

Betonarme Binalar Üzerinde Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi

E. İrtem, K. Türker

Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

U. Hasgül

Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, belirli karakteristiklere sahip betonarme binalar üzerinde, ATC 40 ve FEMA 356'da öngörülen ve daha sonra FEMA 440'da geliştirilen "Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)" ve "Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)" ile Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'deki "Artımsal Eşdeğer Deprem yükü Yöntemi'nden (AEDY)" elde edilen deprem taleplerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, ele alınan az, orta ve çok katlı düzenli binaları temsil eden üç ve altı katlı betonarme çerçeve bina ile sekiz katlı betonarme perde çerçeve bina, ülkemizdeki ilgili yönetmeliklere göre boyutlandırılmış ve elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri (diyagramları) belirlenmiştir. Elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanarak TDY 2007'de öngörülen tasarım depremi seviyesi için KSY, KYK ve AEDY ile binaların yerdeğiştirme talepleri belirlenmiştir. Daha sonra incelenen binalar, üç farklı doğrusal olmayan statik analiz esaslı değerlendirme yönteminden elde edilen yerdeğiştirme taleplerine kadar statik olarak itilerek yerdeğiştirme ve dayanım talepleri, plastik dönme talepleri, görel kat öteleme talepleri belirlenmiştir. Bu yapısal taleplerden yararlanarak karşılaştırmalar yapılmış ve analiz yöntemleri değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Deprem talepleri, Doğrusal olmayan statik analiz, Türk deprem yönetmeliği 2007, Kapasite spektrumu yöntemi, Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi.

Abstract

In this study, it is aimed to compare the seismic demands (roof displacement, base shear, beam and column plastic rotations and story drifts) obtained from Capacity Spectrum Method (CSM) and Displacement Coefficient Method (DCM) stipulated in FEMA 440 and from Incremental Equivalent Earthquake load Method (IEEM) in Turkish Earthquake Code (TEC) 2007. For this aim, three typical reinforcement buildings which represent low-rise, mid-rise and high-rise buildings are designed according to Turkish codes. Then, pushover analyses are performed in order to determine capacity curves

(diagrams) of the buildings. By using CSM, DCM and IEEM, performance points (displacement and strength demands) of the investigated buildings are determined by utilizing from the capacity curves for design earthquake stipulated in TEC 2007. The investigated buildings are statically pushed to the maximum displacement demands obtained from the mentioned methods. In the end of the study, the obtained seismic demands (plastic rotation, story drift, etc.) are compared and the methods are assessed.

Keywords: Seismic demands, Nonlinear static analysis procedure, Turkish Earthquake Code 2007, Capacity spectrum method Displacement coefficient method.

Giriş

Deprem mühendisliği alanında Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme (PDTD) yaklaşımı, pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de son dönemde gittikçe artan bir araştırma konusu haline gelmiştir. Yaşanan depremlerden edinilen tecrübeler ve yapılan bilimsel araştırmalar, binaların belirli bir deprem seviyesi altında tasarım ve değerlendirmesinin, dayanım taleplerinin yanısıra taşıyıcı sistem elemanlarının ve tüm sistemin şekil değiştirme taleplerinin (hasar düzeylerinin vb.) esas alınarak yapılmasının gerekli olduğunu göstermiştir. Sistemin şekil değiştirme taleplerini belirlemek ve performans değerlendirmesini yapabilmek amacıyla, dünyada son on yılda ortaya konan çeşitli ön standart ve yönetmeliklerde (ATC 40, (1996); FEMA 356, (2000); Eurocode-8, (2003)) doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz esaslı yöntemlere yer verilmiştir. Mart 2007’de yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007’de de (TDY, 2007) mevcut bina tipi yapıların deprem etkisi altındaki performanslarını belirlemek amacıyla doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine yer verilmiştir.

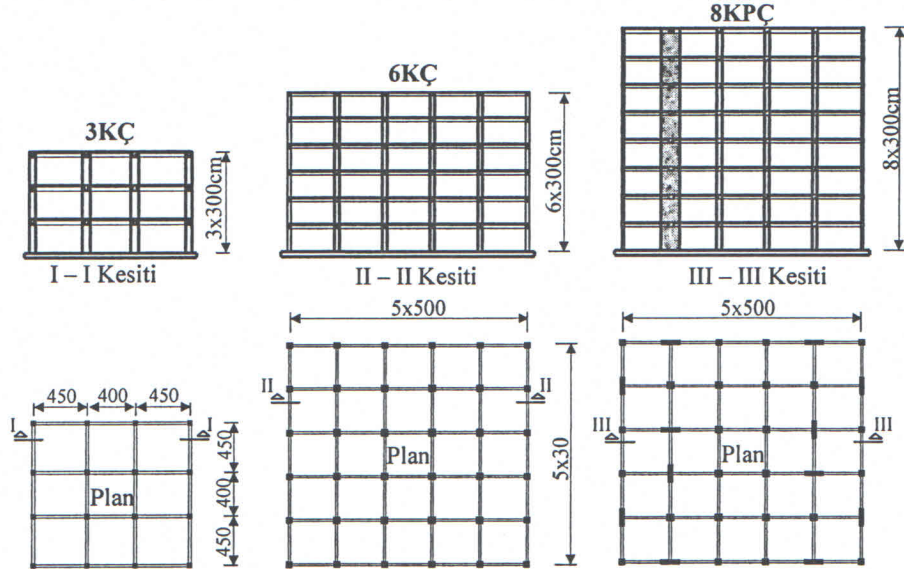
Doğrusal olmayan statik analiz esaslı değerlendirme yöntemlerinde, genel olarak elastik ötesi statik itme (pushover) analizi ile edilen kapasite eğrisi esas alınmakta ve belirli bir deprem seviyesi için bu eğriden yararlanarak, sistemin maksimum yer değiştirme talebi (performans noktası) elde edilmektedir. Binaların performans değerlendirmeleri, TDY 2007 dışındaki ön standart ve yönetmeliklerde, sözkonusu yer değiştirme talebindeki plastik dönme ve görelî kat ötelemesi talepleri ile yapılırken TDY 2007’de, ilgili kesitteki malzeme birim şekil değiştirmeleri üzerinde yapılmaktadır.

ATC 40, FEMA 356 ve TDY 2007’de öngörülen doğrusal olmayan statik analiz esaslı değerlendirme yöntemleriyle yer değiştirme talebinin belirlenmesinde temel olarak eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem davranışı esas alınmakta, buna karşın talebin belirlenmesinde kullanılan ifadelerde bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların bina performansına olan etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli özelliklerdeki bina sistemleri için bu farklılıkların ortaya konulması ve sebeplerinin değerlendirilmesi amacıyla bu çalışmada, belirli karakteristiklere sahip betonarme binalar üzerinde, ATC 40 ve FEMA 356’da öngörülen ve daha sonra ATC-55 projesi kapsamında hazırlanan FEMA 440 raporunda (FEMA, 2005) geliştirilen “Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)” ve “Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)” ile eşit yer değiştirme kuralını esas alan TDY 2007’deki “Artımsal Eşdeğer Deprem yükü Yönteminden (AEDY)” elde edilen çeşitli yapısal davranış büyüklüklerine (tepe yer değiştirme, taban kesme kuvveti, plastik dönme ve görelî kat ötelemesi) ait taleplerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, ele alınan az, orta ve çok katlı düzenli binaları temsil eden üç tipik betonarme bina, ülkemizdeki ilgili yönetmeliklere göre boyutlandırılmış ve elastik ötesi statik itme

analizi ile kapasite eğrileri belirlenmiştir. Elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanarak TDY 2007’de öngörülen tasarım depremi seviyesi için çalışmada incelenen üç yöntem (KSY, YKY ve AEDY) ile betonarme binaların talep ve kapasitelerinin eşit olduğu performans noktaları (yerdeğiştirme ve dayanım talepleri) belirlenmiştir. Daha sonra incelenen binalar, üç farklı doğrusal olmayan statik analiz esaslı değerlendirme yönteminden elde edilen yerdeğiştirme taleplerine kadar statik olarak itilerek yerdeğiştirme ve dayanım talepleri, plastik dönme talepleri, görel kat ötelemesi talepleri belirlenmiştir. Bu yapısal taleplerden yararlanarak karşılaştırmalar yapılmış ve analiz yöntemleri değerlendirilmiştir.

Örnek Betonarme Binalar Üzerinde Sayısal İnceleme

Çalışmada, üç farklı doğrusal olmayan statik analiz esaslı değerlendirme yönteminin yapısal davranış taleplerine etkisini belirlemek amacıyla az, orta ve çok katlı düzenli binaları temsilen seçilen 3 ve 6 katlı iki betonarme çerçeve bina (3KÇ, 6KÇ) ve 8 katlı betonarme perde-çerçeve bina (8KPC) TDY 1998’e (ABYYHY, 1998), TS 500 (TSE, 2000) ve ilgili diğer yönetmeliklere göre boyutlandırılmıştır. Binaların boyutlandırılmasında, Deprem bölgesi 1 ($A_0=0.40$), Bina önem katsayısı 1 ($I=1$), Zemin sınıfı Z2 ($T_A=0.15$ sn, $T_B=0.40$ sn) ve Süneklik düzeyi (R), 3KÇ ve 6KÇ bina için $R=8$, 8KPC bina için $R=7$ alınmıştır. Binaların tipik kat planları ve kesitleri Şekil 1’de verilmiştir. İncelenen betonarme binaların serbest titreşim analizinden elde edilen çatlama kesitli birinci doğal titreşim periyotları, sırasıyla 3KÇ için 0.659 sn, 6KÇ için 1.181 sn ve 8KPC için 1.416 sn olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1 İncelenen betonarme binaların tipik kat planları ve kesit görünüşleri.

Hesaplarda Yapılan Varsayımlar

Hesaplarda plastik şekildeğiştirmelerin *plastik kesit* (mafsal) adı verilen belirli bölgelerde toplandığı bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının *doğrusal-elastik* olduğu kabul edilmiştir. Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Kiriş, kolon ve perde elemanlara ait plastik mafsalların *moment-plastik*

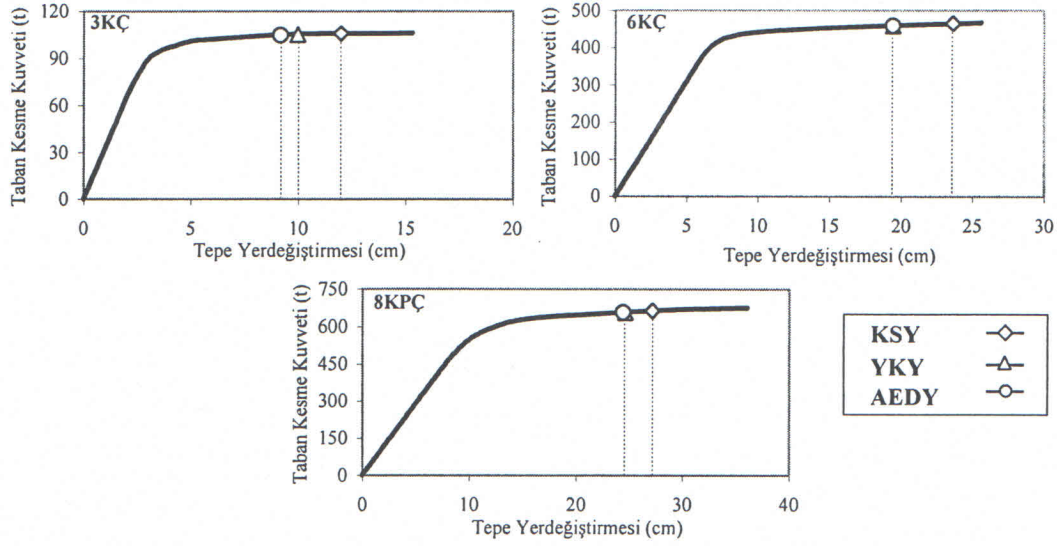
dönme davranış modeli *pekleşen-rijit-plastik* olarak kabul edilmiş ve buna ait karakteristik değerler ATC 40'dan (ATC, 1996) alınmıştır. Sistemdeki taşıyıcı elemanların çatlamış kesit rijitlikleri için TDY 2007'de önerilen bağıntılardan yararlanılmıştır (TDY, 2007). Ayrıca, kesme kuvveti etkisi altında sistemin *doğrusal-elastik* davrandığı varsayılmış ve elemanların kesme kuvveti taşıma kapasiteleri kontrol edilerek varsayımın geçerliliği doğrulanmıştır.

Hasar Bölgelerinin ve Deprem Tehlike Seviyesinin Tanımlanması

Binaların performans düzeylerini belirlemede esas alınan kriterler iki grupta toplanabilir. Bunlar, maksimum yerdeğiştirme talebine kadar statik olarak itilmiş binanın, taşıyıcı sistem elemanlarındaki (kiriş, kolon ve perde) *maksimum plastik dönme* değerleri ile *maksimum görelî kat ötelemesi* değerleridir (İrtem ve diğ., 2004 ve İrtem ve diğ., 2005). TDY 2007 dışındaki ön standart ve yönetmeliklerde, hasar düzeylerinin değerlendirilmesi sözkonusu yerdeğiştirme talebindeki maksimum plastik dönme ve maksimum görelî kat ötelemesi talepleri ile yapılırken TDY 2007'de, ilgili kesitteki malzeme birim şekildeğiştirmeleri üzerinde yapılmaktadır. Bu çalışmada, yapısal davranış taleplerini birbirleriyle karşılaştırabilmek için KSY, YKY ve AEDY'nden elde edilen maksimum yerdeğiştirme talebine kadar statik olarak itilmiş betonarme binaların plastik dönme talepleri ve görelî kat ötelemesi talepleri esas alınmıştır. Plastik dönme talepleri dört hasar durumu bölgesine (< 0.005 rad., $0.005-0.0075$ rad., $0.0075-0.01$ rad. ve $0.01-0.02$ rad.) ayrılarak karşılaştırılmıştır. Görelî kat ötelemesi talepleri bakımından karşılaştırmalar ise bina yüksekliği boyunca ötelemelerin dağılımını gösteren grafikler yardımı ile yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen betonarme binaların yerdeğiştirme taleplerinin belirlenmesinde, TDY 2007'de konut tipi binalar için öngörülen ve 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremine ait ivme spektrumu kullanılmıştır (TDY, 2007).

Binaların Kapasite Eğrilerinin ve Performans Noktalarının Belirlenmesi

İncelenen üç betonarme binanın yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrilerini elde etmek için sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre statik itme analizleri yapılarak Taban kesme kuvveti (V_T) – Tepe yerdeğiştirmesi (δ_{tepe}) grafikleri (kapasite eğrileri) elde edilmiştir (Şekil 2). Artımsal itme analizinde, TDY 2007'de öngörüldüğü gibi düşey yük olarak ($1.0G+0.30Q$) yükleme esas alınmış, depremi temsil eden yatay yük dağılımı olarak da birinci (temel) mod atalet kuvveti dağılımı kullanılmıştır. Binaların statik itme analizi ile kapasite eğrilerinin belirlenmesinde *SAP2000 Yapı Analiz Programı*'ndan yararlanılmıştır (CSI, 2002). İncelenen bina örnekleri için elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanarak tasarım depremi seviyesi için KSY, YKY ve AEDY ile yerdeğiştirme ve dayanım talepleri belirlenmiş ve elde edilen analiz sonuçları Tablo 1-3'de verilmiştir (Şekil 2). KSY ile yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde, plastik kesitlerde *tam histeretik çevrimin* olduğu kabulü yapılmıştır. YKY ile yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde, histeretik şeklin maksimum yerdeğiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden C_2 katsayısı incelenen betonarme binalar için gerçekleşen hasar durumuna bağlı olarak ardışık yaklaşım ile belirlenmiştir (Tablo 2). TDY 2007'deki AEDY'ne göre yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde ise, incelenen binaların birinci doğal titreşim periyotları (T_1), tasarım ivme spektrumunun T_B karakteristik periyodundan büyük olduğundan ($T_1 > T_B$) $C_{R1} = 1.00$ alınarak eşit yerdeğiştirme kuralı uygulanmıştır (Tablo 3).



Şekil 2 İncelen binaların kapasite eğrileri ile yerdeğiştirme ve dayanım talepleri.

Tablo 1 KSY'nden Elde Edilen Analiz Sonuçları.

Bina	$PF_{1, \phi_{tepe,1}}$	α_1	B	α	μ	T_o	$T_{sec.}$	S_a (g)	S_d (cm)	$\delta_{maks.}$ (cm)	V_T (t)
3KÇ	1.268	0.848	1.52	2.92	3.997	0.659	1.263	0.234	9.45	11.980	105.8
6KÇ	1.333	0.792	1.48	3.53	3.423	1.181	2.097	0.157	17.72	23.618	465.6
8KPC	1.351	0.749	1.35	6.68	2.741	1.416	2.219	0.165	20.12	27.181	664.9

Tablo 2 YKY'nden Elde Edilen Analiz Sonuçları.

Bina	S_a (g)	C_0	C_1	C_2	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (t/m)	$\delta_{maks.}$ (cm)	V_T (t)
3KÇ	0.671	1.268	1.066	1.019	0.659	3249	9.973	105.1
6KÇ	0.421	1.333	1.000	1.000	1.181	6194	19.428	460.3
8KPC	0.364	1.351	1.000	1.000	1.416	5790	24.479	659.0

Tablo 3 AEDY'nden Elde Edilen Analiz Sonuçları.

Bina	$T_1^{(1)}$ (sn)	$(\omega_1^{(1)})^2$ (rad/sn)	C_{R1}	S_{ae1} (g)	S_{de1} (cm)	$\delta_{maks.}$ (cm)	V_T (t)
3KÇ	0.659	90.838	1.00	0.671	7.242	9.181	105.1
6KÇ	1.181	28.305	1.00	0.421	14.577	19.428	460.3
8KPC	1.416	19.689	1.00	0.364	18.123	24.479	659.0

Binaların Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenen betonarme binalar (3KÇ, 6KÇ ve 8KPC), gözönüne alınan tasarım depremi için KSY, YKY ve AEDY ile belirlenen maksimum yerdeğiştirme talebine (performans noktasına) kadar statik olarak itilmiş ve taşıyıcı sistemdeki kiriş, kolon ve perde elemanlarında oluşan plastik dönme talepleri ile görel kat ötelemesi talepleri belirlenmiştir (Tablo 4–6). Elde edilen yapısal davranış talepleri daha önce tanımlanan dört hasar bölgesine (<0.005 rad., 0.005–0.0075 rad., 0.0075–0.01 rad. ve 0.01 – 0.02 rad.) göre gruplandırılarak Tablo 4–6'da verilmiştir. Ayrıca, binaların maksimum tepe yerdeğiştirmelerine ulaştığı andaki görel kat ötelemesi talepleri Tablo 4–6'da verilmiştir.

Tablo 4 KSY ile Elde Edilen Plastik Dönme ve Görelî Kat Ötelemesi Talepleri.

Bina	Kat	Maks. Kat plastik dönme (rad)		Hasar bölgesi bakımından plastikleşen kesit sayısı									Görelî Kat Öte. (%)
		Kiriş	Kolon (Perde)	Kiriş			Kolon (Perde)						
				< 0.005	0.005	0.0075	0.01	< 0.005	0.005	0.0075	0.01		
				0.0075	0.01	0.02	0.0075	0.01	0.02				
3KÇ	3	0.00569	0.00270	14	2	---	---	8	---	---	---	0.994	
	2	0.01204	---	---	---	6	18	---	---	---	---	1.533	
	1	0.01500	0.01114	---	---	---	24	---	---	12	4	1.467	
6KÇ	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.260	
	5	0.00108	---	24	---	---	---	---	---	---	---	0.692	
	4	0.00921	0.00525	36	19	5	---	26	4	---	---	1.598	
	3	0.01653	---	---	---	---	60	---	---	---	---	1.929	
	2	0.01797	---	---	---	---	60	---	---	---	---	1.898	
1	0.01620	0.01286	---	---	---	60	---	---	---	36	1.497		
8KÇ	8	0.00111	0.00223	5	---	---	---	8	---	---	---	0.536	
	7	0.00372	0.00257	21	---	---	---	6	---	---	---	0.753	
	6	0.00718	0.00194	46	10	---	---	4	---	---	---	1.028	
	5	0.01038	---	6	22	30	2	---	---	---	---	1.295	
	4	0.01241	---	---	8	28	24	---	---	---	---	1.468	
	3	0.01432	---	---	---	14	46	---	---	---	---	1.497	
	2	0.01388	---	---	---	21	39	---	---	---	---	1.392	
	1	0.01414	0.00921	---	4	17	39	---	24	6	---	1.092	

Tablo 5 YKY ile Elde Edilen Plastik Dönme ve Görelî Kat Ötelemesi Talepleri.

Bina	Kat	Maks. Kat plastik dönme (rad)		Hasar bölgesi bakımından plastikleşen kesit sayısı									Görelî Kat Öte. (%)
		Kiriş	Kolon (Perde)	Kiriş			Kolon (Perde)						
				< 0.005	0.005	0.0075	0.01	< 0.005	0.005	0.0075	0.01		
				0.0075	0.01	0.02	0.0075	0.01	0.02				
3KÇ	3	0.00362	0.00061	14	---	---	---	4	---	---	---	0.791	
	2	0.00951	---	---	6	18	---	---	---	---	---	1.303	
	1	0.01238	0.00883	---	---	8	16	---	12	4	---	1.231	
6KÇ	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.239	
	5	0.0005	---	22	---	---	---	---	---	---	---	0.600	
	4	0.00686	0.00345	54	6	---	---	28	---	---	---	1.288	
	3	0.01266	---	---	---	2	58	---	---	---	---	1.577	
	2	0.01415	---	---	---	---	60	---	---	---	---	1.561	
1	0.01280	0.00994	---	---	---	60	---	---	36	---	1.212		
8KÇ	8	0.00057	0.00156	3	---	---	---	4	---	---	---	0.492	
	7	0.00291	0.00165	17	---	---	---	4	---	---	---	0.687	
	6	0.00614	0.00156	48	4	---	---	2	---	---	---	0.933	
	5	0.00905	---	12	37	11	---	---	---	---	---	1.176	
	4	0.01078	---	---	25	32	3	---	---	---	---	1.331	
	3	0.01250	---	---	9	27	24	---	---	---	---	1.351	
	2	0.01205	---	---	6	31	23	---	---	---	---	1.242	
	1	0.01220	0.00779	---	9	40	11	2	22	6	---	0.947	

Tablo 6 AEDY ile Elde Edilen Plastik Dönme ve Görelî Kat Ötelemesi Talepleri.

Bina	Kat	Maks. Kat plastik dönme (rad)		Hasar bölgesi bakımından plastikleşen kesit sayısı									Görelî Kat Öte. (%)
		Kiriş	Kolon (Perde)	Kiriş			Kolon (Perde)						
				< 0.005	0.005	0.0075	0.01	< 0.005	0.005	0.0075	0.01		
				0.0075	0.01	0.02	0.0075	0.01	0.02				
3KÇ	3	0.00300	---	14	---	---	---	---	---	---	---	0.726	
	2	0.00857	---	---	12	12	---	---	---	---	---	1.208	
	1	0.01122	0.00779	---	---	12	12	---	12	4	---	1.126	
6KÇ	1-6	Tüm Sonuçlar YKY ile Aynıdır.											
8KÇ	1-8	Tüm Sonuçlar YKY ile Aynıdır.											

KSY, YKY ve AEDY'den Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

İncelenen üç binanın KSY, YKY ve AEDY'den elde edilen plastik dönme talepleri (Tablo 4–6), giriş ve kolon (perde) elemanların kat bazında hasar bölgesi dağılımları esas alınarak, görelî kat öteleme talepleri (Tablo 4–6) ise bina yüksekliği boyunca ötelemelerin dağılımları esas alınarak Şekil 3'de karşılaştırılmıştır. İncelenen 6KÇ ve 8KPC binalara ait birinci doğal titreşim periyotlarının (T_1) gözönüne alınan tasarım ivme spektrumunun T_B karakteristik periyodundan büyük olması nedeniyle yerdeğıştirme talebinin YKY ve AEDY ile belirlenmesinde eşit yerdeğıştirme kuralı'ndan yararlanılmıştır. Bu nedenle, 6KÇ ve 8KPC bina için her iki yöntemden elde edilen yapısal davranış talepleri farklılık göstermemektedir (Tablo 1–6 ve Şekil 3). 3KÇ binada ise, YKY ile analizde yapı davranışı üzerinde maksimum elastik olmayan yerdeğıştirmeleri gözönüne alan C_1 katsayısı ve histeretik davranışı gözönüne alan C_2 katsayısının etkilerinden dolayı yapısal davranış parametreleri, AEDY'nden elde edilene göre bir miktar fazladır. Çalışmada, gözönüne alınan yapısal davranış talepleri bakımından analiz yöntemleri arasındaki oransal farklılıklar aşağıda verilmiştir.

a) Yerdeğıştirme ve Dayanım taleplerinin karşılaştırılması;

KSY ile belirlenen yerdeğıştirme taleplerinin; 3KÇ için YKY'ne göre % 20.12 ve AEDY'ne göre % 30.49, 6KÇ için YKY ve AEDY'ne göre % 21.57 ve 8KPC için YKY ve AEDY'ne göre %11.04 oranında daha büyük olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak KSY'nden elde edilen dayanım taleplerinin YKY ve AEDY'nden elde edilenlere göre çok az oranda daha büyük olduğu (%0.67~1.15) belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; incelenen yöntemlerde kullanılan yaklaşımların yerdeğıştirme talepleri için farklı sonuçlar verebildiği, bunakarşın dayanım talebi bakımından, yöntemler arasındaki farkın beklenildiği gibi ihmal edilebilecek düzeyde olduğu söylenebilmektedir. (Tablo 1–3).

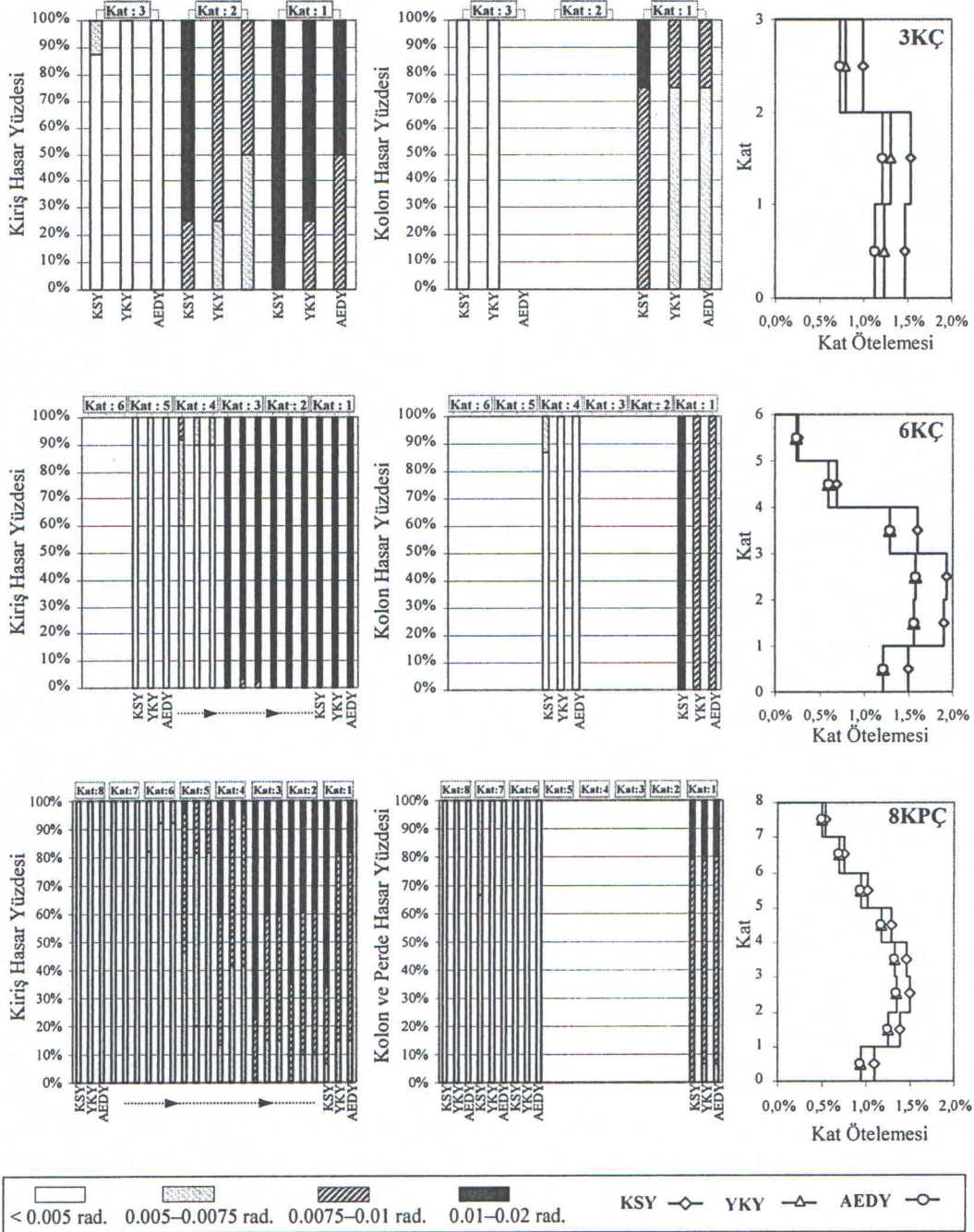
b) Plastik dönme taleplerinin karşılaştırılması;

İncelenen üç betonarme bina için YKY ve AEDY'nden elde edilen plastikleşen kesit sayılarının ve bunların dağılımlarının çok yakın olduğu, KSY ile belirlenen maksimum plastik dönme taleplerinin; 3KÇ için YKY'ne göre %21.16 ve AEDY'ne göre %33.69, 6KÇ için YKY ve AEDY'ne göre %27.00 ve 8KPC için YKY ve AEDY'ne göre %14.56 oranında daha büyük olduğu belirlenmiştir (Tablo 4–6). Plastik dönme taleplerinin katlara göre dağılımları, bu çalışmada kabul edilen hasar bölgesi gruplandırmasına göre değerlendirildiğinde, KSY ile elde edilen sonuçların YKY ve AEDY'nden elde edilenlere göre hasar bölgesini değıştirecek mertebede farklı olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).

c) Görelî kat öteleme taleplerinin karşılaştırılması;

Görelî kat ötelemelerinin bina yüksekliği boyunca dağılımı bakımından analiz sonuçları karşılaştırıldığında, KSY ile belirlenen öteleme taleplerine ait dağılımının YKY ve AEDY'den elde edilenlere göre daha fazla olduğu (Şekil 3) belirlenmiştir. KSY'nden elde edilen maksimum görelî kat öteleme taleplerinin; 3KÇ için YKY'ne göre %17.65 ve AEDY'ne göre %26.90, 6KÇ için YKY ve AEDY'ne göre %22.32 ve 8KÇ için YKY ve AEDY'ne göre % 10.81 oranında daha büyük olduğu belirlenmiştir (Tablo 4–6).

Tablo 1-6 ve Şekil 3'den de görüleceği üzere, çalışma kapsamında incelenen üç bina örneği için KSY'nin YKY ve AEDY'ne göre global yerdeğiştirme taleplerini belirlemede daha büyük sonuç verdiği, buna bağlı olarak diğer yapısal davranış büyüklüklerinin de KSY ile daha büyük elde edildiği görülmüştür. İncelenen üç analiz yönteminden elde edilen yapısal davranış talepleri arasındaki bu farkların hasar bölgelerine bağlı olarak yapısal değerlendirmeyi etkileyebilecek mertebede olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3 Plastik dönme talepleri bakımından kat bazında binaların hasar bölgeleri ve görece kat ötelemeleri.

Sonuçlar

Bu çalışmada, belirli karakteristiklere sahip betonarme binalar üzerinde, ATC 40 ve FEMA 356'da öngörülen ve daha sonra FEMA 440'da geliştirilen "Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)" ve "Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)" ile TDY 2007'deki "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminden (AEDY)" elde edilen çeşitli yapısal davranış taleplerine ait büyüklüklerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, ele alınan az, orta ve çok katlı düzenli binaları temsil eden üç tipik betonarme bina örneği üzerinde söz konusu üç yöntem uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yöntemler değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Ele alınan üç betonarme bina için de KSY'nin, global yerdeğiştirme, plastik dönme ve görelî kat ötelemesi taleplerini, KYK ve AEDY'ne göre daha büyük verdiği ve farkın hasar bölgesini değiştirebilecek mertebede olduğu belirlenmiştir.
- İncelenen 6KÇ ve 8KÇ binalara ait birinci doğal titreşim periyotlarının özelliği nedeniyle KYK ve AEDY ile yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde *esit yerdeğiştirme kuralı*'ndan yararlanılmıştır. Bu nedenle, 6KÇ ve 8KÇ bina örnekleri için KYK ve AEDY'nden aynı analiz sonuçları elde edilmiştir. 3KÇ binanın KYK ile analizinde, bazı modelleme parametrelerinin (histeretik davranış vb.) global yerdeğiştirme talebine etkisinin gözönüne alınması, buna karşılık AEDY'de alınmaması nedeniyle, AEDY'nden elde edilen yapısal davranış taleplerin daha düşük elde edildiği belirlenmiştir. Bu farklılığın giriş hasar bölgesini etkileyebilecek mertebede olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın farklı özelliklerdeki çok sayıda bina örnekleri üzerinde gerçekleştirilmesi ve elde edilen sonuçların, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması ile söz konusu yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY Bayındırlık ve İmar Bakanlığı, Ankara.

Applied Technology Council (ATC) (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, Vol. 1. Washington, D.C.

CSI (2002) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, SAP2000, v.8, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY, Bayındırlık ve İmar Bakanlığı, Ankara.

European Standard Norme (2003) Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Eurocode-8, Brussels.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2000) NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Washington, D.C.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2005) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, Washington, D.C.

İrtem, E., Türker, K. ve Hasgöl, U. (2004) Türk deprem yönetmeliğinin performans hedeflerinin lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi, XVII. Teknik Kongre ve Sergisi, İMO, YTÜ, İstanbul.

İrtem E., Türker K. ve Hasgöl U. (2005) Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi, İTÜ Dergisi/d, Cilt 4, Sayı 4, pp. 3-13, İstanbul.

TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.