteristik periyotları da  $T_A = 0.15$  s,  $T_B = 0.40$  s olarak alınmıştır.

## 2.4 Boyutlandırmada Esas alınan Yükler

İncelenen tüm binalarda; ara katlar ile çatı döşemesinde zati yük  $g=37.5$  kN/m<sup>2</sup>, kaplama yükü  $g=2.1$  kN/m<sup>2</sup> ve ilave yük de  $q=2.0$  kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Ayrıca, ara kat girişlerinde 6.25 kN/m'lik çizgisel duvar yükü kullanılmıştır.

## 2.5 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

Boyutlandırma ve performans değerlendirmesi aşamalarında SAP2000, [12] yazılımı kullanılmıştır. Tüm bina tiplerinde, kullanılan girişler 25/50 cm/cm boyutlarındadır. Betonarme döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Kolonlar kare kesitli olup, her iki katta bir kesitleri değiştirilmiştir. Kolon boyuna donatı oranları % 1.0 ile % 1.8 arasında değişmektedir. Kullanılan kolonlara ait özellikler Tablo 2'de, A3 ve B3 binalarında kullanılan kolon tipleri de Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2: Kolon tipleri.

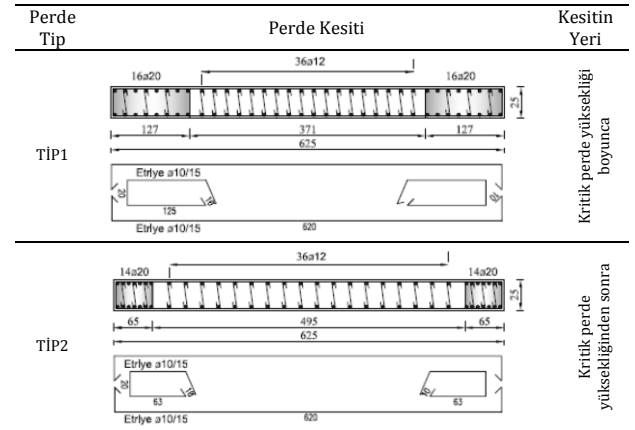
Kolon Tipi	B-H (m)	Düşey Donatı	Yatay Donatı	Boyuna Donatı Oranı
Tip 1	0.30	8Φ16	Φ10/20/10	0.0179
Tip 2	0.35	8Φ16	Φ10/20/10	0.0131
Tip 3	0.40	8Φ16	Φ10/20/10	0.0101
Tip 4	0.45	12Φ16	Φ10/20/10	0.0119
Tip 5	0.50	16Φ16	Φ10/20/10	0.0129
Tip 6	0.55	16Φ16	Φ10/20/10	0.0106
Tip 7	0.60	20Φ16	Φ10/20/10	0.0174

Tablo 3: A3 ve B3 binalar için kolon tipleri.

A3 Tipi Bina	
Kolon Tipi	Kolonlar
Tip 1	S901, S1001
Tip 2	S701, S801, S902, S1002
Tip 3	S501, S601, S702, S802, S906, S1006
Tip 4	S301, S401, S502, S602, S706, S806
Tip 5	S101, S201, S302, S402, S506, S606
Tip 6	S102, S202, S306, S406
Tip 7	S106, S206

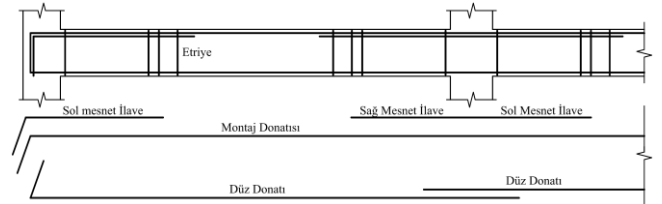
B3 Tipi Bina	
Kolon Tipi	Kolonlar
Tip 1	S901, S1001
Tip 2	S701, S801
Tip 3	S501, S601, S903, S1003
Tip 4	S301, S401, S703, S803
Tip 5	S101, S201, S503, S603
Tip 6	S303, S403
Tip 7	S103, S203

Perde kesit özellikleri ve donatı düzeni Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Perde özellikleri.

Giriş boyuna donatı bilgileri, Şekil 4, A3 ve B3 tipi binalar için çift simetri eksenini düşünülerek kat planının ¼ için Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Giriş boyuna donatı düzeni.

## 2.6 ZTADOA için Kullanılan İvme Kayıtları

ZTADOA de kullanılmak üzere özellikleri Tablo 5'de verilen yedi adet deprem ivme kaydı seçilmiştir, [13]-[14]. Bu kayıtlara ait elastik ivme spektrumlarının DBYBHY2007'de tanımlanan tasarım spektrumuna benzetilmesi için Sigrapp [15] yazılımı kullanılmıştır. Sigrapp'da yapılan benzetmede; deprem kaydının hem frekans hem de genlik içeriğinde değişiklikler olmaktadır. Benzeştirilmiş ivme kayıtlarının elastik ivme spektrumları ile DBYBHY2007'de tanımlanan tasarım ivme spektrumu Şekil 5 de birlikte verilmiştir. İvme

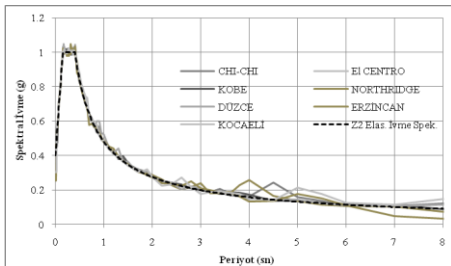
kayıtları, DBYBHY2007'nin 2.9.1 maddesinde tanımlanan üç koşulu da sağlamaktadır.

Tablo 4: A3 ve B3 tipi binalar için giriş boyuna donatıları.

A3 Tipi Bina					
Kiriş	Katlar	Sol mesnet	Açıklık	Sağ mesnet	
K101-102 K114-K115	1,2,3	üst :	3Φ16+2Φ26	3Φ16	3Φ16+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
	4,5,6	üst :	3Φ14+2Φ26	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
	7,8,9,10	üst :	2Φ14+3Φ20	2Φ14	2Φ14+3Φ20
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
K104-K105 K117-K118	1,2,3	üst :	3Φ16+3Φ26	3Φ16	3Φ16+3Φ26
		alt :	4Φ20	4Φ20	4Φ20
	4,5,6	üst :	3Φ16+3Φ26	3Φ16	3Φ16+3Φ26
		alt :	4Φ20	4Φ20	4Φ20
	7,8,9,10	üst :	3Φ14+3Φ26	3Φ14	3Φ14+3Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
B3 Tipi Bina					
Kiriş	Katlar	Sol mesnet	Açıklık	Sağ mesnet	
K101- K112	1,2,3	üst :	2Φ14+2Φ20	2Φ14	2Φ14+2Φ20
		alt :	3Φ16	3Φ16	3Φ16
	4,5,6	üst :	2Φ14+2Φ26	2Φ14	2Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ16	3Φ16	3Φ16
	7,8,9,10	üst :	2Φ14+2Φ26	2Φ14	2Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ16	3Φ16	3Φ16
K103- K115	1,2,3	üst :	3Φ14+1Φ20	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
	4,5,6	üst :	3Φ14+2Φ20	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
	7,8,9,10	üst :	3Φ14+2Φ26	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
K104- K114	1,2,3	üst :	3Φ14+2Φ26	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
	4,5,6	üst :	3Φ14+2Φ26	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20
	7,8,9,10	üst :	3Φ14+2Φ26	3Φ14	3Φ14+2Φ26
		alt :	3Φ20	3Φ20	3Φ20

Tablo 5: Kullanılan ivme kayıtları.

No	Deprem	Büyüklik	PGA	Kayıt	Adım
		Ms	(g)	(sn)	(sn)
1	Chi-Chi	7.6	1.000	40.0	0.010
2	El Centro	7.1	0.850	79.0	0.020
3	Kobe	7.2	1.067	60.0	0.020
4	Northridge	6.7	0.872	15.0	0.005
5	Düzce	7.2	0.887	40.0	0.010
6	Erzincan	7.8	0.424	21.0	0.005
7	Kocaeli	7.6	0.875	40.0	0.010



Şekil 5: Benzeştirilmiş elastik ivme spektrumları.

### 3 Matematik Modelin Tanımlanması

Doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler için kolon ve giriş mesnet bölgelerinde tanımlanan plastik mafsalların özellikleri XTRACT, [16] yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Perdeli binalarda, hesap doğrultusuna paralel perdeler için sadece birinci katta doğrusal olmayan davranış, lif yaklaşımı kullanılarak dikkate alınmıştır. Hesap doğrultusuna paralel üst

kat perdeleri ile hesap doğrultusuna dik tüm perdelerin doğrusal davrandığı varsayılmıştır.

Kolon ve perdelerin temele ankastre olarak bağlandığı ve döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu varsayılmıştır. Yapıların düzenli olması dolayısıyla kütleler kat ağırlık merkezlerinde toplanmış ve yatay dinamik serbestlikler ek dış merkezlik olmaksızın dikkate alınmıştır. İncelenen sistemlere ait modal büyüklükler Tablo 6'da özetlenmiştir. Tip B türü yapılarda, birinci titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.70 sınırının altında kalmasına rağmen, araştırma amaçlı olarak bu binalar için de artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar ZTADOA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. A3 ve B3 türü yapılarda yönetmelikte öngörülen 8 kat ve yükseklik sınırları aşılmasına karşın, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasında; yapı yüksekliği boyunca yatay yüklerin dağılımı için, hakim titreşim moduna ait mod biçimi esas alınmıştır.

Tablo 6: Modal analiz sonuçları.

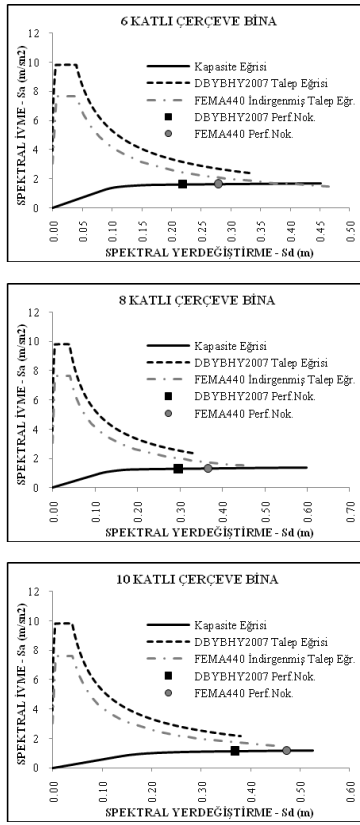
Bina tipi	Eğilme rijitliği	Bina ağırlığı (kN)	Mod periyotları (sn) / Kütle katılım oranları %					
			1	2	3	4	5	6
A1	Etkin	20977	1.644	1.644	1.467	0.559	0.559	0.515
			77.69	77.69	78.01	11.27	11.27	11.36
A2	Etkin	28420	2.118	2.118	1.860	0.726	0.726	0.658
			76.44	76.44	76.60	10.85	10.85	11.00
A3	Etkin	36111	2.592	2.592	2.243	0.891	0.891	0.797
			75.68	75.68	75.72	10.60	10.60	10.80
B1	Etkin	37289	1.377	1.266	0.904	0.286	0.255	0.185
			65.32	61.75	62.15	18.83	19.92	19.63
B2	Etkin	30483	0.969	0.854	0.614	0.196	0.174	0.127
			65.51	61.63	61.91	19.67	21.34	20.71
B3	Etkin	21909	0.602	0.502	0.367	0.123	0.109	0.096
			66.12	61.94	61.74	20.75	23.61	0.000

### 4 Performans Noktasına Ait Yer Değiştirmelerin Belirlenmesi

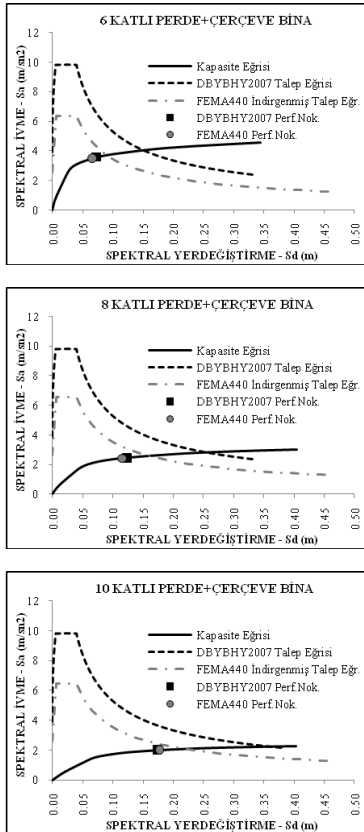
Ayrıntıları yukarıda tanımlanan binalar, önce düşey yük etkisine maruz bırakılmış ardından birinci titreşim modunu esas alan bir yatay yük dağılımı kullanılarak tek doğrultuda itme analizi uygulanmıştır. İtme analizi sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkileri spektral ivme-spektral yerdeğiştirme biçimine dönüştürülmüştür. Aynı şekiller üzerinde % 5 sönümlü DBYBHY2007 elastik ivme spektrumu ile FEMA440'da tanımlanan indirgenmiş talep spektrumu da yer almaktadır. Her iki yöntemde göre belirlenmiş performans noktaları spektral kapasite eğrisi üzerinde gösterilmiştir. Çerçeve türü sistemlerde, DBYBHY2007'ye göre hesaplanan spektral yerdeğiştirmelerin FEMA440'a göre hesaplanan değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir, Şekil 6a ve 6b.

Performans noktasına karşı gelen tepe yerdeğiştirmeleri bakımından DBYBHY2007 ve FEMA440 karşılaştırıldığında A1, A2 ve A3 çerçeve tipi binalar için rölatif farklar sırasıyla % 18, % 14 ve % 17 olurken; B1, B2 ve B3 perde-çerçeve tipi binalarda ise -%1, -%7 ve %2 olmaktadır. Benzer karşılaştırma taban kesme kuvvetleri için yapıldığında A1, A2 ve A3 tipi binalar için rölatif farklar sırasıyla % 1, % 1 ve % 3 olurken; B1, B2 ve B3 tipi binalarda ise -% 2, -% 2 ve % 0 olmaktadır.





Şekil 6a: Çerçeve türü binalarda performans noktasının belirlenmesi.



Şekil 6b: Perde-çerçeve türü binalarda performans noktasının belirlenmesi.

## 5 Sonuçların Değerlendirilmesi

DBYBHY2007 ve FEMA440 ile itme analizleri yapılarak bulunan büyüklükler, benzeştirilmiş 7 adet deprem ivme kaydı kullanılarak ZTADOA ile elde edilen mutlak değerce en büyük istemlerin ortalamaları ile karşılaştırılmıştır, Tablo 7.

### 5.1 Tepe Yer Değiştirmeleri

DBYBHY2007 ve FEMA440 göre elde edilen performans noktalarına karşı gelen tepe yerdeğiştirmeleri ZTADOA sonuçları ile karşılaştırıldığında göre ortalama görelî farklar; çerçeve türü binalarda DBYBHY2007 için % 5.20, FEMA440 için % 25.9; perde-çerçeve türü binalarda ise % 24.8 ve %18.2 olarak elde edilmiştir. Perde-çerçeve türü binalarda ortalama görelî farkların daha büyük olduğu görülmektedir.

### 5.2 Taban Kesme Kuvvetleri

DBYBHY2007 ve FEMA440 göre elde edilen performans noktalarına karşı gelen taban kesme kuvvetleri ZTADOA sonuçları ile karşılaştırıldığında, ortalama görelî farklar; çerçeve türü binalarda DBYBHY2007 için % 15.5, FEMA440 için % 14.1; perde-çerçeve türü binalarda ise % 34.9 ve % 35.7 olarak elde edilmiştir. Her iki yöntemde de, perde-çerçeve türü binalarda ortalama görelî farkların daha büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 7: Performans noktası büyüklükleri.

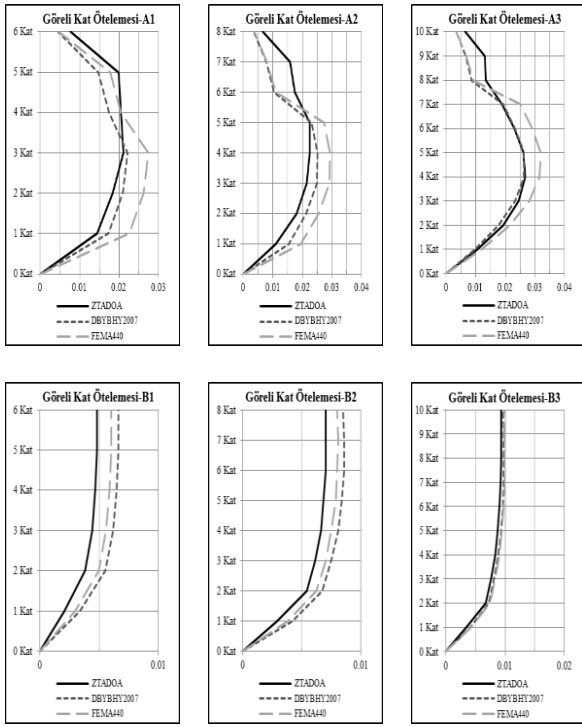
Bina Tipi	Yöntem	Tepe Yer. [m]	Taban Kesme Kuvveti [kN]	ZTADOA ile Ortalama Görelî Farklar [%]	
				d	V
A1	DBYBHY2007	0.29	2708	2.8	-8.2
	FEMA440	0.36	2742	25.7	-7.1
	ZTADOA	0.28	2950		
A2	DBYBHY2007	0.40	2870	10.2	-19.9
	FEMA440	0.46	2905	28.1	-18.9
	ZTADOA	0.36	3582		
A3	DBYBHY2007	0.49	3186	2.5	-18.4
	FEMA440	0.60	3271	23.9	-16.2
	ZTADOA	0.48	3902		
B1	DBYBHY2007	0.10	5112	41.3	-27.8
	FEMA440	0.09	4997	27.7	-29.4
	ZTADOA	0.07	7081		
B2	DBYBHY2007	0.18	4792	25.8	-36.5
	FEMA440	0.17	4717	17.5	-37.5
	ZTADOA	0.14	7544		
B3	DBYBHY2007	0.26	4832	7.3	-40.4
	FEMA440	0.26	4849	9.4	-40.2
	ZTADOA	0.24	8104		

### 5.3 Görelî Kat Ötelemeleri

Görelî kat ötelemelerinin yapı yüksekliğince değişimi Şekil 7'de verilmiştir.

Çerçeve türü binalarda, performans noktalarına karşı gelen görelî kat ötelemelerinin ZTADOA ile elde edilen sonuçlara oranlarının ortalaması; DBYBHY2007 için altı, sekiz ve on katlı binalarda sırasıyla % 20, % 28.1, % 16; FEMA440 için % 30.2, % 41.9 ve % 26.6 olmuştur. En büyük görelî farkların üst katlarda oluştuğu gözlenmektedir.

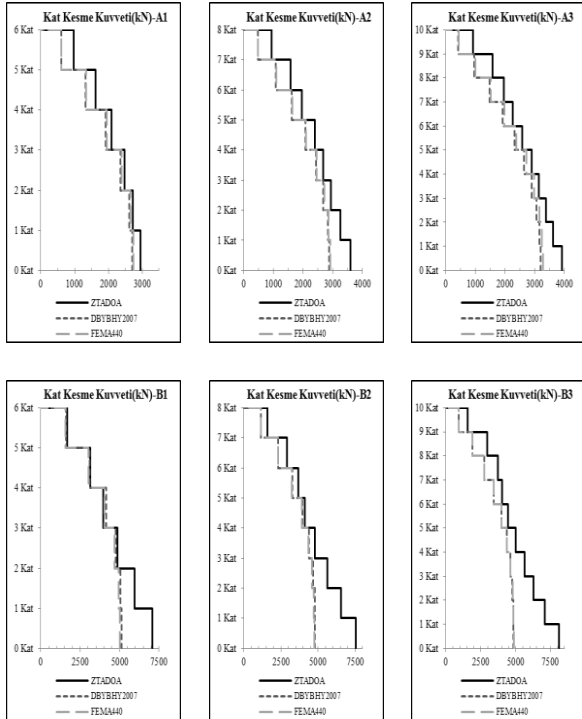
Perde-çerçeve türü binalarda ise performans noktalarına karşı gelen görelî kat ötelemelerinin ZTADOA ile elde edilen sonuçlara oranlarının ortalaması; DBYBHY2007 için altı, sekiz ve on katlı binalarda sırasıyla % 43.3, % 26 ve % 7; FEMA440 için % 29.2, % 17.3 ve % 8.9 olmaktadır.



Şekil 7: Görelî kat ötelemelerinin yapı yüksekliğince değişimi.

#### 5.4 Kat Kesme Kuvvetleri

Kat kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliğince değişimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Kat kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliğince değişimi.

Çerçeve türü binalarda, performans noktalarına karşı gelen kat kesme kuvvetlerinin ZTADOA ile elde edilen sonuçlara oranlarının ortalaması; DBYBHY2007 için altı, sekiz ve on katlı binalarda sırasıyla % 13.7, % 20.4 ve % 20; FEMA440 için

% 12.5, % 19.5 ve % 17.6 olarak elde edilmiştir. Perde-çerçeve türü binalarda ise performans noktalarına karşı gelen kat kesme kuvvetlerinin ZTADOA ile elde edilen sonuçlara oranlarının ortalaması; DBYBHY2007 için altı, sekiz ve on katlı binalarda sırasıyla % 9.3, % 18.8 ve % 25.3; FEMA440 için % 10.5, % 19.9 ve % 25.1 olmuştur. Kat sayısının artması ile görelî farkların belirgin olarak arttığı gözlenmiştir.

Çerçeve ve perde-çerçeve türü binalar için elde edilen istemlerin ZTADOA sonuçları ile karşılaştırılmasında, perde-çerçeve türü yapılarda sonuçlar arasındaki fark görelî olarak daha büyük çıkmaktadır. Bunun nedeni perde-çerçeve türü binalarda etkin titreşim modu katılım oranlarının çerçeve türü binalara göre daha düşük olması ve yaklaşık hesaplarda tek titreşim modunun kullanılmasıdır. Ayrıca, perde-çerçeve türü yapıların ZTADOA ve statik itme yöntemi ile yapılan hesaplarında, perdelerin mafsallaşma durumları elde edilecek istemleri farklılaştıracaktır. Bu çalışmada gözönüne alınan yapıların hem ZTADOA ile hem de statik itme yöntemleri ile hesabında perdeler mafsallaştığından, yukarıda söz edilen fark bu yaklaşım ile açıklanamamaktadır.

#### 6 Sonuçlar

Bu çalışmada; orta yükseklikli (altı, sekiz ve on katlı), düzenli çerçeve ve perde-çerçeve türü betonarme yapıların performans değerlendirmesi için DBYBHY2007 ve FEMA440'da tanımlanan iki grafik yöntem karşılaştırılmış ve ulaşılan genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Çerçeve türü binalarda, performans noktasına karşı gelen spektral yer değiştirmeler FEMA440 kullanıldığında DBYBHY2007'ye göre daha büyük olarak belirlenmektedir. İki yaklaşımla bulunan spektral yer değiştirmeler arasındaki görelî farklar; altı, sekiz ve on katlı binalarda sırasıyla % 28, % 24 ve % 28 olmuştur.
2. Perde-çerçeve türü binalarda ise FEMA440 ve DBYBHY2007 yaklaşımları ile belirlenen performans noktaları üst üste düşmektedir.
3. Performans noktasının belirlenmesi için DBYBHY2007 de öngörülen basit yaklaşımla elde edilen istemlerin, 'kesin çözüm' olarak kabul edilen ZTADOA sonuçlarına daha yakın oldukları görülmüştür.

#### 7 Semboller

- $A_0$  = Etkin yer ivmesi katsayısı  
 $a_i$  = Spektral ivme  
 $a_{pi}$  = Performans noktasına karşı gelen spektral ivme  
 $a_y$  = Akma noktasına karşı gelen spektral ivme  
 $C_{R1}$  = Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı  
 $d_{pi}$  = Performans noktasına karşı gelen spektral yer değiştirme  
 $d_i$  = Spektral yer değiştirme  
 $d_y$  = Akma noktasına karşı gelen spektral yer değiştirme  
 $I$  = Yapı önem katsayısı  
 $\max a_{pi}$  = Seçilen bir performans noktasına karşı gelen spektral ivme  
 $\max d_{pi}$  = Seçilen bir performans noktasına karşı gelen spektral yer değiştirme  
 $n$  = Hareketli yük katılım katsayısı  
 $R$  = Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  
 $S_{de1}$  = Doğrusal-elastik spektral yer değiştirme  
 $S_{di1}$  = Doğrusal-elastik olmayan spektral yer değiştirme

$T_A, T_B$	= Spektrum karakteristik periyotları
$T_1$	= Başlangıç periyodu (DBYBHY2007'de)
$T_{eff}$	= Efektif periyot
$T_o$	= Başlangıç periyodu (FEMA440'da)
Z2	= Z2 yerel zemin sınıfı
$\alpha$	= Akmadan sonraki bölge için rijitlik oranı
$\beta_{eff}$	= Efektif sönüm
$\mu$	= Süneklik
$\Phi_t$	= Toplam eğrilik

### 8 Kaynaklar

- [1] ATC 40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Washington, DC., USA, 1996.
- [2] FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Retrofit of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, 1997.
- [3] FEMA 356, NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2000.
- [4] Fajfar, P., Capacity Spectrum Method Based on Inelastic Demand Spectra, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V.28, 1999.
- [5] Lin, Y, Chang, K, Wang, Y., Comparison of displacement coefficient method and capacity spectrum method with experimental results of RC columns, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 33:35-48, 2004.
- [6] FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2004.
- [7] DBYBHY2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [8] Aydınoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H., Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-Örnekler Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [9] Karabulut, A., TDY 2007 Yönetmeliği ve FEMA 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar İçin Karşılaştırılması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2011.
- [10] Çakırterzi, S., Deprem Yönetmeliği ve FEMA 440 Raporuna Göre Hesaplanan Performans Noktası Yaklaşımlarının Karşılaştırılması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2011.
- [11] TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [12] SAP2000 Advanced 14.1.0 , Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2009.
- [13] PEER Strong Motion Database. Pacific Earthquake Engineering Research Center. California, <http://peer.berkeley.edu/smcat>, 2007.
- [14] COSMOS Virtual Data Center, Consortium of Organizations for Strong Motion Observation Systems (COSMOS), University of California, <http://db.cosmos-eq.org/scripts/default.plx>.
- [15] Oasys Siggraph, A Program for Generation, Manipulation and Graphical Display of Tabular X-Y Data, Oasys Ltd., 2006.
- [16] XTRACT Cross Section Analysis Program of Structural Engineers, Imbsen Software Systems, 2004.