

Etkin (Çatlamış Kesit) Eğilme Rijitliği Yaklaşımlarının Betonarme Bina Performansına Etkisi

E. İrtem, K. Türker, U. Hasgöl

Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Öz

Son dönemde yaygınlaşan Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme (PDTD) yaklaşımında, binaların deprem etkileri altındaki yatay yük taşıma kapasitelerinin yanısıra taşıyıcı sistemin ve elemanlarının şekildeğiştirme taleplerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile elde edilen şekildeğiştirme taleplerini etkileyen önemli parametrelerden biri de betonarme yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının çatlamış kesit (etkin) eğilme rijitliklerinin belirlenmesidir. Bilindiği gibi betonarme elemanlarının etkin eğilme rijitliği, enkesit geometrisine, beton ve donatının malzeme özelliklerine, donatının miktarına ve yerleşim düzenine ve ayrıca kesitteki eksenel kuvvet düzeyine göre önemli oranda değişim gösterebilmektedir. Betonarme elemanların etkin eğilme rijitliği hesabını pratikleştirmek amacıyla literatürde ampirik ve yaklaşık formüllerin önerildiği farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu farklı yaklaşımlara göre, betonarme binaların lineer olmayan analiz yöntemlerine ait sonuçlarının değişebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışmada, betonarme kesitlerin etkin eğilme rijitliği için literatürde önerilen farklı yaklaşımların betonarme binaların PDTD'ne ait analiz sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Bunun için, betonarme kesitlerin etkin eğilme rijitliği için literatürde önerilen farklı yaklaşımlara göre betonarme düzlem çerçeve bir binaya ait modellerin Elastik Ötesi Statik İtme (Pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiş, daha sonra lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile performans düzeyleri belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar birçok parametre ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, betonarme kesitlerde etkin eğilme rijitliği için literatürde yaklaşık formüllerin önerildiği yaklaşımların binaların performans değerlendirmesinde esas olan bina performans düzeyini değiştirebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme bina performansı, pushover analiz, deplasman katsayıları yöntemi, çatlamış kesit rijitliği.

Giriş

Deprem mühendisliği alanında Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme (PDTD) yaklaşımı, pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de son dönemde popülerliği gittikçe artan bir konu haline gelmiştir. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yapı sahibinin, kullanıcının ve sosyal çevrenin çeşitli ihtiyaç ve hedefleri doğrultusunda öngörülen bir

performans düzeyi için yapıların düşey ve yatay (deprem) yükler altında tasarımını, değerlendirilmesini ve yapımını esas alan bir yaklaşımdır. Bu tasarım ilkesi, yapıların tasarımında kullanılabileceği gibi mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığı belirlenen yapıların onarım ve/veya güçlendirilmesi amacıyla da kullanılabilmektedir (Hasgöl, 2004).

Yapılan çalışmalar, binaların PDTD'nde belirli deprem tehlike seviyesi altında öngörülen performans hedeflerinin, yatay yük taşıma kapasitelerinin yanısıra elemanların ve tüm sistemin şekildeğiştirme taleplerinin belirlendiği hasar kontrollü olarak yapılmasının uygun olacağını göstermiştir. Bu talepleri belirlemek için, PDTD yaklaşımının temel aracı olan lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile eleman düzeyinde şekildeğiştirme taleplerinin gerçekçi olarak belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli doküman ve önstandarlarda (VISION 2000 (SEAOC, 1995), ATC 40 (ATC, 1996), FEMA 356 (FEMA, 2000) vb.) bu talepler; plastik dönme, görelî kat ötelemesi bakımından eleman bazında değerlendirilmiştir.

Lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile elde edilen şekildeğiştirme taleplerini etkileyen önemli parametrelerden biri de betonarme yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliklerinin belirlenmesidir. Bilindiği gibi, betonarme kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri en kesit geometrisine, donatı özelliklerine (miktarı ve yerleşim düzeni, beton kalitesi) ve elemanlardaki aksel kuvvetin düzeyine göre önemli oranda değişim göstermektedir. Betonarme elemanların etkin eğilme rijitliklerinin hesabını kolaylaştırmak amacıyla literatürde farklı yaklaşımlar önerilmektedir (Paulay ve Priestley, 1992; Browning ve diğ. 2000; FEMA, 2000; ACI, 2002; Girgin, 1996; Özer ve diğ., 1999; Çakıroğlu, 1986; Çakıroğlu ve Özer, 1990; Çakıroğlu ve diğ. (2002).

Betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri için etkin eğilme rijitliklerine ait literatürde verilen farklı yaklaşımlar için lineer olmayan yöntemleri ile analiz sonuçlarının değişebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, analiz sonuçlarındaki değişimin mertebesini ve aynı zamanda bina performans düzeyine olan etkilerini belirleyebilmek amacıyla literatürde önerilen farklı yaklaşımların etkisi araştırılmıştır. Bunun için pratikte orta katlı binaları temsil etmek üzere beş katlı betonarme bir binanın literatürde verilen farklı yaklaşımlar için Elastik Ötesi Statik İtme (Pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiş, daha sonra lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Depasman Katsayıları Yöntemi (DKY) (FEMA, 2000) ile performans düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kapasite eğrileri, performans düzeyleri, depasman ve dayanım talepleri, kiriş ve kolonlarda oluşan plastik şekildeğiştirme değerleri, görelî kat ötelemeleri vb. parametrelere göre karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

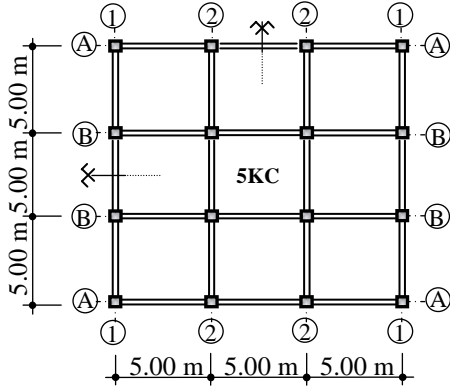
Sayısal Örnekler

Binanın Özellikleri

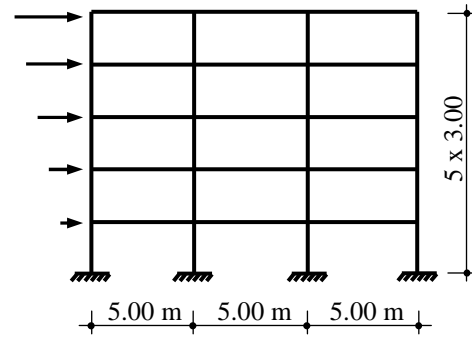
Çalışmada, etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliğinin bina performansına olan etkisini belirlemek amacıyla yapısal düzensizliği bulunmayan, her iki doğrultuda simetrik ve üç açıklıklı, beş katlı betonarme çerçeve bir bina örnek olarak ele alınmıştır. TS 500 (TSE, 2000) ve Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) (ABYYHY, 1998) göre boyutlandırılan betonarme binanın genel özellikleri Tablo 1'de, tipik kat kalıp planı Şekil 1a'da verilmiş ve örnek olmak üzere Şekil 1b'de görülen B-B çerçevesi ele alınarak incelenmiştir (Şekil 1b). B-B Çerçevesinin düşey işletme yükleri ve kat kütleleri Tablo 1'de, kiriş ve kolon enkesit boyutları ve donatıları Tablo 2'de verilmiştir (Türker, 2005).

Tablo 1 Betonarme binanın genel özellikleri (Türker, 2005).

Beton	C25 ($f_{ck}=2500 \text{ t/m}^2$; $E_c = 3025000 \text{ t/m}^2$)	Deprem bölgesi	1 ($A_0=0.40$)
Beton çeliği	S420 ($f_{yk}=42000 \text{ t/m}^2$; $E_s=20000000 \text{ t/m}^2$)	Bina önem katsayısı	1 ($I=1$)
Döşeme sabit yükleri	0.478 t/m^2 ($d=12 \text{ cm}$)	Zemin sınıfı	Z2 ($T_A=0.15\text{sn}$; $T_B=0.40\text{sn}$)
Döşeme hareketli yükleri	0.200 t/m^2	Süneklik düzeyi	Yüksek, $R=8$
Duvar yükleri (bütün kirişlerde)	0.284 t/m^2	B-B çerçevesi kat kütleleri	$4.903 \text{ tsn}^2/\text{m}$



a) Tipik kat kalıp planı



b) B - B çerçevesi

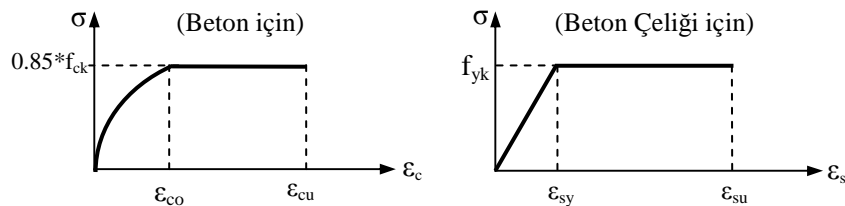
Şekil 1 Betonarme binanın tipik kat kalıp planı ve B - B çerçevesi.

Tablo 2 Kiriş ve kolon elemanlarına ait enkesit boyutları ve donatıları (Türker, 2005).

Kat	Kiriş Donatıları (cm^2)					Kiriş Boyutları (cm)	Tipik Kiriş Kesiti
	Yeri	Mesnet (1)	Açıklık (1-2)	Mesnet (2)	Açıklık (2-2)		
5	A_s'	6.28	6.28	6.28	6.28	$b = 85$ $h = 50$ $b_w = 25$ $h_f = 12$ $h' = 4$	
	A_s	6.28	6.28	6.28	6.28		
3-4	A_s'	9.43	6.28	9.43	6.28		
	A_s	6.28	6.28	6.28	6.28		
1-2	A_s'	12.57	6.28	12.57	6.28		
	A_s	6.28	6.28	6.28	6.28		
Kat	Kolon Adı	Kolon Donatısı A_s (cm^2)		Kolon Boyutları $b \cdot h$ ($\text{cm} \cdot \text{cm}$)		Tipik Kolon Kesiti	
4-5	B1	24.12		45*45		$h' = 4$	
	B2	16.08		35*35			
1-2-3	B1	24.12		45*45			
	B2	24.12		45*45			

Hesaplarda Yapılan Varsayımlar

- Gerilme – şekil değiştirme bağıntısı, betonda *parabol-dikdörtgen*, beton çeliğinde *ideal elasto-plastik* olarak alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2 Beton ve beton çeliğine ait gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) bağıntıları.

- Lineer olmayan şekildeğiştirmelerin *plastikleşen kesit* adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde sistemin *lineer-elastik* davrandığı kabul edilmiştir. Bu kabul düzlem çubuk sistemlerde uygulanan *plastik mafsal hipotezine* karşı gelmektedir.
- Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme ile, kolonlarda eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile meydana geldiği kabul edilmiştir.
- Kesme kuvveti etkisi altında sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılmaktadır. Ancak, taşıyıcı elemanların kesme kuvveti taşıma kapasiteleri kontrol edilmiştir.

Betonarme Elemanların Çatlamış Kesit (Etkin) Eğilme Rijitliklerinin Belirlenmesi

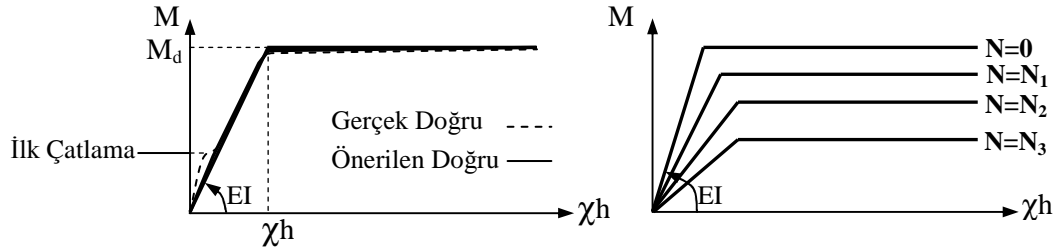
Betonarme binaların lineer olmayan yöntemler ile analizinde gerekli olan taşıyıcı sistem elemanlarının etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliğinin pratik olarak hesaplanabilmesi amacıyla, literatürde ampirik ve yaklaşık formüllerin önerildiği farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, literatürde önerilen farklı yaklaşımların bina performansına etkisini belirlemek amacıyla, Şekil 1'deki betonarme binanın B-B çerçevesine ait kiriş ve kolonlar, etkin eğilme rijitliğinin (EI_e) hesabı için verilen farklı yaklaşımlara göre modellenmiştir. Bu modellere ait bilgiler aşağıda özetlenmiş ve modellere ait bağıntılar Tablo 3'de verilmiştir.

- 5KC-M1 modelinde; taşıyıcı sistemdeki kiriş elemanlar donatı yerleşim düzenine göre, iki mesnet ve bir açıklık bölgesi olarak üç bölgeye ayrılmıştır. Her bölgedeki etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesinde düşey işletme yükleri altında oluşan eğilme momentlerine karşı gelen eğilme rijitlikleri kullanılmıştır ($EI_e = M_u / \chi_y$). Kolonlarda etkin eğilme rijitlikleri, donatı yerleşiminin eleman boyunca değişmediği göz önünde bulundurularak, düşey işletme yüklerinden oluşan normal kuvvet düzeyleri de esas alınarak belirlenmiştir. (Girgin, 1996; Özer ve diğ., 1999) (Tablo 3).
- 5KC-M2 modelinde; 5KC-M1 modelinde olduğu gibi donatı yerleşimi göz önünde bulundurulmuştur. Taşıyıcı sistem elemanlarının etkin eğilme rijitliklerinin (EI_e) hesabında, basit eğilme etkisindeki dikdörtgen ve tablalı kesitler için ve eğik eğilme ve eksenel basınç kuvvet etkisindeki kesitler için Çakıroğlu (1986), Çakıroğlu ve Özer (1990) ve Çakıroğlu ve diğ. (2002)'de verilen yaklaşık taşıma gücü ve eğrilik ifadelerinden yararlanılmıştır ($EI_e = M_{d \text{ yaklaşık}} h / \chi_{h \text{ yaklaşık}}$) (Şekil 3) (Tablo 3).
- 5KC-M3, 5KC-M4, 5KC-M5, 5KC-M6 modellerinde; taşıyıcı sistem elemanlarına ait etkin eğilme rijitliklerinin (EI_e) çubuk boyunca aynı olduğu ve betonarme kesitin brüt eğilme rijitliğinin ($EI_{brüt}$) belirli bir oranı olarak, literatürde önerilen farklı yaklaşımlara ait bağıntılardan yararlanılmıştır (Tablo 3) (Paulay ve Priestley, 1992; Browning ve diğ. 2000; FEMA, 2000; ACI, 2002).
- Etkin eğilme rijitliğinin sadece betonarme bina davranışına olan etkisini göstermek amacıyla 5KC-M7 modelinde etkin eğilme rijitliği için kesit brüt eğilme rijitliği kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3 Kiriş ve kolonların etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliği bağıntıları ve modelleri.

Model	Yaklaşım	Kirişler için	Kolonlar için
5KC-M1	Referans Eğilme Rijitliği, Girgin, (1996); Özer ve diğ., (1999)	$EI = \frac{M_u}{\chi_y} (N=0)$	$EI = \frac{M_u}{\chi_y} (N \neq 0)$
5KC-M2	Çakıroğlu (1986), Çakıroğlu ve Özer (1990) Çakıroğlu, ve diğ. (2002)	$EI = \frac{M_{d,yaklaşık}}{\chi^h_{yaklaşık}} (N=0)$	$EI = \frac{M_{d,yaklaşık}}{\chi^h_{yaklaşık}} (N \neq 0)$
5KC-M3	Paulay ve Priestley (1992)	$0.40 * EI_{brüt}$	$(0.60 \sim 0.80) * EI_{brüt}$
5KC-M4	Browning ve diğ. 2000	$0.50 * EI_{brüt}$	$1.00 * EI_{brüt}$
5KC-M5	FEMA (2000)	$0.50 * EI_{brüt}$	$(0.50 \sim 0.70) * EI_{brüt}$
5KC-M6	ACI (2002)	$0.35 * EI_{brüt}$	$0.70 * EI_{brüt}$
5KC-M7	Brüt Eğilme Rijitliği	$1.00 * EI_{brüt}$	$1.00 * EI_{brüt}$

Çalışmada, farklı yaklaşımlara göre etkin eğilme rijitliğinin bina performansına olan etkisini belirlemede karşılaştırma yapmak için 5KC-M1 modeli referans alınmıştır. 5KC-M1 modelinde, betonarme kesitlerin etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesinde **HELP** programından yararlanılmıştır (Girgin, 1996). 5KC-M2 modelinde betonarme kesitlerin etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesinde kullanılan formüller, malzeme güvenlik katsayılarının $\gamma_c = 1$ ve $\gamma_s = 1$ değerlerine karşı gelen M_d eğilme momenti taşıma kapasitesi ve χh boyutsuz eğrilik ifadeleri için Tablo 4’de özetlenmiştir.



Şekil 3 Kesitlere ait gerçek ve önerilen eğilme momenti-eğrilik ($M-\chi$) bağıntıları.

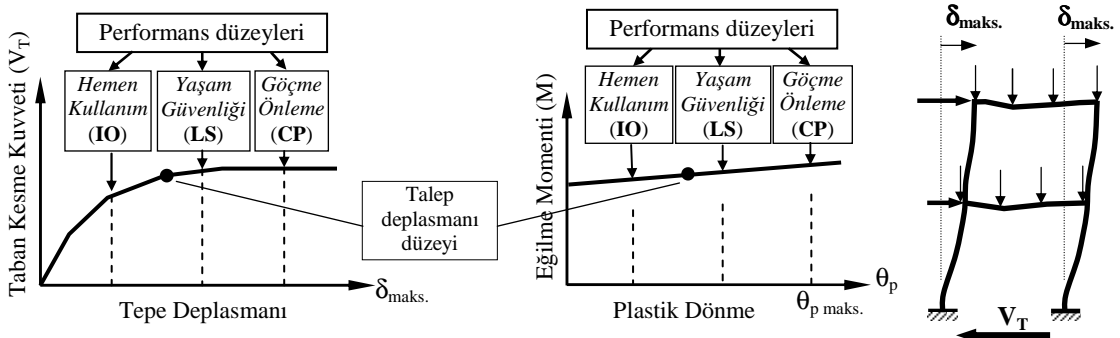
Tablo 4 5KC-M2 için yaklaşık moment taşıma kapasitesi ve boyutsuz eğrilik bağıntıları.

Kesit	Kesit Tipi	M_d yaklaşık	χh yaklaşık
Kiriş	Tablalı	$\mu[(1+\alpha)/2-0.613] * bh^2 f_{ck}$	$0.0027+0.006 * \mu$
	Dikdörtgen	$\{\mu(1-\beta)[(1+\alpha)/2-0.613(1-\beta)] + \alpha\beta\mu\} * bh^2 f_{ck}$	$0.0027+(6-2*\beta) * \mu/1000$
Kolon	$n < 0.35$	$\{0.402\mu-0.491n^2+0.440n\} * bh^2 f_{ck}$	$0.0027+0.004 * \mu+0.0008 * n$
	$0.35 \leq n \leq 0.50$	$\{0.394\mu+0.099n\} * bh^2 f_{ck}$	
	$n > 0.50$	$\{0.394\mu-0.102n^2+0.0736n+0.164\} * bh^2 f_{ck}$	

Burada $n=N/(0.85bh f_{ck})$ boyutsuz aksenal kuvveti; $\mu=(A_s/bh)*(f_{yk}/f_{ck})$ çekme donatısına ait mekanik donatı oranını; $\beta=(A_s'/A_s)$ oranını; $\alpha=(h-2h')/h$ paspayı oranını; f_{ck} ve f_{yk} betona ait karakteristik basınç dayanımını ve çeliğe ait akma dayanımını; h ve b kesit yüksekliğini ve genişliğini (tablalı kesitlerde tabla genişliğini) göstermektedir. Kolon kesitleri için taşıma gücüne ait bağıntılar, $\alpha=0.80$ değeri için ve donatının kesitin iki kenarda eşit oranda yerleşimi için verilmiştir. Ayrıca, donatının kesitte farklı dağılımı ve α 'nın 0.80 'den farklı olduğu durumlar için de k_1 ve k_2 düzeltme katsayıları verilerek betonarme kesitlerin taşıma gücü bağıntılarının uygulama alanı genişletilmiştir (Çakıroğlu ve Özer, 1990).

Performans Düzeylerinin ve Deprem Tehlike Seviyesinin Tanımlanması

Binaların performans değerlendirmelerini yapabilmek için performans düzeylerini belirlemede gerekli kriterler iki grupta toplanabilir. Bu kriterler, maksimum deplasman talebine (hedef deplasmana) kadar statik olarak itilmiş binanın, taşıyıcı sistem elemanlarındaki (kiriş ve kolon) *maksimum plastik dönme* değerleri ile *maksimum göreceli kat öteleme* değerleridir (Hasgöl, 2004, İrtem ve diğ., 2004-a,b, İrtem ve diğ., 2005). Bu çalışmada, performans değerlendirilmeleri yapılacak betonarme binanın B-B çerçevesine ait Tablo 3'deki taşıyıcı sistem modelleri, göz önüne alınan deprem tehlike seviyesi için lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) (FEMA, 2000) ile belirlenen maksimum deplasman değerlerine (deplasman talebine) kadar statik olarak itilerek göreceli kat ötelemeleri ve taşıyıcı sistemde plastikleşmenin olduğu kesitlerde plastik dönme değerleri belirlenecektir. Tablo 3'deki modellere ait plastik dönme değerleri ve göreceli kat ötelemeleri açısından incelenen betonarme çerçeve binaya ait modellerin performans seviyeleri, FEMA 356 (FEMA, 2000) ve ATC 40'da (ATC, 1996) tanımlanan performans düzeylerine (hemen kullanım düzeyi (IO), yaşam güvenliği düzeyi (LS) ve göçme önleme düzeyi (CP)) ait sınır değerler ile karşılaştırılarak belirlenecektir (Şekil 4). Binaya ait modellerin performans düzeylerinin DKY ile belirlenmesinde, TDY'nde (ABYYHY,1998) I=1 olan binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı % 10 olan şiddetli depreme (tasarım depremi) ait tasarım spektrumu kullanılmıştır (Hasgöl, 2004).



Şekil 4 Performans düzeylerinin belirlenmesi.

Binaya Ait Modellerin Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

İncelenen binaya ait modellerin yatay kuvvet (deprem) taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrilerini elde etmek için, sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay deprem yükleri altında elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılmıştır. Pushover analizde, malzemenin lineer olmayan davranışı göz önüne alınmakta ancak, denge denklemleri ile geometrik uygunluk koşullarında geometri değişimleri etkisinin ihmal edilmiştir. Düşey yük olarak (1.0G+1.0Q) yüklemesi esas alınmış ve sistemde kirişlere etkiyen düşey yükler eşdeğer tekil yükler ile idealleştirilmiştir. Pushover analizde, depremi temsil eden yatay yük dağılımı olarak 1.mod atalet kuvveti dağılımı kullanılmıştır. Modellerin pushover analiz ile kapasite eğrilerinin belirlenmesinde *SAP2000 Yapı Analiz Programı*'ndan yararlanılmıştır (CSI, 2002).

DKY ile Deplasman Taleplerinin Belirlenmesi

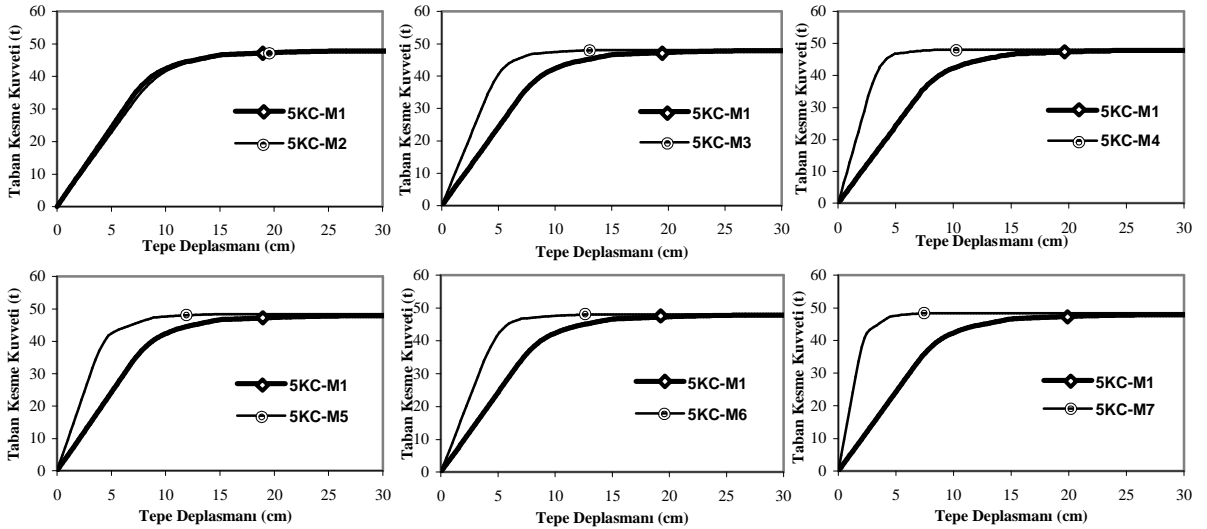
İncelenen betonarme bina modellerinin tasarım depremi için deplasman ve dayanım talepleri, pushover analiz ile elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanarak lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden DKY (FEMA, 2000, Hasgöl, 2004) ile belirlenmiştir.

İncelenen binaya ait modellerin serbest titreşim analizinden elde edilen birinci moda ait titreşim periyotları ve DKY'den elde edilen analiz sonuçları Tablo 5'de gösterilmiştir. DKY ile analizde; histeresis davranışı temsil eden C_2 katsayıları, incelenen bina modellerinde gerçekleşen performans düzeylerine bağlı olarak belirlenmiştir. Bina modellerinin performansı başlangıçta bilinmediğinden C_2 katsayıları ardışık yaklaşım ile belirlenmiştir.

Tablo 5 Farklı yaklaşım modelleri için DKY ile elde edilen analiz sonuçları.

Model	S_a (g)	C_0	C_1	C_2	C_3	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (t/m)	δ_{maks} (cm)	V_T (t)
5KC-M1	0.437	1.260	1.00	1.13	1.00	1.113	484.68	19.122	47.272
5KC-M2	0.436	1.264	1.00	1.13	1.00	1.129	458.24	19.737	47.152
5KC-M3	0.547	1.244	1.00	1.06	1.00	0.851	850.28	12.965	48.003
5KC-M4	0.645	1.243	1.00	1.05	1.00	0.693	1274.7	10.029	48.018
5KC-M5	0.574	1.233	1.00	1.07	1.00	0.801	972.90	12.070	48.101
5KC-M6	0.559	1.245	1.00	1.06	1.00	0.827	895.93	12.538	48.028
5KC-M7	0.755	1.229	1.00	1.00	1.00	0.569	1925.44	7.454	48.378

Çerçeve bina modellerinin her biri için literatürde önerilen kesit etkin eğilme rijitliklerinin (5KC-M2 (Çakıroğlu ve diğ., 2002), 5KC-M3 (Paulay, 1992), 5KC-M4 (Browning ve diğ. 2000) 5KC-M5 (FEMA, 2000), 5KC-M6 (ACI, 2002), 5KC-M7) kullanılmasıyla elde edilen kapasite eğrileri ve DKY'den elde edilen hedef deplasmanları, referans alınan 5KC-M1'den elde edilen kapasite eğrileri ve hedef deplasmanları ile Şekil 5'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



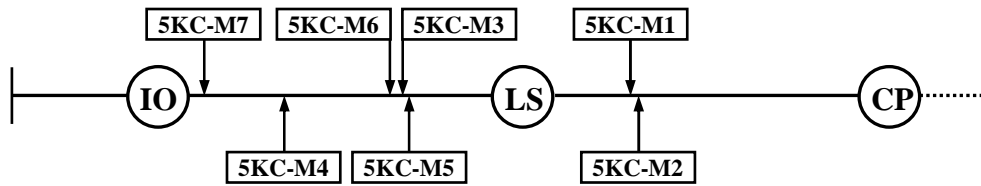
Şekil 5 Modellerin kapasite eğrilerinin ve hedef deplasmanlarının karşılaştırılması.

Betonarme Çerçeve Bina Modellerine ait Performans Düzeyleri

Taşıyıcı sistemdeki kolon ve kiriş elemanların maksimum plastik dönme değerleri ile görel kat ötelemeleri değerleri, DKY ile belirlenen maksimum deplasman talebine kadar statik olarak itilerek belirlenmiştir. Bina modellerine ait performans düzeyleri, taşıyıcı sistemdeki elemanların maksimum plastik dönme değerleri ile görel kat ötelemelerine göre FEMA 356 (FEMA, 2000) ve ATC 40 (ATC, 1996)'da tanımlanan performans düzeylerine (hemen kullanım düzeyi IO, yaşam güvenliği düzeyi LS ve göçme önleme düzeyi CP) ait sınır değerler ile karşılaştırılarak Tablo 6 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 6 Farklı yaklaşım modelleri için DKY ile belirlenen performans düzeyleri.

Model	Maksimum plastik dönme (rad.)		Performans düzeyine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	
	Kiriş	Kolon	Kirişlerde				Kolonlarda					
			< IO	IO-LS	LS-CP	CP <	< IO	IO-LS	LS-CP	CP <		
5KC-M1	0.01242	0.00478	3	9	9	---	---	4	---	---	0.0174	IO-LS
5KC-M2	0.01264	0.00598	3	11	7	---	---	4	---	---	0.0176	IO-LS
5KC-M3	0.00848	0.00550	7	16	---	---	3	4	---	---	0.0120	IO-LS
5KC-M4	0.00679	0.00512	8	15	---	---	4	4	---	---	0.0090	< IO
5KC-M5	0.00867	0.00387	3	18	---	---	2	4	---	---	0.0117	IO-LS
5KC-M6	0.00819	0.00582	7	16	---	---	3	4	---	---	0.0114	IO-LS
5KC-M7	0.00550	0.00327	12	9	---	---	3	4	---	---	0.0071	< IO



Şekil 6 DKY'nden elde edilen bina modellerinin performans düzeyleri

Etkin Eğilme Rijitliği Yaklaşımlarının Bina Performansına Etkisi

Betonarme bina modellerindeki kolon ve kiriş elemanlarının etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliklerinin hesabında; referans alınan ve farklı yaklaşımlara ait bağıntıların kullanıldığı bina modellerinin, tasarım depremi için lineer olmayan analiz yöntemlerinden DKY ile elde edilen analiz sonuçları Tablo 5, Şekil 5'de, performans düzeyleri ise Tablo 6 ve Şekil 6'da sunulmuştur. Kolon ve kiriş elemanlarının etkin eğilme rijitliğinin hesabında; referans alınan 5KC-M1 modelinden elde edilen analiz sonuçları ile yaklaşık bağıntıların kullanıldığı 5KC-M2 ve literatürde farklı yaklaşımların kullanıldığı 5KC-M3, 5KC-M4, 5KC-M5, 5KC-M6 ve brüt eğilme rijitliğinin kullanıldığı 5KC-M7 modellerinden elde edilen analiz sonuçları farklı parametrelere göre karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

a) Deplasman taleplerine göre değerlendirme;

5KC-M2'den elde edilen δ_{maks} maksimum deplasman talebi (hedef deplasmanı) değerinin 5KC-M1'den elde edilen değere eşit kabul edilebileceği belirlenmiştir. 5KC-M3, 5KC-M4, 5KC-M5, 5KC-M6 ve 5KC-M7'den elde edilen δ_{maks} değerlerinin ise 5KC-M1'e göre sırasıyla % 32, %48, %37, %34 ve %61 oranında daha az oldukları belirlenmiştir. Buna göre; 5KC-M1'den elde edilen δ_{maks} maksimum deplasman talebi değerine göre 5KC-M4 ve 5KC-M7 yaklaşımlarına ait δ_{maks} değerinin beklenildiği gibi oldukça farklı oldukları, 5KC-M2 yaklaşımında farkın çok küçük olduğu, diğer yaklaşımların ise beklenen oranda yakın olmadıkları görülmüştür.

b) Dayanım taleplerine göre değerlendirme;

Dayanım talebi değerinin 5KC-M1'e göre, 5KC-M2'de çok az oranda daha küçük ve diğer yaklaşım modellerinde ise çok az oranda daha büyük olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre; beklenildiği gibi betonarme kesitlerde etkin eğilme rijitliği için önerilen yaklaşımlara ait bağıntıların birbirine çok yakın sonuç verdiği ve bina dayanım talebine olan etkilerinin ihmal edilebilecek oranda olduğu belirlenmiştir.

c) *Maksimum plastik dönme (plastik şekildeğiştirme) değerlerine göre değerlendirme;*
Taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerindeki maksimum plastik dönme değerlerinin 5KC-M1 ve 5KC-M2’de birbirlerine eşit kabul edilebileceği, diğer modellerde 5KC-M1 modeline göre kirişlerde daha az, kolonlarda ise 5KC-M5 ve 5KC-M7 haricindeki modellerde fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerindeki maksimum plastik dönme değerlerini belirlemede 5KC-M1 modeline göre, 5KC-M2 yaklaşımının oldukça yakın, diğer yaklaşımların ise bazı plastik kesitlerde performans düzeyini değiştirecek mertebede farklı oldukları ve ayrıca, 5KC-M7’nin beklenildiği gibi yetersiz olduğu söylenebilir.

d) *Katlar arası maksimum görelî kat ötelemelerine göre değerlendirme;*

Binanın maksimum görelî kat ötelemesi değerlerinin 5KC-M1 ve 5KC-M2’de aynı olduğu, diğer modellerde ise farklı olduğu belirlenmiştir. Ancak bu farkların sadece 5KC-M4 ve 5KC-M7’de performans düzeyini değiştirecek mertebede olduğu belirlenmiştir.

e) *Plastik kesitlerin performans düzeylerine ait dağılımlarına göre değerlendirme;*

5KC-M1’de kiriş ve kolonlarda oluşan plastik kesitlerin performans düzeylerine göre dağılımlarının ve 5KC-M2’de çok benzer olduğu, diğer modellerde ise farklı olduğu görülmüştür. 5KC-M2 haricindeki diğer modellerin kirişlerde oluşan **LS-CP** hasar düzeyini belirleyemediği, ayrıca referans alınan durumdan farklı olarak bazı kolonlarda **<IO** hasar düzeyinde ilave plastik kesitlerin oluştuğu görülmüştür.

Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme binaların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesinde bina performansına etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliği için literatürde önerilen farklı yaklaşımların etkisi araştırılmıştır.

İncelenen tüm parametreler için; literatürde enkesit brüt eğilme rijitliğinin oranı olarak verilen farklı yaklaşım modellerine (5KC-M3, 5KC-M4, 5KC-M5, 5KC-M6) ait bağıntıların kullanılmasıyla elde edilen sonuçların birbirlerine yakın oldukları görülmüştür. Ancak bu sonuçlar ile etkin eğilme rijitliği için *eğilme momenti-eğrilik* ($M-\gamma$) ilişkisi ile belirlenen referans alınan *etkin eğilme rijitliğinin* kullanıldığı 5KC-M1 modele ait sonuçlardan oldukça farklı olduğu ve incelenen parametrelerin çoğunda, performans düzeyini değiştirecek mertebede farkların oluştuğu belirlenmiştir. Farklı yaklaşımlar için etkin eğilme rijitliklerinin bina dayanım talebine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

İncelenen tüm parametreler için; basit eğilme ve bileşik eğilme etkisindeki betonarme elemanlar için verilen yaklaşık taşıma gücü ve eğrilik formüllerinin kullanıldığı 5KC-M2 modele ait sonuçların referans alınan *etkin eğilme rijitliklerinin* kullanıldığı modele ait sonuçlar ile yaklaşık aynı sonuç verdiği belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, etkin (çatlamış kesit) eğilme rijitliği için eleman boyunca aynı etkin eğilme rijitliklerinin kullanıldığı literatürdeki ampirik yaklaşımların, bina performans düzeyini değiştirebileceği belirlenmiştir.

Yazarlar, betonarme binalar üzerinde bu kapsamdaki araştırmayı halen sürdürmektedir.

Kaynaklar

ABYYHY, (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, TDY, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye.

ACI (2002) Building Code Requirements for Structural Concrete American Concrete Institute, ACI318-02, Detroit, Michigan, USA.

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

Browning, J., R. Li, A. Lynn, and J. P. Moehle. "Performance Assessment for a Reinforced Concrete Frame Building," *EERI Spectra*, Vol. 16, No. 3, pp. 541-555, August 2000.

CSI (2002) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, SAP2000V.8. Computers and Structures, Inc. C.A., USA.

Çakıroğlu, A. (1986) Dikdörtgen ve Tablalı Betonarme Kesitlerin Taşıma Gücüne Göre Hesabı İçin Bir Abak, Yesa Yayınları-2, İstanbul.

Çakıroğlu, A. ve Özer, E. (1990) Dikdörtgen ve Daire Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri ve Yaklaşıklık Mertebeleri, İMO Teknik Dergi, Ocak 1990, pp.25-48.

Çakıroğlu, A., Girgin, K. ve Özer, E. (2002) Çatlamış Betonarme Kesit Eğilme Rijitliklerinin Hesabı için Yaklaşık Formüller, Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, İTÜ, İstanbul

FEMA (2000). Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356 Federal Emergency Management Agency, Virginia, USA.

Girgin, K. (1996) Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hasgül U. (2004) Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Boyutlandırılan Betonarme Binaların Performanslarının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi F.B.E, Balıkesir.

İrtem, E., Türker, K. ve Hasgül, U. (2004-a) 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 Hasgül, U. (2004-b) Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, ACE 2004, 6. International Conference, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

İrtem E., Türker K. ve Hasgül U. (2005) Dolgu Duvarlarının Betonarme Bina Davranışına Etkisi, İTÜ Dergisi/d, Cilt 4, Sayı 4, pp. 3-13, İstanbul.

Özer, E., Pala, S., Orakdöğen, E., Girgin, K. (1999) Deprem Bölgelerindeki Mevcut Betonarme Tapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Türk Deprem Vakfı Teknik Rapor, TDV/TR 028-45.

Paulay, T. ve Priestley M.J.N. (1992) Seismic design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Willey & Sons, NewYork, USA.

SEAOC (1995) Performance Based Seismic Engineering of Buildings, VISION 2000, Structural Engineers Association of California, C.A, USA.

Türker K. (2005), Yapıların Deprem Davranışının Belirlenmesi İçin Çok Modlu Uyarlamalı Yük Artımı Yöntemi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi F.B.E, Balıkesir.

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