

## Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi ve Türk Deprem Yönetmeliği'nin Performans Hedeflerinin İrdelenmesi

Erdal İRTEM, Kaan TÜRKER ve Umut HASGÜL

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çağış Kamp., Balıkesir

**ÖZ:** Bu çalışmada, Türkiye'de meydana gelen depremlerde betonarme binaların göçme nedenleri ile ilgili gerçekçi bir değerlendirmeyi yapabilmek için Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY-1998) tanımlanan performans hedeflerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için, Türkiye'deki deprem bölgelerinde ağır hasar gören ve göçen az katlı betonarme binaları temsil edeceği düşünülen betonarme binalar belirlenerek Türk standart ve TDY-1998'e göre boyutlandırılmıştır. Sonra, deprem yükleri altında bu binaların doğrusal olmayan davranışlarını belirlemek için elastik ötesi statik itme analizleri (Pushover analizleri) yapılmıştır. Daha sonra, TDY-1998'de tanımlanan farklı deprem tehlike seviyeleri için, bina performansları belirlenmiştir. Bunun için, doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden literatürde yaygın olarak kullanılan Deplasman Katsayıları Yönteminden yararlanılmıştır. İncelenen binaların farklı deprem tehlike seviyeleri için belirlenen bina performans düzeylerinin, TDY-1998'de öngörülen performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığının kontrolü çeşitli parametrelerle irdelenmiştir. Bu araştırma sonuçlarına göre, Türk Standartları ve TDY-1998'e göre boyutlandırılan az katlı betonarme binaların TDY-1998'de öngörülen performans hedeflerini önemli ölçüde sağladıkları görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Türk Deprem Yönetmeliği, Pushover analiz, Performans değerlendirmesi, Deplasman katsayıları yöntemi, Yumuşak kat düzensizliği, Dolgulu çerçeve.

### 1 GİRİŞ

Dünyada son on yıl içinde özellikle kentsel alanlarda meydana gelen şiddetli depremlerde (1994 Northridge-ABD, 1995 Kobe-Japonya, 1999 Marmara-Türkiye vb.) yapılarda meydana gelen hasarların oldukça büyük ekonomik kayıplara yol açması, ülkelerin yürürlükteki deprem yönetmeliklerinin sorgulanmasına neden olmuştur. Bu nedenle, geleneksel kuvvet esaslı tasarımın yerini alacak yeni yaklaşımlara gereksinim duyulması ile, başta ABD ve Japonya olmak üzere bir çok ülkede çeşitli projeler başlatılmış ve bu çalışmalar halen sürdürülmektedir [1-5].

Pek çok çağdaş ülke yönetmeliğinde olduğu gibi 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nde de (TDY-1998) [6] depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi olarak, deprem tehlike seviyeleri ve binada oluşması beklenen hasar düzeyleri için net olmayan çok genel performans hedefleri öngörülmüştür.

TDY-1998'de öngörülen performans hedefleri;

1. Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,

2. Orta şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması,

3. Şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi olarak tanımlanmıştır [6].

TDY-1998 hükümleri, çeşitli koşullar (süneklik koşulları, yerdeğiştirme sınırlandırmaları vb.) ile bu performans hedeflerini sağlamaya çalışmaktadır. Ancak, geleneksel kuvvete dayalı tasarım ile performans hedeflerinin öngörülen sınırlar içinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılamamaktadır. Binaların öngörülen performanslarının (deprem güveliklerinin) belirlenebilmesi için TDY-1998'de de geleneksel kuvvet esaslı tasarım yerine, yerdeğiştirme esaslı performans dayalı tasarım ve değerlendirme kavramına yer verilmesi gerekmektedir [7].

Özellikle son yıllarda Türkiye'de meydana gelen depremlerde (Afyon-Dinar 1992, Adana-Ceyhan 1994, Erzincan 1997, Marmara 1999, Bolu-Düzce 1999 vb.) betonarme binaların birçoğunda ağır hasar, kısmen ve toptan göçme meydana gelmiştir. Bu nedenle, meydana gelen ağır hasarların ve göçmele-

rin nedenlerinin belirlenebilmesi amacıyla öncelikle mevcut binaların performanslarının belirlenmesi ve dolayısıyla da TDY-1998'de öngörülen performans hedeflerinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Türkiye'de mevcut binaların çoğunluğunu az katlı yapılar oluşturmaktadır. Doğal olarak, depremlerde ağır hasar gören ve göçen yapıların çoğunluğu da az katlı binalar olduğu belirlenmiştir.

Bu nedenle bu çalışmada, Türkiye'de meydana gelen depremlerde betonarme binaların göçme nedenleri ile ilgili gerçekçi bir değerlendirmenin yapılabilmesi için Türk standart ve TDY-1998'e göre boyutlandırılan betonarme binaların TDY-1998'deki performans hedeflerini sağlayıp sağlamadıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Özellikle, Marmara depreminde (1999) hasar gören, kısmen ve tamamen göçen betonarme binaların çoğunluğunun az katlı binalar olması nedeniyle öncelikle bu incelemenin az katlı betonarme binalar üzerinde yapılması planlanmıştır. Bunun için, deprem bölgesinde hasar gören ve göçen az katlı betonarme binaları temsil edecek şekilde belirlenen betonarme binalar öncelikle Türk standart ve TDY-1998'e göre boyutlandırılmıştır. Sonra, binanın yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrileri belirlenmiştir. Bunun için incelenen betonarme binaların sabit düşey yükler ve artan yatay (deprem) yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre itirime analizleri yapılmıştır.

Bina performansları, Türk Deprem Yönetmeliği'nde (TDY-1998) tanımlanan farklı deprem tehlike seviyeleri için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden literatürde yaygın olarak kullanılan Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile belirlenmiştir.

Ayrıca, dolgu duvarlarının betonarme binanın davranışına etkisinin belirlenmesi amacıyla, dolgu duvarlarının taşıma kapasitelerinin de dikkate alındığı durum için bina performansları farklı deprem tehlike seviyeleri için tekrar belirlenmiştir. Deprem bölgelerinde yapılan incelemelerde hasar gören, kısmen ve tamamen göçen binaların birçoğunda da çeşitli kullanim nedenlerinden dolayı bazı binaların alt katındaki dolgu duvarının kaldırıldığı, ayrıca hem en alt kat yüksekliğinin artırıldığı hem de bu kattaki dolgu duvarının kaldırıldığı görülmüştür. Bu tür binaların performanslarını da belirlemek ve yumuşak kat düzensizliğinin mertebesini ve bunun etkilerini incelemek amacıyla, en alt kat haricinde dolgu duvarlarının taşıma kapasitelerinin gözönüne alındığı durum

ve ayrıca hem en alt kat yüksekliğinin artırıldığı hemde bu katdaki dolgu duvarının kaldırıldığı durum için bina performans seviyeleri belirlenmiştir.

Yukarıda özellikleri belirtilen az katlı betonarme binaların dört değişik durumuna ait performansları, hafif, orta, şiddetli (tasarım) ve çok şiddetli deprem tehlike seviyeleri için belirlenmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlardan yararlanarak, TDY-1998'de öngörülen performans hedeflerininin sağlayıp sağlamadığı bir çok parametre ile irdelenmiştir.

## 2 ÖRNEK BETONARME BİNALAR ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEME

Türkiye'de şiddetli depremler sonrası ağır gören, kısmen ve tamamen göçen binaların çoğunluğunu az katlı binalar olması nedeniyle, sayısal incelemeler az katlı binaları temsil etmek üzere Şekil 1'de görüldüğü gibi üç katlı betonarme bir çerçeve üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Betonarme Binanın Özellikleri

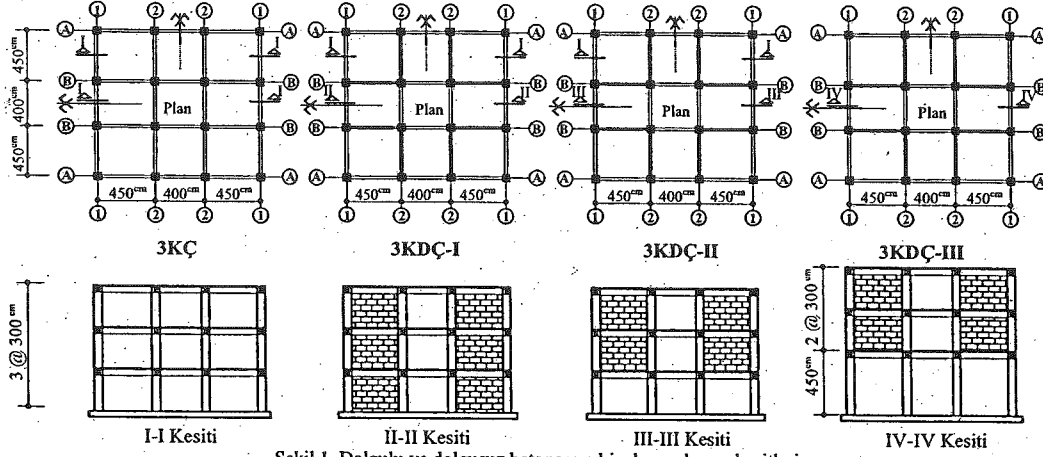
Performans değerlendirmelerini yapmak üzere yapısal düzensizliği bulunmayan, her iki doğrultuda simetrik üç katlı betonarme çerçeve bina TDY-1998 [6] ve ilgili diğer yönetmelik ve standartlara uygun olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 1) (Çizelge 1). Binanın boyutlandırılmasında, deprem bölgesi 1 ( $A_0=0.40$ ),  $I=1$ , Z2 ( $T_A=0.15$  sn,  $T_B=0.40$  sn) ve  $R=8$  olarak alınmıştır. Çalışmada incelenmek üzere dört tip az katlı betonarme çerçeve bina belirlenmiştir. Bunlar;

1. **3KÇ:** Dolgu duvarlarının taşıma kapasitelerinin ihmal edildiği ve herhangi düzensizliği olmayan, 3 Katlı dolgusuz Çerçeve (3KÇ) (Şekil 1);
2. **3KDC-I:** Dolgu duvarının taşıma kapasitesinin göz-önüne alındığı ve herhangi bir düzensizliği olmayan 3 Katlı Dolgulu Çerçeve (3KDC-I) (Şekil 1);
3. **3KDC-II:** En alt kat hariç dolgu duvarının taşıma kapasitesinin gözönüne alındığı 3 Katlı Düzensiz Dolgulu Çerçeve (3KDC-II) (Şekil 1);
4. **3KDC-III:** En alt kat yüksekliğinin fazla olduğu ve bu katın üstündeki dolgu duvarlarının taşıma kapasitesinin gözönüne alındığı 3 Katlı düzensiz Dolgulu Çerçeve (3KDC-III) (Şekil 1).

Şekil 1 ve Çizelge 1'de özellikleri verilen betonarme binaların performans düzeylerini belirlemek için doğrusal olmayan statik analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

İncelenen betonarme binaların çatlamış kesitli I. doğal titreşim periyotları ( $T_1$ ) sırasıyla 3KÇ için 0.458 sn, 3KDÇ-I için 0.193sn, 3KDÇ-II için 0.288 sn ve 3KDÇ-III 0.522 sn olarak belirlenmiştir.

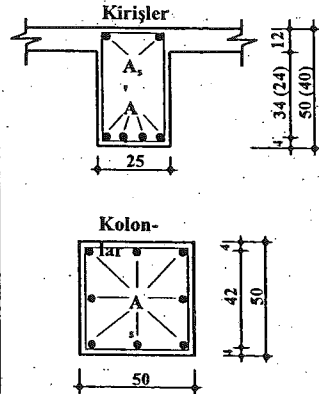
Ayrıca, analizleri yapılan bu binaların TDY-1998'de tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayıları da ( $\eta_{ki}$ ) sırasıyla 1.438, 1.373, 2.976 ve 8.250 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1: Dolgulu ve dolgusuz betonarme binaların plan ve kesitleri

Çizelge 1. Betonarme binaların kiriş ve kolonlarının boyut ve donatıları ile tipik enkesitleri

Aks	Katlar	Boyutlar (cm*cm)	Kiriş				Kolon		
			Donatılar (cm <sup>2</sup> )				Boyutlar (cm*cm)	Donatılar (cm <sup>2</sup> )	
			A <sub>s</sub>	Kiriş (1-2)		Kiriş (2-2)			
I-1 ve A-A	3	25 * 40	A <sub>s</sub>	Kiriş (1-2)	Kiriş (2-2)	50 * 50	24.12		
			A <sub>s</sub>	Sol	Sağ			Sol	Sağ
	2		A <sub>s</sub>	3.39	3.39			3.39	3.39
			A <sub>s</sub>	2.26	2.26			2.26	2.26
	1		A <sub>s</sub>	4.81	4.81			4.81	4.81
			A <sub>s</sub>	3.39	2.26			2.26	2.26
2-2 ve B-B	3	25 * 50	A <sub>s</sub>	4.52	4.52	4.52	4.52		
			A <sub>s</sub>	2.26	2.26	2.26	2.26		
	2		A <sub>s</sub>	7.42	6.06	6.06	6.06		
			A <sub>s</sub>	3.39	3.39	3.39	3.39		
	1		A <sub>s</sub>	7.42	6.54	6.54	6.54		
			A <sub>s</sub>	3.80	3.39	3.39	3.39		



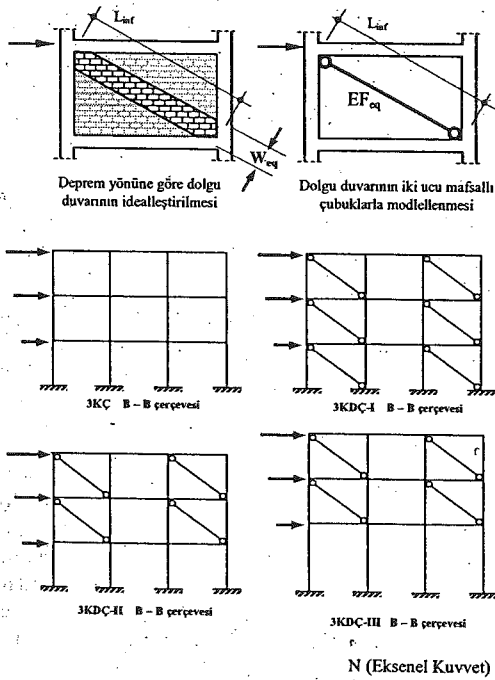
## 2.2. Binaların Matematik Modellenmesi ve Hesaplarda Yapılan Varsayımlar

Hesaplarda plastik şekil değiştirmelerin *plastik kesit* 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. Kolon ve kirişlere ait plastik mafsalların *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'dan [3] alınmıştır. Sistemdeki kolon ve kirişlerin çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356'da

[5] önerilen değerler kullanılmıştır. Ayrıca, sistemdeki kolon ve kirişlerin kesme kuvveti ve burulma momenti taşıma kapasiteleri de kontrol edilmiştir.

Betonarme binalardaki dolgu duvarlar, imal edildikleri malzemelerin (tuğla, harç, siva 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 [8]. Bu çalışmada, binadaki toplam boşlukları (kapı, pencere v.b) temsil etmek üzere 3KDÇ-I'in dış çerçevelerin her katında ve her açıklığında ve iç çerçevelerin her katın sadece orta açıklığında dolgu duvarın olmadığı (Şekil1), 3KDÇ-II ve 3KDÇ-III'ün dış çerçevelerin her katın-

da ve her açıklığında, iç çerçevelerin en alt katın tamamında ve her katta sadece orta açıklıklarda dolgu duvarının olmadığı kabul edilmiştir. Dolgu duvarlarının basınç kırılması davranışı gösterdiği kabul edilerek iki ucu mafsallı diyagonal çubuk elemanlarla modellenmiştir (Şekil 2). Ayrıca, dolgu duvarlarını temsil eden ve aynı kalınlıktaki iki ucu mafsallı fiktif çubukta yanıl burkulmanın olmadığı kabul edilmiştir. Çalışmadaki dolgu duvar tipi boşluklu tuğla elemandır. Bu elemanların *eksenel kuvvet-plastik kısalma* ( $N-\Delta_p$ ) bağıntısı için (Hanoğlu 2002)'deki yaklaşımdan [9] yararlanılmıştır (Şekil 2). Çalışmada kullanılan dolgu duvara ait malzeme özellikleri (basınç dayanımları, elastisite modülleri v.b) ve modellemedeki karakteristik değerler için Hasgöl (2004)'den [10] yararlanılmıştır (Çizelge 2). Dolgu duvarların çekme dayanımı ve çerçeve elemanları ile olan temas yüzeylerindeki sürtünme etkisi ihmal edilmiştir.



Şekil 2. Dolgulu duvarın modellenmesi, binaların hesap modelleri ve boşluklu tuğla için ( $N-\Delta_p$ ) bağıntısı

Çizelge 2. Boşluklu tuğla duvar için matematik modellemede kullanılan parametreler

Modelleme Parametreleri		Sembol	Birim	3KÇ
Dolgu duvar malzeme cinsi		Boşluklu tuğla		
Dolgu duvar kalınlığı		$t_{du}$	cm	17.5
Dolgu duvarının elastisite modülü		$E_{du}$	Mpa	5884
İki ucu mafsallı fiktif çubuk	Diyagonal boyu	$L_{du}$	cm	480
	Eşdeğer genişliği	$W_{eq}$	cm	177.6
	Uzama rijitliği	$EF_{eq}$	kN	1828744
	Basınç çatlama dayanımı	$N_c$	kN	365.749
	Max. basınç dayanımı	$N_{max}$	kN	475.475
	Min. basınç dayanımı	$N_{min}$	kN	73.148
$N_{max}$ için plastik kısalma değeri		$\Delta_p$	cm	0.336
$N_{min}$ için plastik kısalma değeri		$\Delta_p'$	cm	1.296

### 2.3 Performans Hedeflerinin Tanımlanması

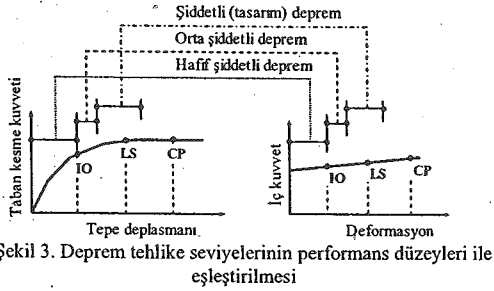
TDY-1998'de [6] depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi, "Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi" olarak tanımlanmaktadır.

Ancak TDY-1998'deki bu performans hedefleri, deprem tehlike seviyeleri ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyleri bakımından net olmayan tanımlamalara sahip olduğundan bina performansının öngörülen sınırlar içinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılamamaktadır.

Bu nedenle, TDY-1998'de [6] verilen hasar durumları, FEMA 356'da [5] performans düzeyleri ile ifade edilen temsili hasar seviyeleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3).

Buna göre yaklaşık olarak eşleştirilerek ;

- Hafif şiddetteki depremlerde binanın, hemen kullanım performans düzeyinde veya daha altında ( $\leq IO$ ) performans düzeyinde olduğu,
- Orta şiddetteki depremlerde binanın, hemen kullanım performans düzeyi ile ( $IO$ ) ile yaşam güvenliği performans düzeyi ( $LS$ ) arasında ancak hemen kullanım performans düzeyine ( $IO$ ) daha yakın olduğu,
- Şiddetli (tasarım) depremlerde ise binanın, yaşam güvenliği performans düzeyinde ( $LS$ ) veya buna çok yakın olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3. Deprem tehlike seviyelerinin performans düzeyleri ile eşleştirilmesi

#### 2.4 Deprem Tehlike Seviyesinin Tanımlanması

Binaların performans düzeylerini belirlemek için dört farklı deprem tehlikesi seviyesi göz önüne alınmıştır.

Bu deprem tehlike seviyeleri;

TDY-1998'de [6] sözü edilen;

- Hafif şiddetli deprem (D1),
- Orta şiddetli deprem (D2),
- Şiddetli (tasarım) deprem (D3),

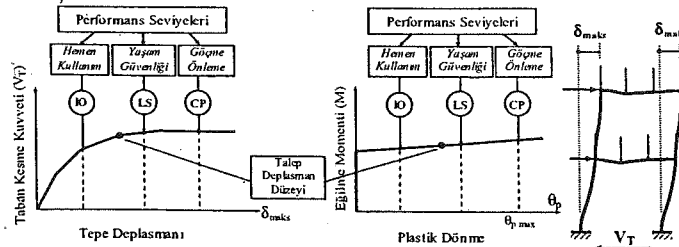
ayrıca ATC 40 [3], FEMA 356 [5] ve VISION 2000'de [2] tanımlanan, ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden

- Çok şiddetli depremdir (D4).

TDY-1998'de şiddetli deprem (tasarım depremi) olarak tanımlanan tasarım depremi,  $I=1$  olan binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı % 10 olan deprem tehlikesini ifade etmektedir [6]. Ancak, TDY-1998'de ifade edilen hafif, orta ve çok şiddetli depremler için olasılıksal bir tanımlama yapılmamıştır. Bu tanımlamaları yapmak üzere ATC 40 [3], FEMA 356 [5] ve VISION 2000 [6]'de yer alan deprem tehlike seviyesi sınıflandırmalarından yararlanılmıştır. Daha sonra, birinci derece deprem bölgesi ( $A_0=0.40$ ) için hafif ve orta ve çok şiddetli depremlere ait spektrumlar, tasarım spektrumundan türetilmiştir.

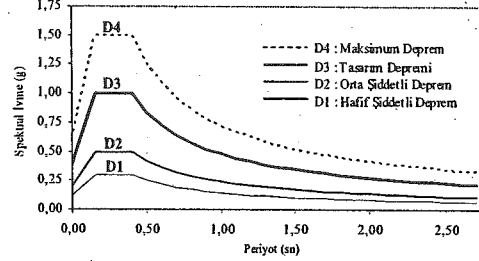
Buna göre;

- Hafif şiddetli deprem (D1), tasarım depreminin (D3) yaklaşık % 30'u,



Şekil 5. Binaların performans düzeylerinin belirlenmesi

- Orta şiddetli deprem (D2), tasarım depreminin (D3) yaklaşık % 50'si,
- Çok şiddetli deprem (D4), ise tasarım depreminin (D3) 1.5 katı olarak alınmıştır (Şekil 4) [10].



Şekil 4. Gözönüne alınan depremlere ait talep spektrumları

#### 2.5 Performans Düzeylerinin Tanımlanması

Binaların performans değerlendirmeleri yapabilmek için performans düzeylerini belirlemede gerekli kriterler iki grupta toplanabilir. Bu kriterler, maksimum deplasman talebine (performans noktasına) kadar statik olarak itilmiş binanın, taşıyıcı sistem elemanlarındaki (kiriş ve kolon) maksimum plastik dönme değerleri ile maksimum göreceli kat öteleme değerleridir [11].

Bu çalışmada, performans değerlendirmeleri yapılacak olan dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı binalar, göz önüne alınan dört deprem tehlike seviyesi için, Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile belirlenen maksimum deplasman değerlerine (deplasman talebine) kadar statik olarak itilecektir. Daha sonra taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik dönme değerleri ile maksimum göreceli kat ötelemeleri belirlenecektir.

Plastik dönme değerlerine ve göreceli kat ötelemelerine göre binaların performans seviyeleri, FEMA 356 ve ATC 40'da tanımlanan performans düzeylerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak belirlenecektir. Performans düzeylerini belirleyen bu sınır durumlar hemen kullanım (IO), yaşam güvenliği (LS) ve göçme önleme performans düzeyidir (CP) (Şekil 5).

## 2.6 Binaların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

Binaların yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrilerini elde etmek için incelenen binaların, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri yapılmıştır.

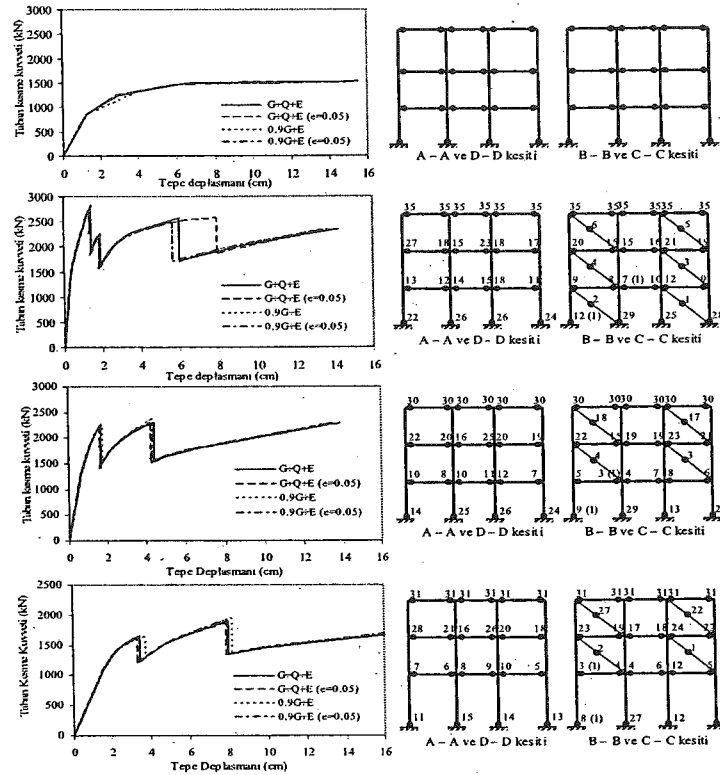
Düşey yük olarak, TS 500'de [12] depremler için öngörülen yük kombinasyonları göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre, incelenen binalar (3KÇ, 3KDC-I, 3KDC-II, 3KDC-III) için G+Q+E, G+Q+E (e=0.05), 0.9G+E, 0.9G+E (e=0.05) yük

kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri ayrı ayrı elde edilmiştir.

Depremi temsil eden yatay yük dağılımının belirlenmesinde, TDY-1998'de verilen eşdeğer deprem yükleri dağılımı kullanılmıştır.

3 katlı betonarme binaların (3KÇ, 3KDC-I, 3KDC-II ve 3KDC-III) gözönüne alınan yük kombinasyonları için elde edilen kapasite eğrileri ve pushover analizlerinden elde edilen maksimum göçme durumundaki plastik mafsalların dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir.

Binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde SAP2000 Yapı Analiz Programı'ndan yararlanılmıştır [13].



Şekil 6. Betonarme binaların kapasite eğrileri ve plastik mafsalların dağılımı

## 2.7 DKY ile Deplasman Taleplerinin Belirlenmesi

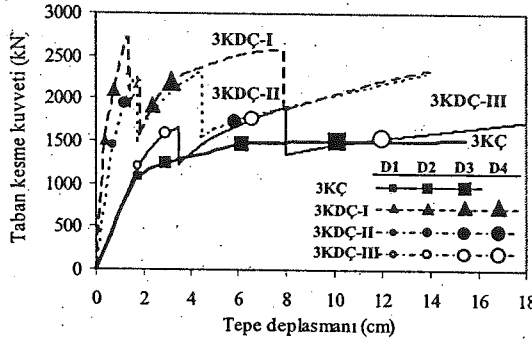
Deplasman ve dayanım talepleri, incelenen her dört ayrı betonarme binanın dört farklı deprem tehlike seviyesi için değişik yük kombinasyonlarından elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanarak DKY ile belirlenmiştir. Maksimum deplasman talebini veren yüklemeye ait sonuçlar Çizelge 3 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. DKY ile analizde, histerisis davranışı

temsil eden  $C_2$  katsayısı göz önüne alınan binanın gerçekleşen performans düzeyine bağlı olarak belirlenmiştir. Binanın performansı başlangıçta bilinmediğinden  $C_2$  katsayısının belirlenmesi için ardışık yaklaşım yapılmıştır [10-11].

Göz önüne alınan deprem tehlike seviyeleri için, performans noktasına kadar statik olarak itilen binaların deplasman profilleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu  
Çizelge 3. Binaların DKY'ne ait analiz sonuçları

Binalar	Deprem Tehlike Seviyeleri	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_1 = K_c$ (kN/m)	$\delta_{max}$ (cm)	$V_T$ (kN)
3KC	D1	0.269	1.26	1.00	1.00	1.00	0.458	67225	1.765	1082.7
	D2	0.449	1.26	1.00	1.00	1.00			2.947	1244.5
	D3	0.897	1.26	1.00	1.05	1.00			6.181	1466.1
	D4	1.346	1.26	1.00	1.15	1.00			10.158	1496.5
3KDÇ-I	D1	0.300	1.25	1.00	1.00	1.00	0.193	389571	0.348	1503.4
	D2	0.500	1.25	1.27	1.00	1.00			0.738	2097.7
	D3	1.000	1.25	1.60	1.00	1.29			2.386	1918.2
	D4	1.500	1.25	1.65	1.00	1.00			3.170	2189.8
3KDÇ-II	D1	0.300	1.15	1.00	1.00	1.00	0.288	203832	0.713	1453.4
	D2	0.500	1.16	1.00	1.00	1.00			1.191	1932.9
	D3	1.000	1.28	1.85	1.05	1.15			5.881	1723.0
	D4	Bu deprem tehlike seviyesi için hedef deplasman bulunamamıştır.								
3KDÇ-III	D1	0.243	1.067	1.00	1.00	1.00	0.522	69483	1.752	1206.0
	D2	0.404	1.080	1.00	1.00	1.00			2.954	1587.0
	D3	0.808	1.131	1.00	1.07	1.00			6.622	1759.5
	D4	1.212	1.260	1.00	1.13	1.03			12.042	1533.5

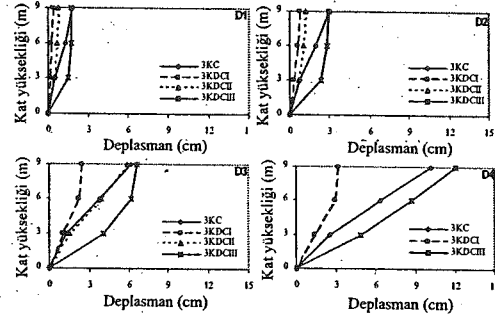


Şekil 7. DKY ile incelenen binaların hedef deplasmanları

## 2.8 Binaların Performans Düzeyleri

Taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan maksimum plastik dönme değerleri ile sistemin görelî kat ötelemeleri değerleri, gözönüne alınan farklı dört deprem tehlike seviyesi için, DKY ile belirlenen maksimum deplasman talebine kadar itilerek belirlenmiştir (Çizelge 4). Binaların performans düzeyleri, taşıyıcı sistemdeki elemanların maksimum plastik dönme değerleri ve görelî kat ötelemeleri FEMA 356 ve ATC 40'da tanımlanan hemen kullanım IO, yaşam güvenliği LS ve göçme önleme CP performans düzeyine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak belirlenmiştir ve Çizelge 4'de verilmiştir. Ayrıca dolgu duvarını temsil eden fiktif çubuklardaki şekil değiştirmeler de belirlenmiştir ve Çizelge 5'de verilmiştir.

İncelenen her üç binanın D4 maksimum deprem tehlike seviyesine ilişkin deplasman talebine sahip olmamasından dolayı, sadece D3 deprem tehlike seviyesi için maksimum deplasman talebine kadar



Şekil 8. Gözönüne alınan deprem tehlike seviyeleri için deplasman profilleri

itilmiş binada, taşıyıcı sistemdeki plastik dönme ve kat ötelemeleri değerlerine göre performans düzeyleri ve hasar durumları Şekil 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4'den yararlanarak incelenen binaların dört farklı deprem tehlike seviyesi için DKY ile analiz sonuçlarına göre performans düzeyleri aşağıda özetlenmiştir.

- *D1 ve D2 deprem tehlike seviyesi için ;*  
Dolgunuz, dolgu duvarlı ve düzensiz dolgulu tüm betonarme binaların performanslarının hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq$  IO) olduğu belirlenmiştir (Şekil 10).
- *D3 deprem tehlike seviyesi için ;*  
3KC'ye ait performans seviyesinin, hemen kullanım (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında, 3KDÇ-I'e ait performans seviyesinin, hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq$  IO), 3KDÇ-II'e ait performans seviyesinin hemen kullanım (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında ve 3KDÇ-III'e ait

performans seviyesinin hemen kullanım (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 10).

- D4 depremi tehlike seviyesi için ; 3KÇ'ye ait performans seviyesinin, yaşam güvenliği (LS) ile göçme önleme (CP) performans düzeyi arasında, 3KDÇ-I'e ait performans seviyesinin, hemen kullanım (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında olduğu belirlenmiştir. 3KDÇ-II'nin DKY ile analizde,

binanın etkin periyodunun karakteristik periyot değerinden büyük olduğundan  $C_1$  katsayısının büyük değer alması ve buna bağlı olarak hedef deplasmanı kapasite eğrisinin dışında bulunmasından dolayı çok şiddetli depremde hedef deplasman bulunamamıştır. 3KDÇ-III'e ait performans seviyesinin, 3KÇ'ye benzer olarak yaşam güvenliği (LS) ile göçme önleme (CP) performans düzeyi arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 10).

Çizelge 4. Betonarme binaların DKY'den elde edilen performans düzeyleri

Binalar	Deprem Tehlike Seviyeleri	Maks. Plastik Dönme (rad)		Performans Seviyelerine Göre Plastikleşen Kesit Sayısı								Maksimum Öteleme (%) ve İlgili Performans Düzeyleri			
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon				<IO	IO-LS	LS-CP	
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP				
3KÇ	D1	0.00075	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	—	—
	D2	0.00258	—	72	—	—	—	—	—	—	—	—	0.41	—	—
	D3	0.00790	0.00339	2	70	—	—	10	—	—	—	—	0.82	—	—
	D4	0.01310	0.00435	—	6	66	—	—	16	—	—	—	—	1.27	—
3KDÇ-I	D1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—
	D2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.10	—	—
	D3	0.00353	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—	0.39	—	—
	D4	0.00525	0.00134	42	4	—	—	15	—	—	—	—	0.51	—	—
3KDÇ-II	D1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.16	—	—
	D2	0.00035	—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	0.23	—	—
	D3	0.00689	0.00053	10	62	—	—	16	—	—	—	—	0.78	—	—
	D4	Bu deprem tehlike seviyesi için hedef deplasman bulunamamıştır.													
3KDÇ-III	D1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.49	—	—
	D2	0.00192	0.00128	24	—	—	—	12	—	—	—	—	0.78	—	—
	D3	0.00847	0.00216	24	24	—	—	18	—	—	—	—	1.36	—	—
	D4	0.01284	0.00273	—	20	52	—	16	4	—	—	—	1.61	—	—

Tüm deprem seviyeleri için Çizelge 5 incelendiğinde,

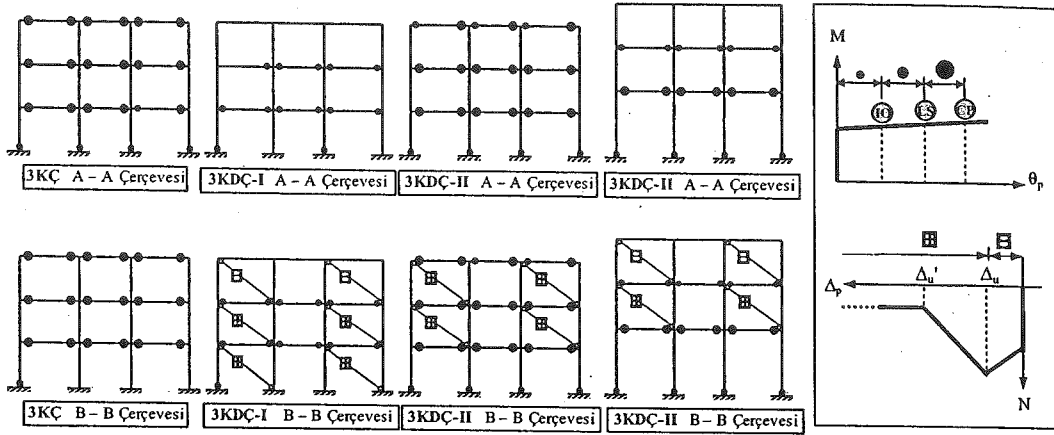
- 3KDÇI'de dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı fiktif çubukların bazılarında  $N_c$  çatlama dayanımı aşılmakta ( $\Delta_p < \Delta_u$ ) ancak,  $N_{max}$  değerine ulaşmamaktadır. Sadece D3 ve D4 depremi için, bazı eşdeğer fiktif çubukların  $N_{max}$  maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra üzerindeki yükü boşaltarak  $N_{min}$  değerine azaldığı ( $\Delta_u' < \Delta_p$ ) belirlenmiştir.
- 3KDÇII'de dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı fiktif çubukların bazılarında  $N_c$  çatlama dayanımı aşılmakta ( $\Delta_p < \Delta_u$ ) ancak,  $N_{max}$  değerine ulaşmamaktadır. Ancak bazı eşdeğer fiktif çubukların sadece D3 depreminde,  $N_{max}$  maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra üzerindeki yükü boşaltarak  $N_{min}$  değerine azaldığı ( $\Delta_u' < \Delta_p$ ) belirlenmiştir.
- 3KDÇIII'de dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı fiktif çubukların bazılarında  $N_c$  çatlama

dayanımı aşılmakta ( $\Delta_p < \Delta_u$ ) ancak,  $N_{max}$  değerine ulaşmamaktadır. Ancak bazı eşdeğer fiktif çubukların sadece D3 ve D4 depreminde,  $N_{max}$  maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra üzerindeki yükü boşaltarak  $N_{min}$  değerine azaldığı ( $\Delta_u' < \Delta_p$ ) belirlenmiştir.

Çizelge 5. Dolgu duvarlarını temsil eden fiktif çubukların plastikleşme durumları

Binalar	Deprem Tehlike Seviyeleri	$\Delta_p$ max (cm)	$\Delta_p$ Değerine Göre Plastikleşen Kesit Sayısı		
			$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$	$\Delta_u' < \Delta_p$
3KDÇ-I	D1	0.016	3	—	—
	D2	0.149	8	—	—
	D3	1.003	3	—	8
	D4	1.271	3	—	8
3KDÇ-II	D1	0.027	4	—	—
	D2	0.184	4	—	—
	D3	1.947	—	—	8
	D4	Hedef deplasman bulunamamıştır.			
3KDÇ-III	D1	0.046	4	—	—
	D2	0.2686	4	—	—
	D3	1.7262	4	—	4
	D4	3.2311	—	—	8





Şekil 9. D3 için elde edilen maksimum deplasman talebine kadar itilen binaların performans düzeyleri

### 3 TDY-1998'DEKİ PERFORMANS HEDEFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

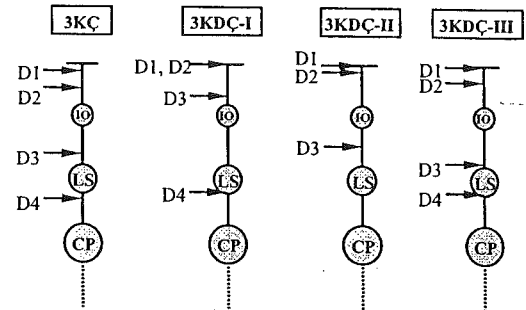
TDY-1998'deki [6] performans hedeflerinin değerlendirilmesinde, dolgunsuz (3KÇ), dolgu duvarlı (3KDC-I) ve yumuşak kat düzensizliğinin bulunan düzensiz dolgu (3KDC-II, 3KDC-III) binanın Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile dört farklı deprem tehlike seviyesi için performansları belirlenmiş, ve maksimum deplasman talebini veren analiz sonuçları göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, TDY-1998'de tanımlanan hasar durumları, FEMA 356'da [5] performans düzeyleri ile ifade edilen temsili hasar durumları ile eşleştirilmiştir.

Buna göre, belirli bir yaklaşımla eşleştirilerek, hafif şiddetteki depremlerde binanın hemen kullanım performans düzeyinde ( $\approx$ IO) veya daha düşük bir performans düzeyinde ( $<$ IO); orta şiddetteki depremlerde, hemen kullanım performans düzeyi (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında (IO-LS) ancak hemen kullanım performans düzeyine (IO) daha yakın; ve şiddetli (tasarım) depremlerde ise binanın (LS) performans düzeyinde veya ona çok yakın olduğu kabul edilmiştir [10-11].

Yukarıdaki tanımlamalar göz önünde bulundurularak, yönetmeliğe göre tasarlanmış binaların performans hedefleri incelendiğinde; 3KÇ'nin hafif ve orta şiddetteki depremlerde; TDY-1998'de öngörülenin oldukça üzerinde, şiddetli depremlerde öngörülenin biraz üzerinde bir performans gösterdiği ve çok şiddetli depremlerde öngörülen düzeyde bir performans gösterdiği belirlenmiştir. (Çizelge 5 ve Şekil 10). 3KDC-I'nin hafif, orta ve şiddetli depremlerde; TDY-1998'de öngörülenin çok üzerinde bir performans gösterdiği, çok şiddetli depremlerde ise, öngörülenin biraz üzerinde bir performans gösterdiği belir-

lenmiştir (Çizelge 3 ve Şekil 10). 3KDC-II'nin hafif ve orta şiddetteki depremlerde; yönetmelikte öngörülenin çok üzerinde, şiddetli depremlerde öngörülenin çok az üzerinde performans gösterdiği belirlenmiştir. 3KDC-II'nin DKY ile analizde, binanın etkin periyodunun karakteristik periyot değerinden büyük olduğundan ( $T_e < T_0$ )  $C_1$  katsayısının büyük değeri olması ve buna bağlı olarak hedef deplasmanının kapasite eğrisinin dışında bulunmasından dolayı çok şiddetli depremlerde hedef deplasman bulunamamıştır (Çizelge 5 ve Şekil 10). 3KDC-III'ün hafif ve orta şiddetli depremlerde dolgu duvarı etkisi ile öngörülenin oldukça üzerinde bir performans gösterdiği, bu deprem tehlike seviyelerinden sonra dolgu duvarları etkisini yitirerek dolgunsuz çerçeve davranışına benzer şekilde, şiddetli depremlerde öngörülenin biraz üzerinde bir performans gösterdiği ve çok şiddetli depremlerde öngörülen düzeyde bir performans gösterdiği belirlenmiştir. (Çizelge 5 ve Şekil 10).

3KDC-I, 3KDC-II ve 3KDC-III'de yapısal olmayan elemanlarda ise yönetmelikte öngörülen düzeyde performansın sağlandığı belirlenmiştir (Çizelge 5).



Şekil 10. İncelenen betonarme binaların dört farklı deprem tehlike seviyesi için DKY'den elde edilen performans düzeyleri

#### 4 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’de yaşanan özellikle şiddetli depremlerde binalarda meydana gelen hasarların, kısmen ve tamamen göçmenin nedenlerini araştırmak amacıyla TDY-1998’in performans hedefleri irdelenmiştir.

Bu araştırma kapsamında, binanın dolgu duvarlarının taşıma kapasitesinin tüm katlarda ihmal edildiği, tüm katlarda ve sadece alt kat haricinde diğer katlarda gözönüne alındığı ve en altta hem katın yüksekliğinin artırıldığı hem de dolgu duvarlarının taşıma kapasitesinin göz önüne alınmadığı dört durum için TDY-1998’de tanımlanan deprem tehlike seviyelerine (hafif şiddette, orta şiddette, şiddetli (tasarım)) ve ayrıca çok şiddetli depreme göre, doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden DKY ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1- Çalışmada incelenen binanın her dört durumu için, genel bir değerlendirme yapıldığında, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği’nde hafif, orta ve şiddetli (tasarım) depremlerde binalar için öngörülen performans hedeflerinin önemli (büyük) oranda gerçekleştiği belirlenmiştir.

2- Analiz sonuçlarından yararlanarak, dolgu duvarlarının taşıma kapasitesinin tüm katlarda ihmal edildiği durumdaki bina performansına göre,

- Her kattaki dolgu duvarının taşıma kapasitesinin gözönüne alınması ile dört deprem tehlike seviyesi için bina davranışının olumlu yönde değiştiği, binanın başlangıç rijitliğinin ve bina performansının önemli oranda arttığı belirlenmiştir.
- Sadece alt kattaki dolgu duvarlarının olmadığı diğer katlardaki dolgu duvarlarının taşıma kapasitelerinin göz önüne alındığı durumda binanın başlangıç rijitliğinin arttığı ancak, tasarım depremi için bina performansının oldukça az arttığı veya hemen hemen artmadığı söylenebilir.
- Hem enalt kat yüksekliğinin artırıldığı hem de dolgu duvar taşıma kapasitelerinin alt kat dışındaki üst katlarda gözönüne alınması ile hafif ve orta şiddetli deprem haricinde bina performansına ve binanın başlangıç rijitliğine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

3- Analiz sonuçlarından yararlanarak, dolgu duvarlarının taşıma kapasitesinin tüm katlarda ihmal edildiği durumdaki binanın kat yanal deplasmanlarına göre;

- Her kattaki dolgu duvarının taşıma kapasitesinin göz önüne alınması ile tüm deprem tehlike sevi-

yeleri için katların yanal deplasmanlarının oldukça azaldığı belirlenmiştir.

- Sadece alt kattaki dolgu duvarlarının olmadığı diğer katlardaki dolgu duvarlarının taşıma kapasitelerinin göz önüne alındığı durumda tasarım depremi için üst kat haricindeki diğer katların yanal deplasmanlarının biraz daha arttığı belirlenmiştir.
- Hem enalt kat yüksekliğinin artırıldığı hem de dolgu duvar taşıma kapasitelerinin gözönüne alınması ile tepe deplasmanı açısından çok yakın talepler elde edilmesine rağmen, kat deplasmanlarının beklenildiği gibi önemli oranda artış olduğu görülmüştür.

Bu araştırma sonuçlarına göre Türk standartları (TS) ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY-1998) göre boyutlandırılan az katlı betonarme binaların TDY-1998’de öngörülen performans hedeflerini önemli ölçüde sağladığı söylenebilir.

#### 5 KAYNAKLAR

- [1] SEAOC, 1999. *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*, Blue Book, Seventh Edition, Structural Engineers Association of California.
- [2] SEAOC, 1995. *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*, Vision 2000, Structural Engineers Association of California.
- [3] ATC, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, ATC 40, Vol. 1, Applied Technology Council, Washington, DC.
- [4] FEMA, 1997. *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency.
- [5] FEMA., 2000. *Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency.
- [6] TDY-1998, 1998. *Afet Bölgerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, ABYYHY, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [7] 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.
- [8] Paulay, T. ve Priestley, M.J.N. 1992. *Seismic design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Willey & Sons, New York.
- [9] Hanoglu, K. B. 2002. *Fiber Reinforced Plastic Overlay Retrofit of Hollow Clay Tile Masonry Filled Reinforced Concrete Frames*, Ph.D. Thesis, Bogazici University, Istanbul.
- [10] Hasgul, U. 2004. *Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Boyutlandırılan Betonarme Binaların Performanslarının İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [11] İrtem, E., Türker, K. ve Hasgül, U. 2005. *Dolgu Duvarlarının Betonarme Bina Davranışına Etkisi*, İTÜ dergisi D, Cilt:4 Sayı:4.

*Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*

- [12] TS 500, 2000. *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, TS 500, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] CSI, 2002. *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, SAP2000 v.8.*