

Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi

E. İrtem, K. Türker, U. Hasgül

Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliğinde [ABYYHY,1998] depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi olarak öngörülen performans (deprem güvenliği) hedeflerinin değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu amaç kapsamında duvarların etkisinin bina taşıyıcı sisteminde göz önünde bulundurulduğu ve ihmal edildiği iki farklı durum için elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunun için, düzenli bir betonarme bina ele alınmış ve lineer olmayan statik analiz yöntemleri (Kapasite Spektrum Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi) ile deprem yönetmeliğimizdeki hafif, orta, şiddetli (tasarım) depremler için ve ayrıca ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden çok şiddetli deprem tehlike seviyesi için binanın performans düzeyleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, taşıyıcı sistemde duvarların göz önüne alınması ile yapı performansının ihmal edilemeyecek düzeyde arttığı ve yapı davranışının değiştiği görülmüştür. Yapının performans değerlendirmesini yapabilmek için gerekli kriterler FEMA 356 ve ATC 40'dan yararlanılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliğinde de performans ve hasar düzeyi tanımlamalarına ve lineer olmayan analiz yöntemlerine yer verilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Giriş

Son yıllarda özellikle kentsel alanlarda meydana gelen depremlerde yapılardaki hasarların çok büyük ekonomik kayıplara neden olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün de göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Buna bağlı olarak, geleneksel kuvvete dayalı tasarımın yerini alması için performans (deprem güvenliğine) dayalı tasarım ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır [Poland, 1997]. Çağdaş ülke yönetmeliklerinde olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliğinde de [ABYYHY, 1998] depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi olarak yapılar için üç farklı (hafif, orta, şiddetli (tasarım)) deprem tehlike seviyesine göre çok genel bazı performans hedefleri öngörülmektedir. Bu performans hedefleri deprem tehlike seviyeleri ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyleri bakımından net olmayan tanımlamalara sahiptir. Öngörülen bu hedefler yönetmelikteki çeşitli koşullar (süneklik koşulları, yer değiştirme sınırlandırmaları vb.) ile sağlatılmaya çalışılmaktadır.

Ancak yönetmelikteki geleneksel deprem tasarımı ile yapı performansının öngörülen sınırlar içinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılamamaktadır. Bu kontrol için lineer olmayan dinamik veya statik analiz yöntemlerinin kullanılmasına gerek duyulmaktadır. Çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliğinin [ABYYHY-1998] ana ilkesi olarak öngörülen performans (deprem güvenliği) hedeflerinin değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu amaç kapsamında betonarme binalardaki duvarların taşıyıcı sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapının performans düzeylerinin belirlenmesinde FEMA 356 [FEMA, 2000] ve ATC 40 [ATC, 1996]' da tanımlanan performans kriterlerinden yararlanılmıştır. Sayısal hesaplamalarda lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) [ATC 40, 1996] ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) [FEMA 356, 2000] kullanılmıştır. Yönetmeliğin değerlendirilmesinde hafif, orta, şiddetli deprem ve ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden çok şiddetli deprem olmak üzere dört ayrı deprem tehlike seviyesi göz önüne alınmıştır.

Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri

Son dönemde özellikle A.B.D ve Japonya'da yapıların tasarımı, deprem güvenliğinin belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi için performans esaslı yeni prosedürler geliştirilmekte ve bunlar ön standart (ATC 40 [ATC, 1996], FEMA 356 [FEMA, 2000], Vision 2000 [SEAOC, 1995], Blue Book [SEAOC,1999]) olarak tartışmaya sunulmaktadır. Tüm bu dokümanlarda lineer olmayan statik analiz yöntemleri önemli yer tutmaktadır. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri temel olarak, yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu kapasite eğrisinden yararlanarak göz önüne alınan deprem için yapının elastik olmayan maksimum deplasmanının (deplasman talebinin) hesaplanmasını ve bu deplasman değerine kadar statik olarak itilmiş yapının performansının (deprem güvenliğinin) belirlenmesini içermektedir [Reinhorn, 1997]. Yapıların performansının değerlendirilmesinde lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden yaygın olarak kullanılanları Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) dir. Bu çalışmada da bu yöntemlerden yararlanılmıştır.

Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)

Bu yöntemde, grafik bir prosedür sayesinde yapının kapasitesi yapıdaki deprem talebi ile karşılaştırılmaktadır. Yapının kapasitesi, elastik ötesi statik itme analizi ile belirlenen kuvvet-deplasman eğrisi (kapasite eğrisi) ile temsil edilmektedir. İtme analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin spektral ivmelerine ve spektral deplasmanlarına dönüştürülür (1). Bu spektral değerler kapasite spektrumunu tanımlar (Şekil 1a). Deprem talepleri yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır (2). Ancak, bu spektrum da kapasite spektrumunu gibi spektral ivme-spektral deplasman (ADRS) formatında ifade edilir. Aynı grafik üzerinde çizilen talep ve kapasite spektrumlarının kesişimi (**P**: performans noktası), elastik olmayan dayanım ve deplasman talebini verir (Şekil 1a). Tepe deplasmanı performans noktasına ulaşmış yapıda, kesitlerdeki *iç kuvvet-şekil değiştirme* bağıntıları, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyesini ifade eden sınır değerler ile karşılaştırılarak yapının performans düzeyi belirlenir [ATC 40,1996].

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad S_d = \frac{\delta_{\max}}{PF_1 \phi_{\text{tepe},1}} \quad (1)$$

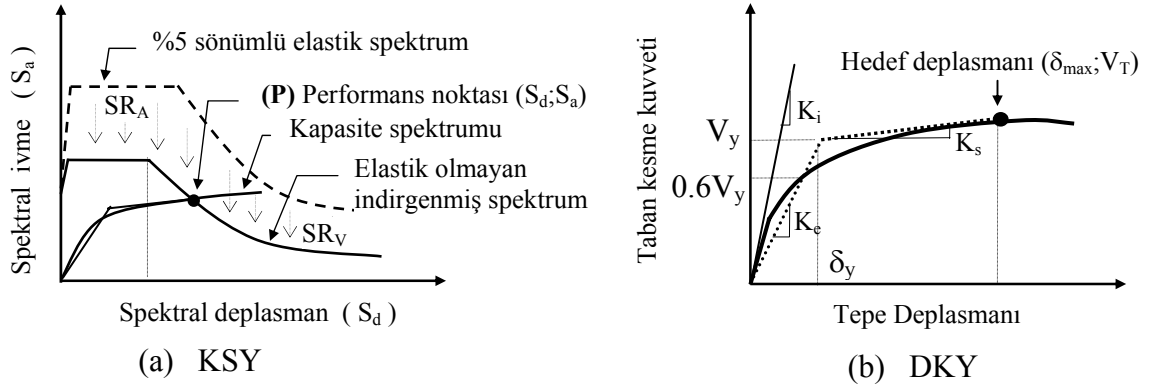
Burada, S_a spektral ivmeyi, S_d spektral deplasmanı, V_T ve δ_{max} sırasıyla itme analizinin her bir adımındaki taban kesme kuvvetini ve yapı tepe deplasmanını, W toplam yapı ağırlığını, $\phi_{tepe,1}$ birinci moda ait en üst kattaki genliği, α_1 birinci doğal moda ait modal kütle katsayısını ve PF_1 birinci doğal moda ait modal katılım çarpanını göstermektedir.

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (2)$$

Burada β_{eff} efektif viskoz sönümü, SR_A ve SR_V sırasıyla spektrumun sabit ivme ve sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayılarını göstermektedir.

Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)

Bu yöntemde, deplasman talebi esasen, istatistiksel analizlere dayanan bazı düzeltme çarpanları kullanılarak elastik deplasman spektrumundan elde edilen elastik olmayan deplasman spektrumu ile belirlenmektedir. Bu yöntemde de öncelikle kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri Şekil 1b'deki gibi iki doğru parçası ile idealleştirilerek (3) ile efektif periyot T_e ve ilgili düzeltme katsayıları kullanılarak (4) ile deplasman talebi δ_{max} (hedef deplasmanı) hesaplanır. Bu deplasman değerine kadar itilmiş yapının performansının değerlendirilmesi işlemi KSY'nde olduğu gibidir [FEMA 356, 2000].



Şekil 1. KSY ve DKY ile deplasman taleplerinin belirlenmesi

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3)$$

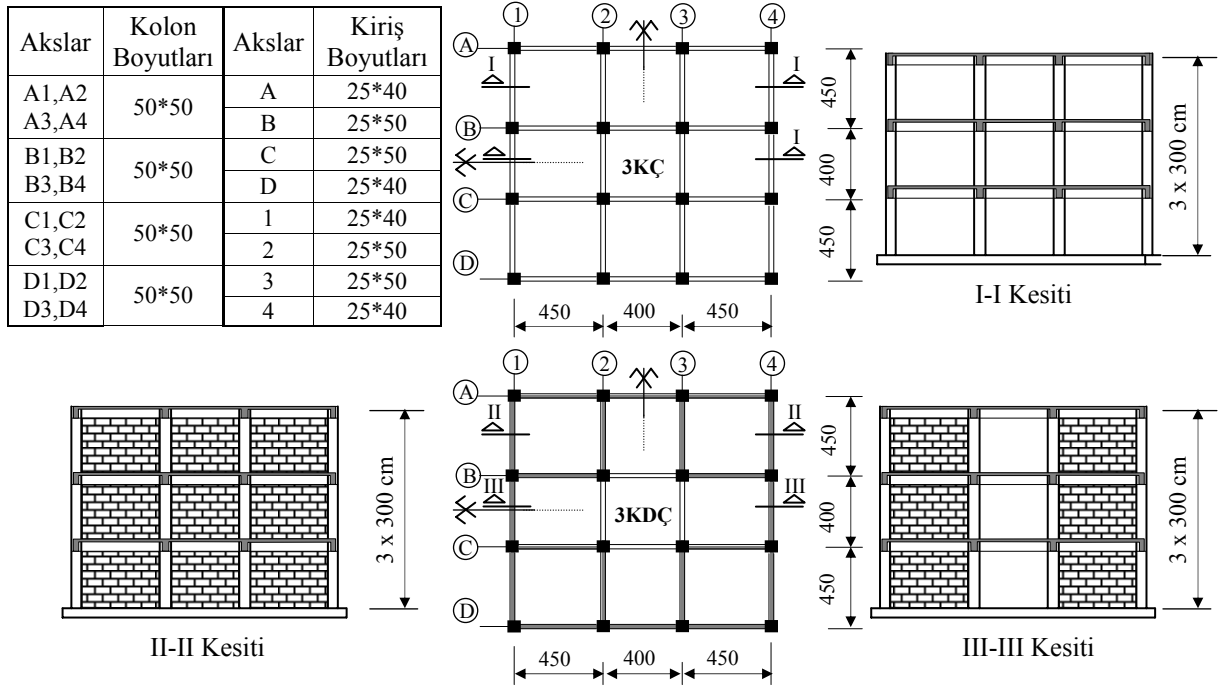
Burada, T_i yapının elastik dinamik analiz ile bulunan birinci doğal periyodu, K_i yapının elastik başlangıç rijitliği, K_e yapının elastik efektif rijitliğidir.

$$\delta_{max} = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a T_e^2 / (4\pi^2) \quad (4)$$

Burada, C_0 yapının tepe deplasmanını spektral deplasman ile ilişkilendiren katsayı, C_1 *lineer-elastik* davranış için hesaplanmış deplasmanlar ile maksimum elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayı, C_2 histeresis şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayısı, C_3 *II. Mertebe* etkiler nedeniyle artırılmış deplasmanları temsil eden katsayı, S_a yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivmedir [FEMA 356, 2000].

Sayısal Analizler

Performans değerlendirmelerini yapmak üzere, 3 katlı betonarme çerçeve yapı sistemi seçilmiştir (Şekil 2). Yapısal düzensizliği bulunmayan bu yapı öncelikle TS-500 [TSE, 2000] ve ABYYHY-1998'e göre boyutlandırılmıştır. Yapının boyutlandırılmasında, deprem bölgesi 1 ($A_0=0.40$), $I=1$, Z2 ($T_A=0.15$ sn, $T_B=0.40$ sn) ve $R=8$ olarak alınmıştır. Dolgu duvarların, bina taşıyıcı sisteminin performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 3 katlı çerçeve (3KÇ)'nin dolgunsuz ve dolgu duvarının taşıma kapasitesinin göz önüne alındığı 3 katlı dolgulu çerçeve (3KDC)'nin analizleri yapılarak performans düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dolgunsuz ve dolgulu yapının çatlamış kesitli (1). doğal titreşim periyotları (T_1) sırası ile 0.458 sn ve 0.127 sn olarak hesaplanmıştır.



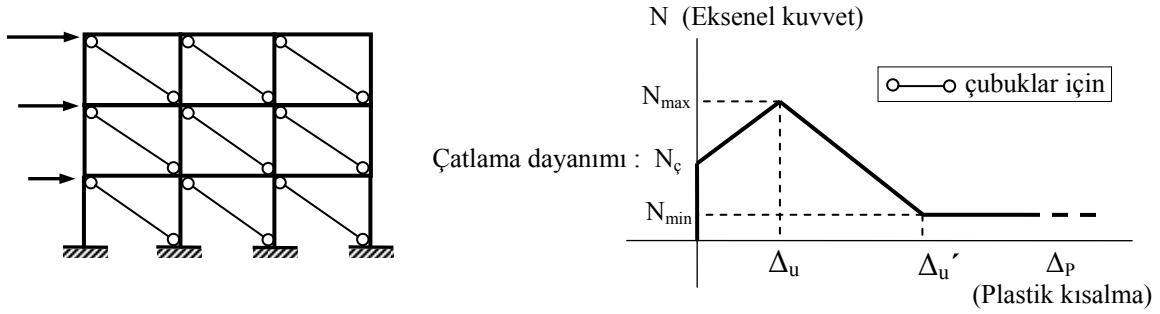
Şekil 2. İncelenen yapının planı, kesit görünüşleri ve eleman boyutları

Kabuller ve Yapının Matematik Modeli

Plastik şekil değiştirmelerin *plastik kesit* adı verilen belirli bölgelerde toplandığı bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının *linear-elastik* olduğu kabul edilmiştir. Kirişlerde plastikleşmenin tek eksenli eğilme momenti ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Ayrıca, kolon ve kirişlerdeki kesme kuvveti ve burulma momenti taşıma kapasiteleri de birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmiştir. Kolon ve kirişlerin *Moment-Plastik dönme* bağıntısı *pekleşen-rijit-plastik* davranış olarak kabul edilmiş ve bu bağıntıya ait karakteristik değerler (plastikleşme momentleri ve maksimum plastik dönme değerleri) ATC 40'dan alınmıştır. Elemanların çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356'da önerilen değerler kullanılmıştır.

Betonarme binalardaki dolgu duvarlar, imal edildikleri malzemelerin (tuğla, harç, sıva v.b) özelliklerine, içerdikleri boşluklara (kapı, pencere, v.b) ve çerçeve özelliklerine göre farklı kırılma davranışları göstermekte ve bu davranışlara bağlı olarak çeşitli şekillerde modellenmektedir [Paulay, 1992]. Bu çalışmada, yapıdaki toplam boşlukları

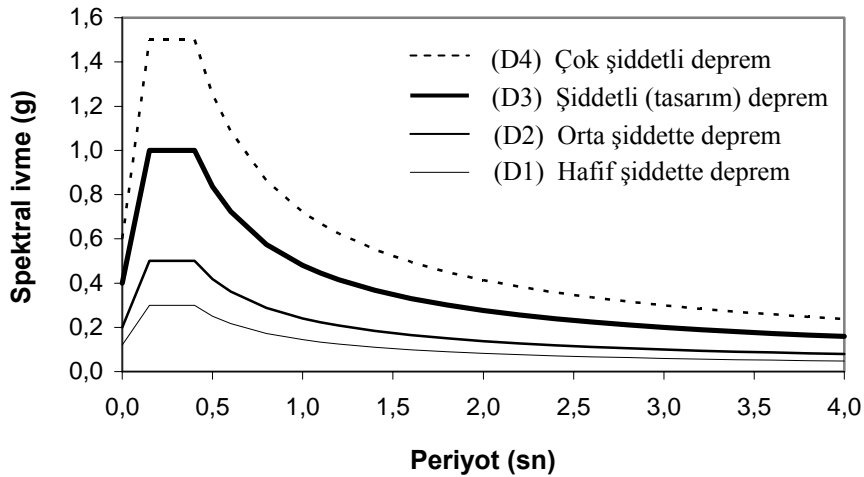
(kapı, pencere v.b) temsil etmek üzere iç orta açıklıklarda (Şekil 2. III-III kesiti) duvar olmadığı, diğer açıklıklardaki dolgu duvarların ise boşluk içermediği ve basınç kırılması davranışı gösterdiği kabul edilerek yapı sisteminde iki ucu mafsallı çubuk elemanlarla temsil edilmiştir. Bu elemanların *eksenel kuvvet-plastik kısalma* ($N-\Delta_p$) bağıntısı için [Hanoğlu, 2002]'deki yaklaşımdan yararlanılmıştır (Şekil 3). Ancak, dolgu duvarların çekme dayanımı ve çerçeve elemanları ile olan temas yüzeylerindeki sürtünme etkisi ihmal edilmiştir. Çalışmada kullanılan dolgu duvara ait malzeme özelliklerinin (basınç dayanımları, elastisite modülleri vb.) belirlenmesinde [Ersin, 1997]'deki deneysel verilerden yararlanılmıştır.



Şekil 3. Dolgulu çerçeve modeli ve dolgu duvarını temsil eden çubukların ($N-\Delta_p$) bağıntısı

Talep Spektrumlarının Tanımlanması

Yönetmeliğin [ABYYHY, 1998] değerlendirilmesinde dört deprem tehlikesi seviyesi göz önüne alınmıştır. Bunlar, yönetmelikte sözü edilen hafif, orta ve şiddetli (tasarım) deprem ile, ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden çok şiddetli depremdir. Yönetmelikte şiddetli deprem olarak tanımlanan tasarım depremi $I=1$ olan binalar için, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem tehlikesini ifade etmektedir. Ancak, yönetmelikte yer alan hafif ve orta şiddetteki depremler için olasılıksal bir tanımlama yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, hafif ve orta şiddetteki depremlere ait spektrumlar, ATC 40, FEMA 356 ve Vision 2000'de yer alan deprem tehlikesi sınıflandırmalarından yararlanarak tasarım spektrumundan türetilmiştir. Buna göre hafif şiddetteki depremin (D1) tasarım depreminin (D3) yaklaşık % 30'u olduğu, orta şiddetteki depremin (D2) tasarım depreminin yaklaşık % 50'si olduğu kabul edilmiştir. Çok şiddetli deprem (D4) ise tasarım depreminin 1.5 katı olarak kabul edilmiştir (Şekil 4).



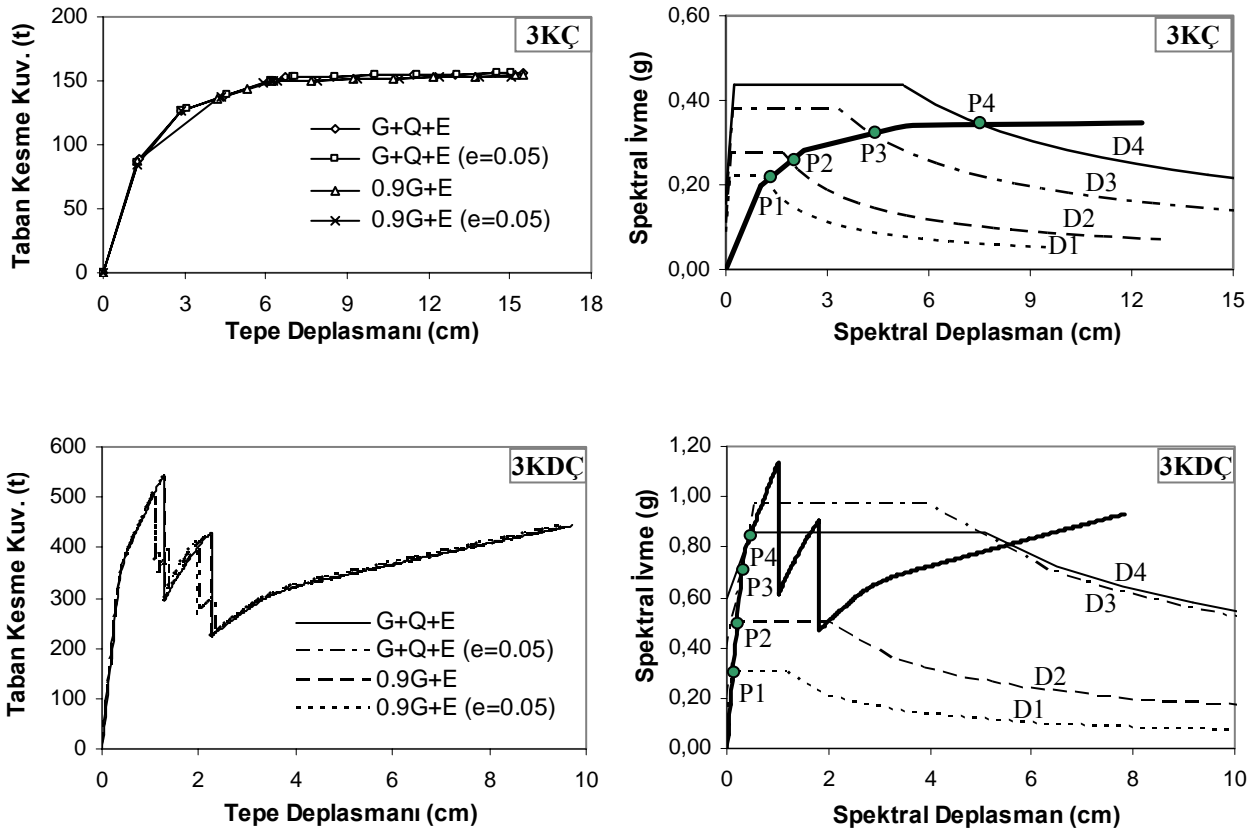
Şekil 4. Göz önüne alınan depremlere ait talep spektrumları

Yapıların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

Yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisini (taban kesme kuvveti (V_T)-tepe deplasmanı (δ_{max}) grafiği) elde etmek için yapı, sabit düşey yükler ve monoton artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanmıştır. Düşey yük olarak, TS 500'de depremli durumlar için öngörülen yük kombinasyonları göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre, incelenen simetrik yapı için dört farklı yükleme ($G+Q+E$, $G+Q+E$ ($e=0.05$)), $0.9G+E$, $0.9G+E$ ($e=0.05$)) yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir (Şekil 5). Depremi temsil eden yatay yük olarak eşdeğer deprem yükleri [ABYYHY,1998] kullanılmıştır. Analizlerde *SAP2000 Yapı Analiz Programı*'ndan yararlanılmıştır [CSI, 2002].

KSY ve DKY ile Deplasman Taleplerinin Belirlenmesi

Örnek olarak ele alınan 3KÇ ve 3KDC için dört ayrı yüklemeden elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak, dört farklı deprem tehlike seviyesi için KSY ve DKY ile deplasman talepleri belirlenmiş ve en büyük deplasman talebini veren yüklemeye ait sonuçlar Tablo 2,3'de verilmiştir (Şekil 5). Yönetmelikteki [ABYYHY,1998] koşullar göz önünde bulundurularak, KSY'nde, plastik kesitlerde *iyi histeresis* davranış kabulü yapılmıştır. DKY'inde ise, *histeresis* davranışı temsil eden C_2 katsayısı gözönüne alınan deprem için yapının gerçekleşen performans düzeyine bağlı olarak belirlenmektedir. Yapının performans düzeyi başlangıçta bilinmediğinden C_2 katsayısı ardışık yaklaşım ile belirlenmiştir (Tablo 3). KSY'nde deplasman taleplerinin belirlenmesinde *ATC-40 Kapasite ve İstem Spektrumu Hesap Programı*'ndan yararlanılmıştır [ATC-40 V3.0, 2003].



Şekil 5. Binalara ait kapasite eğrileri ve KSY'ne ait deplasman ve dayanım talepleri

Tablo 2. KSY ile analiz sonuçları

Bina		$PF_1 \cdot \phi_{tepe,1}$	α_1	β_{eff} (%)	S_a (g)	S_d (cm)	δ_{max} (cm)	V_T (t)
3KÇ	D1	1.259	0.843	11.10	0.210	1.210	1.523	94.4
	D2			20.10	0.255	1.910	2.404	114.9
	D3			34.26	0.320	4.260	5.363	144.0
	D4			Efektif viskoz sönüme ait sınır değeri aşılmıştır.				
3KDC	D1	1.241	0.892	5.01	0.201	0.080	0.099	95.8
	D2			5.03	0.352	0.140	0.174	167.5
	D3			5.42	0.708	0.290	0.360	337.4
	D4			18.93	0.842	0.450	0.559	401.1

Tablo 3. DKY ile analiz sonuçları

Bina		S_a (g)	C_0	C_1	C_2	C_3	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (t/m)	δ_{max} (cm)	V_T (t)
3KÇ	D1	0.269	1.26	1.00	1.00	1.00	0.458	6855	1.765	110.4
	D2	0.449	1.26		1.00				2.947	126.9
	D3	0.897	1.26		1.05				6.181	149.5
	D4	1.346	1.26		1.15				10.158	152.6
3KDC	D1	0.273	1.20	1.00	1.00	1.00	0.127	94817	0.131	124.1
	D2	0.454	1.20	1.00					0.218	206.4
	D3	0.909	1.17	1.30					0.556	399.4
	D4	1.363	1.15	1.92					1.210	532.6

Yapının Performans Düzeylerinin Belirlenmesi

İncelenen 3KÇ ve 3KDC yapılar, göz önüne alınan dört deprem tehlike seviyesi için, KSY ve DKY ile belirlenen maksimum deplasman değerlerine (deplasman talebine) kadar itilmiş ve kesitlerdeki plastik dönme değerleri ile görelî kat ötelemeleri belirlenmiştir (Şekil 6) (Tablo 4,5). Plastik dönme değerleri FEMA 356'da ve görelî kat ötelemeleri de ATC 40'da tanımlanan performans düzeylerine (hemen kullanım düzeyi IO, yaşam güvenliği düzeyi LS ve göçme önleme düzeyi CP) ait sınır değerler ile karşılaştırılarak yapıların performans düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 6).

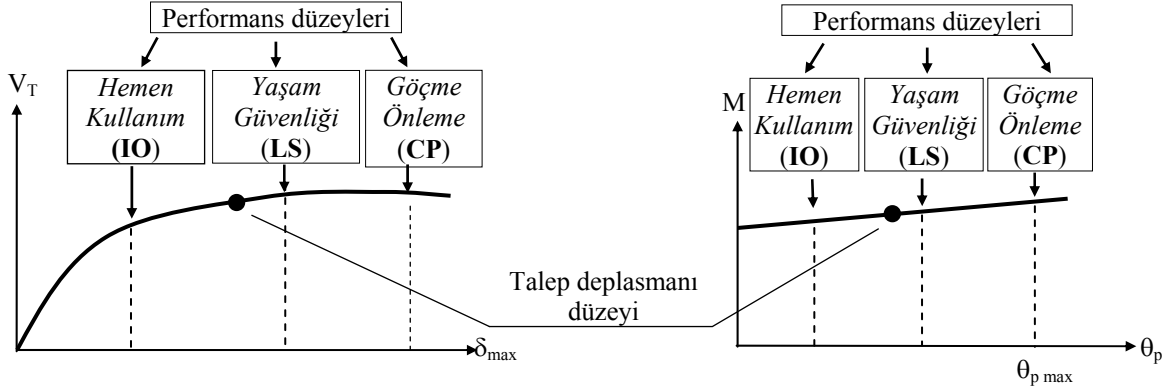
Buna göre 3KÇ'nin performans düzeyleri incelediğinde; D1 ve D2 depremleri için her iki yöntemde de yapının IO'nun altında olduğu, D3 (tasarım) depremi için her iki yöntemde de IO ve LS arasında olduğu belirlenmiştir. D4 depremi için ise KSY'inde ATC 40'da efektif viskoz sönüme ait verilen sınır değeri aşıldığı için performansı belirlenmemiştir. DKY'inde LS ve CP arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 4,5).

3KDC'nin performans düzeyleri incelediğinde; tüm depremler için her iki yöntemde de IO'nun altında kaldığı belirlenmiştir (Tablo 4,5). Yapısal olmayan dolgu duvarlardaki plastik şekil değiştirmeler incelendiğinde; her iki yöntemde de D1 ve D2 depremlerinde duvarlar elastik sınırlar içinde kalmakta, D3 ve D4 depremlerinde ise bazı duvarlar çatlama dayanımını aşmakta ancak maksimum yük taşıma kapasitesine (N_{max}) ulaşmamaktadır (Tablo 6).

Yönetmelikteki Performans Hedeflerinin Değerlendirilmesi

Yönetmelikteki [ABYYHY,1998] performans değerlendirmelerinin sağlıklı olarak yapılabilmesi için iki ayrı (KSY ve DKY) lineer olmayan statik analiz yöntemi için hesap yapılmış ve ele alınan örnek için en elverişsiz durumu (maks. deplasman talebini) veren yönteme ait sonuçlar gözönünde bulundurulmuştur. Performans hedeflerini değerlendirebilmek için, yönetmelikte tanımlanan hasar durumlarının FEMA 356'ya göre belirlenen performans düzeylerini ifade eden temsili hasar durumlarından hangilerine karşı geldiği tanımlanmıştır. Buna göre yaklaşık olarak eşleştirilerek, hafif şiddetteki depremlerde yapının IO performans düzeyinde, orta şiddetteki depremlerde IO ile LS performans düzeyleri arasında ancak IO performans düzeyine daha yakın, şiddetli (tasarım) depremlerde ise yapının LS performans düzeyinde veya ona çok yakın olduğu kabul edilmiştir.

Yukarıdaki tanımlama göz önünde bulundurularak, yönetmeliğe göre tasarlanmış binaların performans hedefleri incelendiğinde; 3KÇ'nin hafif ve orta şiddetteki depremde; KSY'ne ve DKY'ne göre yönetmelikte öngörülenin oldukça üzerinde, şiddetli (tasarım) depremde öngörülenin biraz üzerinde bir performans gösterdiği belirlenmiştir. Çok şiddetli depremde ise KSY'ne göre ATC 40'da efektif viskoz sönüme ait verilen sınır değer aşıldığı için performansının (deprem güvenliğinin) olmadığı, DKY'ne göre yönetmelikte öngörülen düzeyde olduğu belirlenmiştir (Tablo 4,5). 3KDC'nin hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli depremlerde, yönetmelikte öngörülenin ve 3KÇ'nin oldukça üzerinde bir performans gösterdiği görülmektedir (Tablo 4,5). Yapısal olmayan duvar elemanlarında da yönetmelikte öngörülenin oldukça üzerinde bir performans gösterdiği söylenebilir (orta şiddetli depremde dahi dolgu duvar elemanının hiçbirinde çatlama dayanımı aşılmamıştır.) (Tablo 6).



(a) Yapı kapasite ($V_T-\delta_{max}$) eğrisi

(b) Kiriş ve kolonlara ait $M-\theta_p$ bağıntısı

Şekil 6. Performans düzeyinin belirlenmesi

Tablo 4. KSY'ne ait performans düzeyleri

Bina		Maksimum plastik dönme (rad)		Performans düzeylerine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum görel kat ötelemesi (%)		
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon						
				< IO	IO-LS	LS-CP	> CP	< IO	IO-LS	LS-CP	> CP			
3KÇ	D1	0.00039	---	14	---	---	---	---	---	---	---	---	0.21	<IO
	D2	0.00171	---	62	---	---	---	---	---	---	---	---	0.34	
	D3	0.00658	---	32	40	---	---	---	---	---	---	---	0.71	
	D4	İndirgeme katsayıları sınır değeri aştığından yapının performansı bulunamamıştır.												
3KDC	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.02	<IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03	
	D3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.06	
	D4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.10	

Tablo 5. DKY'ne ait performans düzeyleri

Bina		Maksimum plastik dönme (rad)		Performans düzeylerine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum göreli kat ötelemesi (%)		
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon						
				< IO	IO-LS	LS-CP	> CP	< IO	IO-LS	LS-CP	> CP			
3KÇ	D1	0.00075	---	40	---	---	---	---	---	---	---	---	0.25	< IO
	D2	0.00258	---	72	---	---	---	---	---	---	---	---	0.41	
	D3	0.00790	0.00339	2	70	---	---	10	---	---	---	---	0.82	
	D4	0.01310	0.00435	---	6	66	---	---	---	16	---	---	---	IO<1.27<LS
3KDÇ	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03	< IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04	
	D3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.09	
	D4	0.00032	0.00033	8	---	---	---	2	---	---	---	---	0.19	

Tablo 6. Dolgulu çerçevede dolgu duvarı temsil eden çubukların plastikleşme durumları

Bina		KSY				DKY			
		$\Delta_{p, max}$ (cm)	Δ_p değerine göre Plastikleşen çubuk sayısı			$\Delta_{p, max}$ (cm)	Δ_p değerine göre Plastikleşen çubuk sayısı		
			$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_{u'}$	$\Delta_{u'} < \Delta_p$		$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_{u'}$	$\Delta_{u'} < \Delta_p$
3KDÇ	D1	---	---	---	---	---	---	---	---
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---
	D3	0.00585	6	---	---	0.08870	20	---	---
	D4	0.08957	20	---	---	0.31491	21	---	---

Sonuçlar

Türk Deprem Yönetmeliğinin ana ilkesi olarak öngörülen genel performans hedefleri üç katlı düzenli betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Bunun için betonarme binalardaki duvarların taşıyıcı sistem performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla ele alınan yapı için, dolgu duvarların göz önüne alındığı ve ihmal edildiği iki ayrı hesap modeli oluşturulmuş ve dört farklı deprem tehlike seviyesi için performans düzeyleri belirlenmiştir. Performans düzeyleri, lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve DKY için ayrı ayrı elde edilmiştir. DKY'den elde edilen deplasman talepleri ve dolayısıyla kesitlerdeki plastik dönme talepleri genel olarak KSY'ye göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu büyüklüğün mertebesi taşıyıcı sistemde dolgunun göz önüne alınıp alınmamasına ve deprem tehlike seviyelerine göre değişmekle birlikte şiddetli ve çok şiddetli depremler için yapının performans düzeyini değiştirecek mertebededir. Taşıyıcı sistemde duvarların göz önüne alınması ile yapı davranışının değiştiği ve yapı performansının önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen performans hedeflerinin ele alınan yapı için yapılan kabuller çerçevesinde büyük oranda gerçekleştiği, hatta dolgu duvarların dayanımının hesaplarda göz önüne alınmasıyla çok şiddetli depremlerde bile yapının, çok önemli yapıların ($I > 1$ olan hastane, itfaiye tesisleri v.b. yapılar) tasarım depremi için öngörülen performansına sahip olduğu görülmektedir. Ancak, bu değerlendirmelerin, performans hedeflerinin tanımlanmasındaki farklılıklara bağlı olarak değişebileceği görülmektedir. Bu nedenle, yönetmelikte performans ve hasar düzeyi tanımlamalarına

ayrıca bunların belirlenebilmesi için lineer olmayan analiz yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bir ön inceleme niteliğinde olan bu çalışma tipik bir betonarme yapıya ait sonuçları içermektedir. Yönetmeliğin daha ayrıntılı değerlendirilebilmesi için farklı özelliklerdeki yapıları içeren çalışmalar yapılması gerektiği düşünülerek bu konudaki araştırmaya devam edilmektedir. Bu kapsamdaki benzer çalışmaların, son dönemde geleneksel deprem tasarımının yerini alması için sürdürülen performansa dayalı tasarım çalışmalarına katkısı olacağı düşünülmektedir.

Referanslar

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

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

ATC-40 V3.0, (2003). Kapasite ve İstem Spektrumu Hesap Programı, Darılmaz, K., <http://www.ins.itu.edu.tr/kutlu/> . Türkiye.

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

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

Ersin, U.D. (1997). Küçük Titreşim Ölçümleri ve Dolgu duvarlarının Mekanik Modele Yansıtılması. İTÜ, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, Türkiye.

Hanoğlu, K. B. (2002). Fiber Reinforced Plastic Overlay Retfofit Of Hollow Clay Tile Masonry İnfilled Reinforced Concrete Frames, Boğaziçi University , Ph.D. Thesis. İstanbul, Türkiye.

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

Poland, C.D., Hom, D.B. (1997). Opportunities and Pitfalls of Performance Based Seismic Engineering. Proceedings of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes. pp.69-78. Slovenia.

Reinhorn, A.M. (1997). Inelastic Analysis Techniques in Seismic Evaluations. Proceedings of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes. pp.277-287. Slovenia.

SEAOC (1999). Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Blue Book. Seventh Edition. Structural Engineers Association of California. C.A, USA.

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

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