

Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi

Erdal İRTEM* , Kaan TÜRKER, Umut HASGÜL

Balıkesir Üniversitesi, MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Çağış Kampüsü, Balıkesir

Özet

Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme binaların performansına dolgu duvarların etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında bina taşıyıcı sisteminde duvarların olmadığı ve duvarların bulunduğu iki farklı durum için sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay deprem yükleri altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre analizleri yapılarak yapı davranışları karşılaştırılmıştır. Bunun için, düzenli bir betonarme bina ele alınarak Kapasite Spektrum Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi ile binanın performans düzeyleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarından, taşıyıcı sistemde duvarların gözönüne alınması ile bina performansının arttığı ve yapı davranışının duvarın konumuna göre değiştiği belirlenmiştir. Binaların performanslarının değerlendirilebilmesi için FEMA 356 ve ATC 40'daki kriterlerden yararlanılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliğinde de performans ve hasar düzeyi tanımlamalarına ve lineer olmayan analiz yöntemlerine yer verilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapı, performans değerlendirmesi, dolgulu çerçeve, lineer olmayan statik analiz yöntemi.

Effect of infills to behaviour of RC building

Abstract

In this study, the effects of infill to the performance of reinforced concrete structures that are designed according to the Turkish Earthquake Code are investigated. A 3D reinforced concrete structure with three storey is analysed with and without infill and the results obtained are compared. To determine the performance of the structure, capacity curve that defines the lateral load resisting capacity of the system is obtained. For this reason the structure is analysed for materially and geometrically non-linear under constant gravity and monotonic incremental lateral earthquake loads. Performance levels of the structures are obtained using nonlinear static analysis procedures (Capacity Spectrum Method and Displacement Coefficient Method) for low, moderate, high (design earthquake) and very high (that approximately represents the maximum earthquake of the region) seismic hazard level. Infill is modelled without opening (door, window etc.) and assumed to have compression failure behaviour. As a result of the analysis, the performance level of the structure is increased by the infill in frame and the structure behaviour depends on the location of the infill in the frame. In this study performances of the structures are evaluated by using the criterion in FEMA 356 and ATC 40. It's thought that performance and damage level definitions and nonlinear static methods should also be given in Turkish Earthquake Code.

Keywords: RC structure, performance evaluation, infilled frame, nonlinear static procedures.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Erdal İRTEM. eirtem@balikesir.edu.tr; Tel: (266) 612 11 94-95 dahili:151-161-206.

Makale metni 19.04.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.07.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

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 yerdeğiştirmeye (deplasman) dayalı tasarım ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır (Poland ve Hom, 1997) Çağdaş ülke yönetmeliklerinde olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliği'nde de (TDY) (ABYYHY, 1998) depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi olarak hafif, orta ve şiddetli depremlerde binaların performans hedefleri için çok genel tanımlamalar yapılmıştır. Deprem tehlike seviyeleri ve binada oluşabilecek hasar düzeyleri bakımından net olmayan tanımlamalara sahip olan bu performans hedefleri, deprem yönetmeliğinde verilen koşullarla (süneklik koşulu, yanal yer değiştirme sınırlandırmaları, v.b.) sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak, yönetmelikte verilen geleneksel deprem tasarımı ile bina performansının öngörülen sınırlar içinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılamamaktadır. Bu kontrolün yapılabilmesi için lineer olmayan analiz yöntemlerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) göre boyutlandırılmış binaların performansları elde edilerek yönetmelikteki performans hedeflerinin değerlendirilmesi ve ayrıca dolgu duvarların bina performansına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği'nin performans hedeflerinin değerlendirilmesinde hafif şiddetli, orta şiddetli ve şiddetli (tasarım) deprem ve ayrıca ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden çok şiddetli deprem göz önüne alınmıştır. Binaların performans düzeylerinin tanımlanmasında FEMA 356 (2000) ve ATC 40 (1996)'da verilen performans kriterlerinden yararlanılmıştır. Bina performansının hesaplanması için ise lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) (ATC 40, 1996) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) (FEMA 356, 2000) kullanılmıştır.

Lineer olmayan statik analiz yöntemleri

Son dönemlerde özellikle A.B.D. ve Japonya'da yapıların tasarımı, deprem güvenliğinin belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi için performans esaslı yöntemler geliştirilmektedir. Bunlar, A.B.D.'de ATC 40 (1996), FEMA 356 (2000), Vision 2000 (SEAOC, 1995), Blue Book (SEAOC, 1999) isimli ön standartlarda tartışmaya sunulmuştur. Bu ön standartlarda 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 güvenliği) belirlenmesini içermektedir (Reinhorn, 1997). Yapıların performansının değerlendirilmesinde lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden yaygın olarak kullanılanlar Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)'dir. Bu çalışmada da bu iki yöntem ile analizler yapılmıştır.

Kapasite spektrum yöntemi (KSY)

Bu yöntemde, grafik bir yol izlenmesi sayesinde yapının kapasitesi yapıdaki deprem talebi ile karşılaştırılmaktadır (ATC 40, 1996). 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 1). Deprem talepleri yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır (2). Ancak, bu spektrum da kapasite spektrumu gibi *spektral ivme - spektral deplasman* (ADRS) formatında ifade edilir. Aynı grafik üzerinde çizilen talep ve kapasite spektrumlarının kesişimi, elastik olmayan dayanım ve deplasman talebini verir (**P**: performans noktası) (Şekil1).

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).

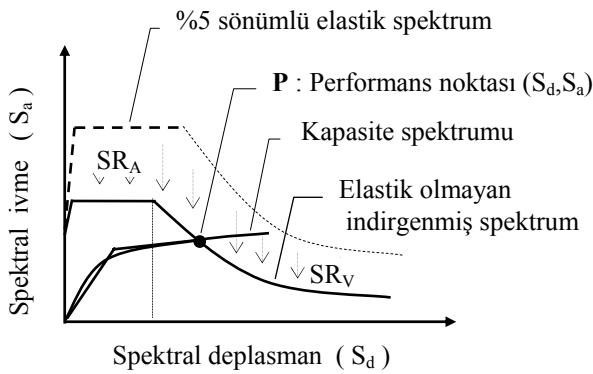
$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (1)$$

Burada, S_a spektral ivmeyi, S_d spektral deplasmanı, V_T ve δ_{maks} 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.

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

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65}$$

Burada, β_{eff} yüzde olarak etkin sönüm oranı, SR_A ve SR_V sırasıyla spektrumun sabit ivme ve sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayılarını göstermektedir.



Şekil 1. KSY ile deplasman taleplerinin belirlenmesi

Deplasman katsayıları yöntemi (DKY)

Bu yöntemde, deplasman talebi esasen, istatistiksel analizlere dayanan bazı düzeltme çarpan-

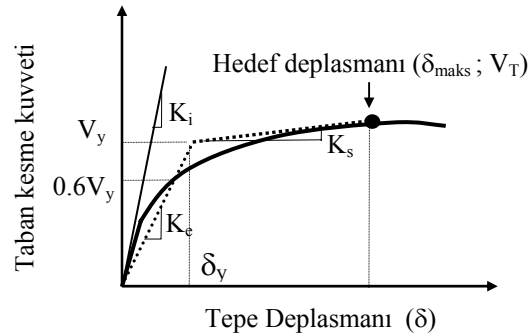
ları kullanılarak elastik deplasman spektrumundan elde edilen elastik olmayan deplasman spektrumu ile belirlenmektedir. Bu yöntemde de öncelikle kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri Şekil 2'deki gibi iki doğru parçası ile idealleştirilerek (3) ile etkin doğal periyot T_e ve ilgili düzeltme katsayıları kullanılarak (4) ile deplasman talebi δ_{maks} (hedef deplasmanı) hesaplanır. Bu deplasman değerine kadar itilmiş yapının performansının değerlendirilmesi KSY'nde olduğu gibidir (FEMA 356, 2000).

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

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

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

Burada, C_0 eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe deplasmanı ile ilişkilendiren katsayı, C_1 *linear-elastik* davranış için hesaplanmış deplasmanlar ile maksimum elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayı, C_2 histeresis şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayı, C_3 *II. Mertebe* etkiler nedeniyle artırılmış deplasmanları temsil eden katsayı, S_a yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivmedir (FEMA 356, 2000).



Şekil 2. DKY ile deplasman taleplerinin belirlenmesi

Sayısal örnekler

Binanın özellikleri

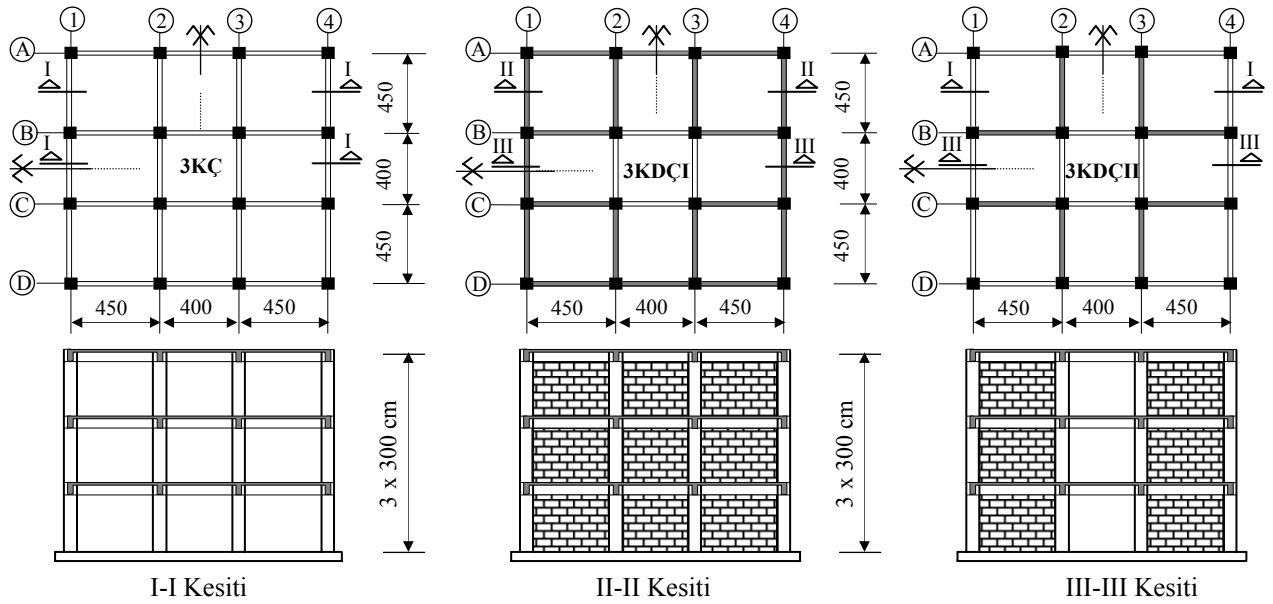
Performans değerlendirmelerini yapmak üzere, üç katlı betonarme çerçeve bina incelenmiştir (Şekil 3). Yapısal düzensizliği bulunmayan, her iki doğrultuda simetrik bina TS 500 (TSE,2000) ve TDY'ne göre boyutlandırılmıştır (Tablo 1). Yapının boyutlandırılmasında, deprem bölgesi 1 ($A_0=0.40$), $I=1$, Z2 ($T_A=0.15$ sn, $T_B=0.40$ sn) ve $R=8$ olarak alınmıştır. Dolgu duvarların, bina taşıyıcı sisteminin performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 3 katlı çerçevenin (3KÇ) dolgunsuz ve dolgu duvarının taşıma kapasitesinin göz önüne alındığı 3 katlı dolgulu çerçevelerin (3KDÇI ve 3KDÇII) analizleri yapılarak performans düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dolgunsuz ve dolgu duvarlı binaların çatlamış kesitli (1). doğal titreşim periyotları 3KÇ için $T_1=0.458$ sn, 3KDÇI için $T_1=0.127$ sn ve 3KDÇII için $T_1=0.193$ sn olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Binanın yapısal eleman boyutları

Akslar	Kolon Boyutları (cm)	Akslar	Kiriş Boyutları (cm)
A1, A2, A3, A4	50*50	1 ve 4	25*40
B1, B2, B3, B4	50*50	2 ve 3	25*50
C1, C2, C3, C4	50*50	A ve D	25*40
D1, D2, D3, D4	50*50	C ve B	25*50

Kabuller ve binanın matematik modeli

Hesaplarda plastik şekil değiştirmelerin *plastik kesit* adı verilen belirli bölgelerde toplandığı bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının *linear-elastik* olduğu kabul edilmiştir. Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme 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 kontrol edilmiştir. Kolon ve kirişlerin *moment-plastik dönme* davranış modeli *pekleşen-rijit-plastik* olarak kabul edilmiş ve buna ait karakteristik değerler (plastikleşme momentleri ve maksimum plastik dönme değerleri) ATC 40 (1996)'dan alınmıştır. Kolon ve kirişlerin çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356 (2000)'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 ve Priestley, 1992). Bu çalışmada, yapıdaki toplam boşlukları (kapı, pencere v.b) temsil etmek üzere 3KDÇI'de iç çerçevelerin orta açıklıklarında (Şekil 3 III-III kesiti) duvar olmadığı, diğer açıklıklardaki dolgu duvarların ise boşluk içermediği, 3KDÇII'de dış çerçevenin tüm

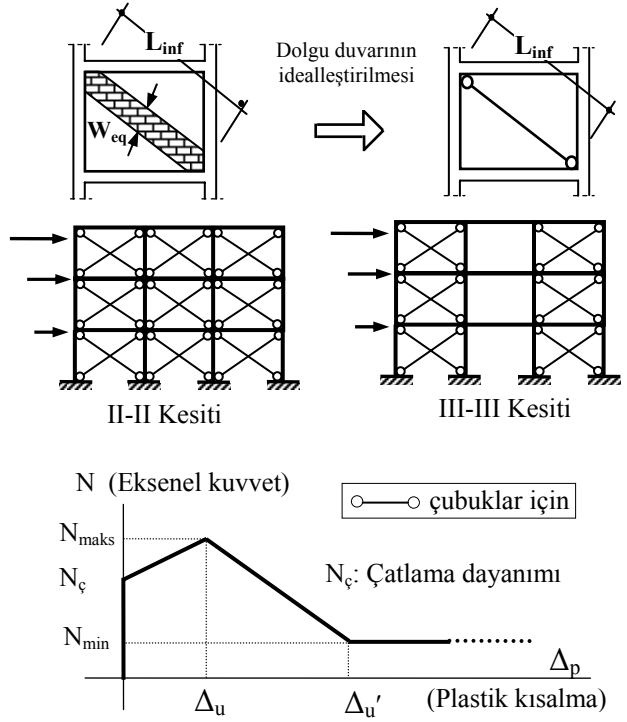


Şekil 3. Dolgunsuz (3KÇ) ve dolgu duvarlı (3KDÇI, 3KDÇII) binaların plan ve kesitleri

açıklıklarında (Şekil 3 I-I kesiti) ve iç çerçevesinin orta açıklıklarında (Şekil 3 III-III kesiti) dolgu duvar olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca, dolgu duvarların basınç kırılması davranışı gösterdiği kabul edilerek yapı sisteminde iki ucu mafsallı çubuk elemanlarla temsil edilmiştir. Çalışmada dolgu duvarın harçlı boşluklu tuğladan oluştuğu varsayılmıştır ve bu elemanların *eksenel kuvvet-plastik kısalma* ($N-\Delta_p$) bağıntısı için (Hanoğlu, 2002)'deki yaklaşımdan yararlanılmıştır (Şekil 4). Dolgu duvarların çekme dayanımı ve çerçeve elemanları ile olan temas yüzeylerindeki sürtünme etkisi ihmal edilmiştir. Bu çalışmada binalardaki dolgu duvarlarına ait malzeme özelliklerinin (basınç dayanımları, elastisite modülleri v.b) belirlenmesinde (Ersin, 1997)'deki deneysel verilerden yararlanılmıştır. İki ucu mafsallı çubuklarla idealleştirilen dolgu duvarlarına ait karakteristik değerler Tablo 2'de verilmiştir. Plastik şekildeğiştirmenin başladığı basınç çatlama dayanımı N_ϕ ile, maksimum basınç dayanımı N_{maks} ve buna karşı gelen plastik kısalma değeri Δ_u ile, minimum basınç dayanımı N_{min} ve buna karşı gelen plastik kısalma değeri Δ_u' ile tanımlanmıştır (Şekil 4).

Talep spektrumlarının tanımlanması

Türk Deprem Yönetmeliği'nin (ABYYHY, 1998) değerlendirilmesinde dört farklı 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.



Şekil 4. Dolgulu çerçeve modeli ve dolgu duvarı temsil eden çubukların ($N-\Delta_p$) bağıntısı

Ancak, TDY'de 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 (1996), FEMA 356 (2000) ve Vision 2000 (SEAOC, 1995)'de yer alan deprem tehlike seviyesi sınıflandırmalarından yararlanarak tasarım spektrumundan türetilmiştir. Buna göre tasarım depremi (D3)'ün; yaklaşık 0.30'u hafif şiddetli deprem (D1), yaklaşık 0.50'si orta şiddetli deprem (D2) ve yaklaşık 1.50'si çok şiddetli deprem (D4) olduğu kabul edilmiştir (Şekil 5).

Tablo 2. Dolgu duvarının özellikleri ve modelleme parametreleri

Dolgu Duvarının Modelleme Parametreleri		Sembol	Birim	Bosluklu tuğla
Dolgu Duvarının	Malzeme cinsi			
	Kalınlığı	t_{inf}	cm	17.5
	Elastisite modülü	E_{inf}	kg/cm ²	60000
	Diagonal boyu	L_{inf}	cm	480
	Eşdeğer genişliği	W_{eq}	cm	177.6
○—○	Uzama rijitliği	EF_{eq}	t	186480
İki ucu mafsallı fiktif çubuğun	Basınç çatlama dayanımı	N_ϕ	t	37.296
	Maksimum basınç dayanımı	N_{maks}	t	48.485
	Minimum basınç dayanımı	N_{min}	t	7.459
	N_{maks} için plastik kısalma değeri	Δ_u	cm	0.336
	N_{min} için plastik kısalma değeri	Δ_u'	cm	1.296

Binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesi

Yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisini (taban kesme kuvveti (V_T)-tepe deplasmanı (δ_{maks}) grafiği) elde etmek için, sabit düşey yükler ve monoton artan yatay deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre binaların analizleri yapılmıştır. Analizlerde TDY'de (ABYYHY, 1998) verilen eşdeğer deprem yükleri kullanılmıştır. Binalara, TS500'deki depremler için öngörülen yük kombinasyonları etkilmiştir. Buna göre, her iki doğrultuda simetrik binalara (Şekil 3) G+Q+E, G+Q+E ($e=0.05$), 0.9G+E ve 0.9G+E ($e=0.05$) yüklemeleri yapılarak her bir yüklemeye için ayrı ayrı kapasite eğrileri elde edilmiştir (Şekil 6). Analizlerde SAP2000 Yapı Analiz Programı'ndan yararlanılmıştır (CSI, 2002).

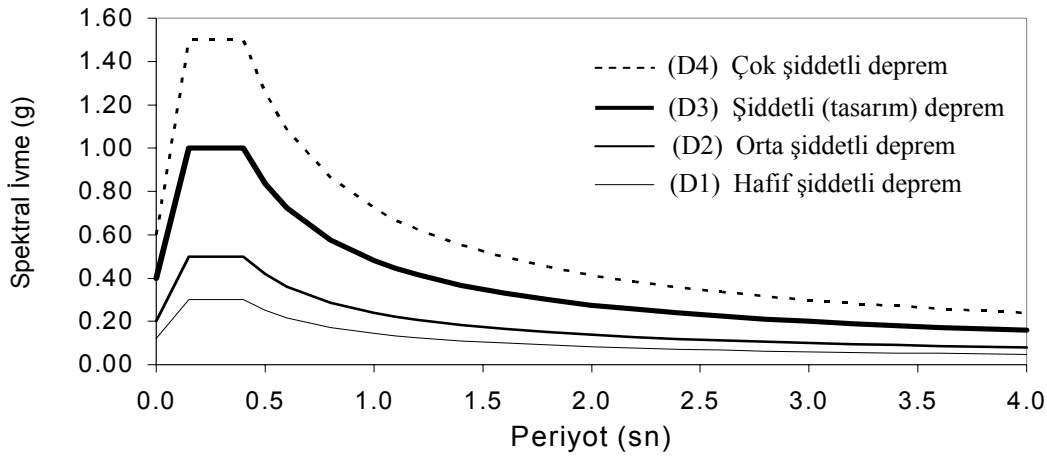
KSY ve DKY ile deplasman taleplerinin belirlenmesi

İncelenen 3KÇ, 3KDÇI ve 3KDÇII için farklı yük kombinasyonlarından elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak, dört deprem tehlike seviyesi için KSY ve DKY ile deplasman ve dayanım talepleri belirlenmiş (Şekil 7) ve en büyük deplasman talebini veren yüklemeye ait sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir (Şekil 7). Türk Deprem Yönetmeliğindeki (ABYYHY, 1998) koşullar göz önünde bulundurularak, KSY'nde, plastik kesitlerde *iyi histeresis* davranış kabulü yapılmıştır. DKY'nde ise, *histeresis* davranışı temsil eden C_2 katsayısı gözönüne alınan yapının gerçekleşen performans düzeyine

bağlı olarak belirlenmektedir. Yapının performans düzeyi başlangıçta bilinmediğinden C_2 katsayısı ardışık yaklaşım ile belirlenmiştir (Tablo 4). KSY'nde dayanım ve deplasman taleplerinin belirlenmesinde ATC-40 Kapasite ve İstem Spektrumu Hesap Programı'ndan (ATC-40, 2003) yararlanılmıştır.

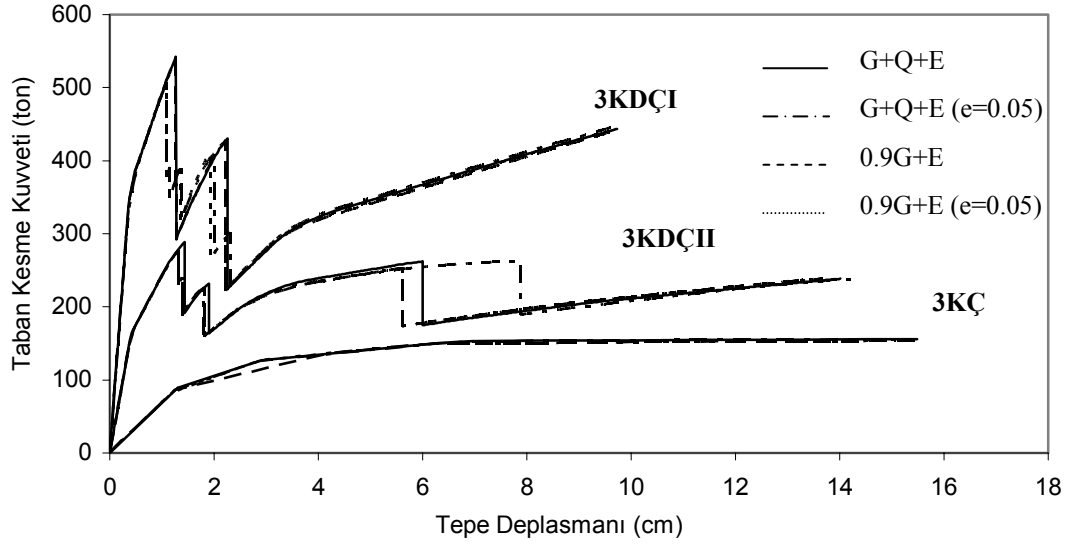
Binaların performans düzeyleri

İncelenen 3KÇ, 3KDÇI ve 3KDÇII binalar, 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 görel kat ötelemeleri belirlenmiştir (Şekil 8) (Tablo 5 ve 6). Plastik dönme değerleri FEMA 356 (2000)'da ve görel kat ötelemeleri de ATC 40 (1996)'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 8). Buna göre 3KÇ'nin performans düzeyleri incelendiğinde, 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'nde ATC 40'da efektif viskoz sönüme ait verilen sınır değer aşıldığı için performansı belirlenememiştir. DKY'nde LS ve CP arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 5 ve 6, Şekil 9). 3KDÇI'in performans düzeyleri incelendiğinde, tüm depremler için her iki yöntemde de IO'nun altında kaldığı belirlenmiştir (Tablo 5 ve 6, Şekil 9).

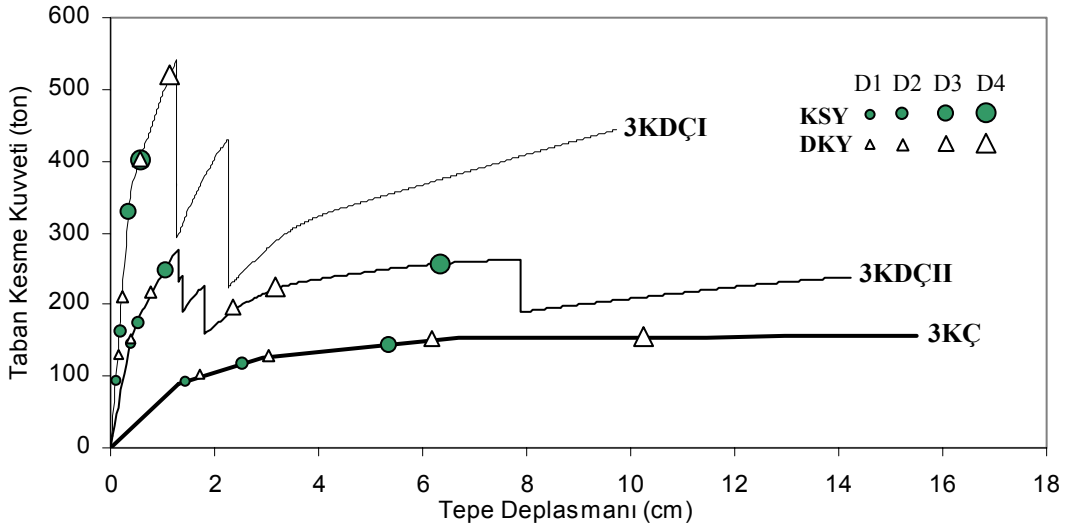


Şekil 5. Depremlere ait talep spektrumları

Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi



Şekil 6. Binaların kapasite eğrileri



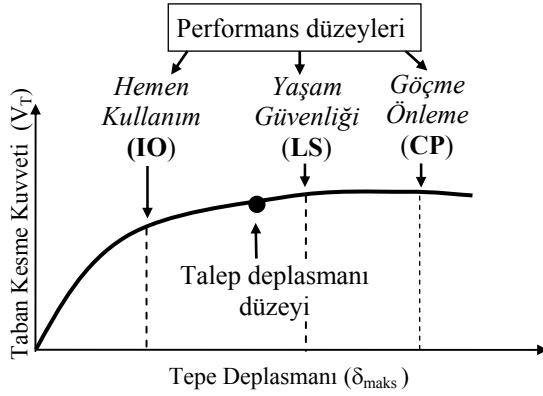
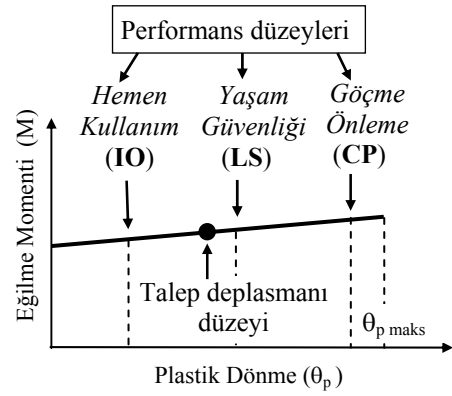
Şekil 7. Binaların KSY ve DKY ile deprem seviyelerine ait performans noktaları

Tablo 3. Binaların KSY ile analiz sonuçları

Bina	Deprem tehlike seviyesi	PF ₁ , $\phi_{tepe,1}$	α_1	β_{eff} (%)	S _a (g)	S _d (cm)	δ_{maks} (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.				
3KDÇI	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
3KDÇII	D1	1.252	0.876	5.07	0.295	0.28	0.351	153.8
	D2			11.10	0.369	0.39	0.488	179.8
	D3			21.77	0.522	0.81	1.014	249.8
	D4			35.62	0.548	4.99	6.246	256.7

Tablo 4. Binaların DKY ile analiz sonuçları

Bina	Deprem tehlike seviyesi	S_a (g)	C_0	C_1	C_2	C_3	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_1 = K_e$ (t/m)	δ_{maks} (cm)	V_T (t)
3KÇ	D1	0.269	1.26		1.00				1.765	110.4
	D2	0.449	1.26	1.00	1.00		0.458	6855	2.947	126.9
	D3	0.897	1.26		1.05	1.00			6.181	149.5
	D4	1.346	1.26		1.15				10.158	152.6
3KDÇI	D1	0.273	1.20	1.00					0.131	124.1
	D2	0.454	1.20	1.00					0.218	206.4
	D3	0.909	1.17	1.30	1.00	1.00	0.127	94817	0.556	399.4
	D4	1.363	1.15	1.92					1.210	532.6
3KDÇII	D1	0.300	1.15	1.00					0.348	153.3
	D2	0.500	1.15	1.27					0.738	213.9
	D3	1.000	1.15	1.60	1.00		1.30	39725	2.386	195.6
	D4	1.500	1.15	1.65					3.170	223.3

(a) Yapı kapasite ($V_T - \delta_{maks}$) eğrisi(b) Kiriş ve kolonlara ait $M - \theta_p$ bağıntısı

Şekil 8. Performans düzeyinin belirlenmesi

Yapısal eleman olmayan dolgu duvarlarını temsil eden çubuklardaki şekil değiştirmeler KSY ve DKY'nde D1 ve D2 depremleri için elastik sınırlar içinde kalmakta yani bu çubuklar N_c çatlama dayanımına ulaşmamaktadır, D3 ve D4 depremlerinde ise bazı çubuklar N_c çatlama dayanımını aşmakta ancak, N_{maks} maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmamaktadır (Tablo 7). 3KDÇII'nin performans düzeyleri incelendiğinde, KSY ve DKY'nde D1, D2 ve D3 depremleri için IO'nun altında kaldığı, D4 depremi için ise LS ile CP arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 5 ve 6, Şekil 9). Yapısal eleman olmayan dolgu duvarlarını temsil eden çubuklardaki şekil değiştirmeler, KSY'nde çubukların bazılarında N_c çatlama dayanımını aşmakta ($0 < \Delta_p < \Delta_u$)

ancak, N_{maks} değerine ulaşmamaktadır. Bazı çubukların sadece D4 depreminde, N_{maks} maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra üzerindeki yükü boşaltarak N_{min} değerine kadar azaldığı ($\Delta_u < \Delta_p$) belirlenmiştir. DKY'nde ise çubukların bazılarında N_c çatlama dayanımını aşmakta ($0 < \Delta_p < \Delta_u$) ancak, N_{maks} değerine ulaşmamaktadır. Ancak D3 ve D4 depremlerinde ise bazı çubukların, N_{maks} maksimum yük taşıma kapasitesinin altına düştüğü ($\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$) belirlenmiştir.

Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki performans hedeflerinin değerlendirilmesi

Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki (TDY) (ABYYHY, 1998) performans hedeflerinin

değerlendirilmesinde, dolgusuz ve dolgu duvarlı binanın dört farklı deprem (hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli) ve iki ayrı lineer olmayan statik analiz yöntemi (KSY ve DKY) ile hesabı yapılmış ve en elverişsiz durumu (maksimum deplasman talebini) veren yonteme ait analiz sonuçları gözönünde bulundurulmuştur. Ayrıca, yönetmelikte tanımlanan hasar durumlarının FEMA 356 (2000)'e göre belirlenen performans düzeylerini ifade eden temsili hasar durumlarından hangilerine karşı geldiği tanımlanmıştır. Buna göre, belirli bir yaklaşımla eşleştirilerek, hafif şiddetteki depremlerde (D1) yapının IO performans düzeyinde, orta şiddetteki depremlerde (D2) IO ile LS performans düzeyleri arasında ancak IO performans düzeyine daha yakın, şiddetli (tasarım) depremlerde (D3) ise yapının LS performans düzeyinde veya ona çok yakın olduğu kabul edilmiştir. Yukarıdaki tanımlama göz önünde bulundurularak, TDY'ye göre tasarlanmış yapıların performans hedefleri incelendiğinde; 3KÇ'nin hafif şiddetteki (D1) ve orta şiddetteki (D2) depremlerde; KSY'ne ve DKY'ne göre TDY'de öngörülenin oldukça üzerinde, şiddetli depremde (D3) öngörülenin biraz üzerinde bir performans gösterdiği belirlenmiştir. Çok şiddetli depremde (D4) ise 3KÇ'nin KSY'ne

göre analizde ATC 40'da efektif viskoz sönüme ait verilen sınır değer aşıldığı için bina performansı belirlenememiştir, DKY'ne göre analizde ise TDY'de öngörülen düzeyde performansa sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 5 ve 6, Şekil 9). 3KDÇI'in hafif (D1), orta (D2), şiddetli (D3) ve çok şiddetli (D4) depremlerinde KSY'ne ve DKY'ne göre TDY'de öngörülenin ve 3KÇ'nin oldukça üzerinde bir performans gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 5 ve 6, Şekil 9). 3KDÇII'nin hafif (D1), orta (D2), şiddetli (D3) depremlerinde; KSY'ne ve DKY'ne göre TDY'de öngörülenin çok üzerinde bir performans gösterdiği, çok şiddetli (D4) depremde ise KSY'ne göre TDY'de öngörülenin biraz altında, DKY'ne göre TDY'de öngörülenin üzerinde bir performans gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 5 ve 6, Şekil 9). 3KDÇI'de yapısal olmayan dolgu duvarını temsil eden fiktif çubuk elemanlarının TDY'de öngörülenin oldukça üzerinde bir performans gösterdiği belirlenmiştir (orta şiddetteki depremde dahi hiçbir dolgu duvarı elemanında çatlama dayanımı aşılmamıştır) (Tablo 7). 3KDÇII'de ise yapısal olmayan dolgu duvarını temsil eden fiktif çubuk elemanlarının TDY'de öngörülen düzeyde bir performansa sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 7).

Tablo 5. Binaların KSY ile elde edilen performans düzeyleri

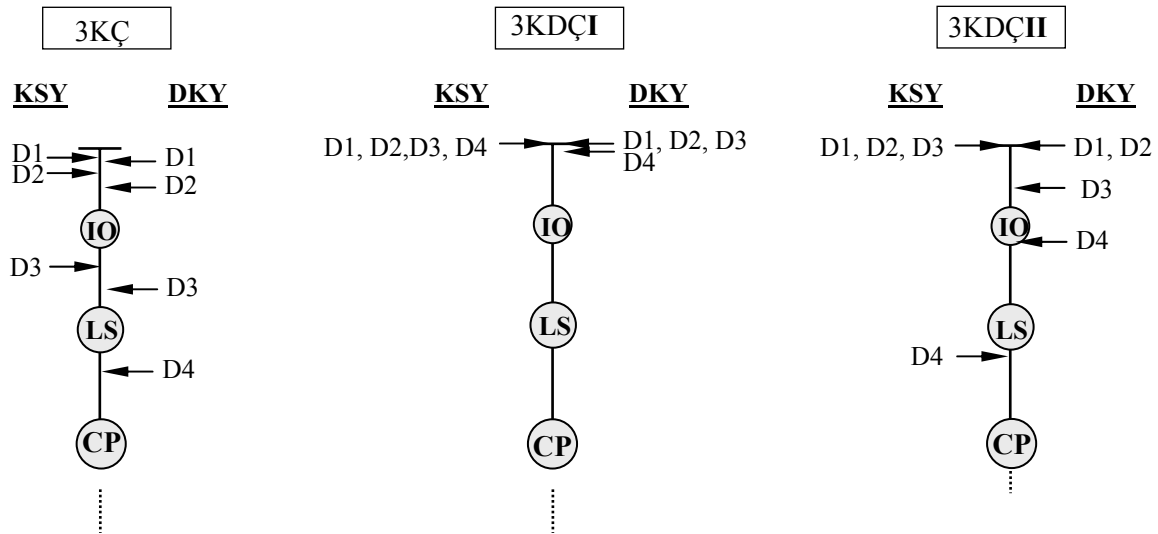
Bina	Deprem tehlike seviyesi	Maks. plastik dönme (rad)		Performans düzeyine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum görelî kat ötelemesi (%)		
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon						
				< IO	IO-LS	LS-CP	CP<	< IO	IO-LS	LS-CP	CP<			
3KÇ	D1	0.00039	---	14	---	---	---	---	---	---	---	---	0.21	} < IO
	D2	0.00171	---	62	---	---	---	---	---	---	---	---	0.34	
	D3	0.00658	---	32	40	---	---	---	---	---	---	---	0.71	
	D4	İndirgeme katsayıları sınır değeri aştığından yapının performansı bulunamamıştır.												
3KDÇI	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.02	} < IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03	
	D3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.06	
	D4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.10	
3KDÇII	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04	} < IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.06	
	D3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.15	
	D4	0.01197	0.00697	24	10	14	---	13	16	---	---	---	0.96	

Tablo 6. Binaların DKY ile elde edilen performans düzeyleri

Bina	Deprem tehlike seviyesi	Maks. plastik dönme (rad)		Performans düzeyine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum görelî 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	
3KDÇI	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03	} < IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04	
	D3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.09	
	D4	0.00032	0.00033	8	---	---	---	2	---	---	---	0.19	
3KDÇII	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04	} < IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.10	
	D3	0.00353	---	40	---	---	---	---	---	---	---	0.39	
	D4	0.00525	0.00134	42	4	---	---	15	---	---	---	0.51	

Tablo 7. Dolgu duvarını temsil eden fiktif çubukların plastikleşme durumları

Bina	Deprem tehlike seviyesi	KSY				DKY			
		Δ_p maks (cm)	Δ_p değerine göre plastikleşen çubuk sayısı			Δ_p maks (cm)	Δ_p değerine göre plastikleşen çubuk sayısı		
			$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$	$\Delta_u' < \Delta_p$		$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$	$\Delta_u' < \Delta_p$
3KDÇI	D1	---	---	---	---	---	---	---	---
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---
	D3	0.006	6	---	0.089	20	---	---	---
	D4	0.090	20	---	0.315	21	---	---	---
3KDÇII	D1	0.017	4	---	0.016	3	---	---	---
	D2	0.067	7	---	0.149	8	---	---	---
	D3	0.247	9	---	1.003	1	8	---	---
	D4	2.420	2	---	1.271	2	8	---	---



Şekil 9. Binaların deprem tehlike seviyelerine göre KSY ve DKY ile belirlenen performans düzeyleri

Sonuçlar

Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) (ABYYHY, 1998) göre tasarlanmış betonarme binaların performansına dolgu duvarların etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için bina taşıyıcı sisteminde duvarların dayanımının göz önüne alındığı ve alınmadığı hesap modelleri oluşturularak hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli depremler için binaların 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 taleplerinin genel olarak KSY'ye göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu büyüklüğün mertebesi taşıyıcı sistemdeki dolgu duvarın gözönüne alınıp alınmamasına, dolgu duvarların konumuna ve deprem tehlike seviyelerine göre değiştiği, özellikle şiddetli ve çok şiddetli depremler için bina performans düzeyini değiştirecek mertebede olduğu belirlenmiştir. TDY'nde (ABYYHY, 1998) öngörülen performans hedeflerinin yapılan kabuller çerçevesinde ele alınan binalar için büyük oranda gerçekleştiği ve dolgu duvarların dayanımının hesaplarda göz önüne alınmasıyla bina davranışının değiştiği ve bina performansı ile binanın başlangıç rijitliğinin önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Dolgu duvarlarını temsil eden fiktif çubuklarda hafif ve orta şiddetteki depremlerde plastikleşmenin oluşmadığı belirlenmiştir. Çalışmada, bina performans değerlendirmelerinde ATC 40 ve FEMA 356'dan yararlanılmıştır. Bu nedenle, TDY'nde (ABYYHY, 1998) performans ve hasar düzeyleri ile deprem seviyeleri tanımlamalarına ve ayrıca, lineer olmayan analiz yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bir ön inceleme niteliğinde olan bu çalışma tipik bir betonarme binanın dolgunsuz ve iki farklı dolgu duvarlı durumuna ait sonuçları içermektedir. TDY'nin (ABYYHY, 1998) bu konuda ayrıntılı olarak değerlendirilebilmesi için farklı özelliklerdeki çok sayıda binayı içeren çalışmaların yapılması gerektiği düşünülerek, bu konudaki araştırmaya devam edilmektedir. Bu kapsamda yapılacak benzer çalışmaların, son

dönemde geleneksel deprem tasarımının yerini alması için sürdürülen performansa dayalı tasarım çalışmalarına katkısı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- ABYYHY (1998). *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- ATC (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. ATC 40, Vol. 1*. Applied Technology Council. Washington, DC., USA.
- CSI (2002). *Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. SAP2000 V.8*. CSI.
- Ersin, U.D. (1997). *Küçük titreşim ölçümleri ve dolgu duvarlarının mekanik modele yansıtılması, Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- FEMA (2000). *Prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA 356*. Federal Emergency Management Agency.
- Hanoğlu, K. B. (2002). *Fiber reinforced plastic overlay retrofit of hollow clay tile masonry infilled reinforced concrete frames, Ph.D. Thesis*, Boğaziçi University, İstanbul.
- Paulay, T. ve Priestley M.J.N. (1992). *Seismic design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons. N.Y.
- Poland, C.D. ve 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*. 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*. 277-287. Slovenia.
- SEAOC (1995). *Performance based seismic engineering of buildings, Vision 2000*. Structural Engineers Association of California.
- SEAOC (1999). *Recommended lateral force requirements and commentary, Blue Book*. Seventh Edition. Structural Engineers Association of California. C.A.
- TSE (2000). *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TS-500*. Türk Standartları Enstitüsü.
- ATC-40 V3.0, (2003). *Kapasite ve İstem Spektrumu Hesap Programı*, Darılmaz, K., <http://www.ins.itu.edu.tr/kutlu/>