

## OKUL BİNALARININ YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

### EVALUATION OF SCHOOL BUILDINGS ACCORDING TO RECENT TURKISH EARTHQUAKE CODE

Mehmet İNEL<sup>1</sup>, Hüseyin BİLGİN<sup>2</sup> ve Hayri Baytan ÖZMEN<sup>3</sup>

#### ÖZET

Son 20 yılda ülkemizin yaşadığı depremler, okul binalarımızın yapısal performanslarının oldukça yetersiz olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan eleman davranışı dikkate alınarak seçilen tip projeli mevcut betonarme okul binalarının sismik kapasiteleri bulunup, performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Tip proje seçimi ve malzeme özelliklerinin belirlenmesinde ülkemizin batı bölgelerinde kamu binaları üzerinde yapılan arazi çalışmaları dikkate alınmıştır. Seçilen okul binalarının kapasite eğrileri her iki yönde yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi ile elde edilmiş ve sismik performans değerlendirilmesi 2007 Deprem Yönetmeliği esas alınarak yapılmıştır. Malzeme kalitesinin sismik performans üzerindeki etkileri irdelenmiş, binaların kusurları ve olası çözüm önerileri tartışılmıştır. Anahtar Kelimeler: Doğrusal olmayan statik analiz, Okul yapıları, Performans esashi değerlendirme.

#### ABSTRACT

Recent devastating earthquakes experienced in Turkey over the past several decades have emphasized inadequate seismic performance of school buildings. This study evaluates seismic capacity and performance of existing school buildings with the selected template designs considering nonlinear behaviour of reinforced concrete components. Four template designs were selected to represent major percentage of school buildings in medium-size cities located in high seismic region of Turkey. Selection of template designed buildings and material properties were based on field investigation on government owned school buildings in several cities in western part of Turkey. Capacity curves of investigated buildings were determined by pushover analyses conducted in two principal directions. Seismic capacity evaluation was carried out in accordance with recently published Turkish Earthquake Code (2007). The effects of material quality on seismic performance of school buildings were investigated. Also, deficiencies and possible solutions to improve the capacity of school buildings are discussed. Keywords: Nonlinear static analysis, School buildings, Performance based evaluation.

#### GİRİŞ

Yaşadığımız son depremlerde oluşan ekonomik zarar ve can kayıpları, yapılarımızın mevcut durumlarının değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Bağcı vd., 2003; Sezen vd., 2003). Mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümü 1975-1998 yılları arasında yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1975) esas alınarak yapılmıştır. Dolayısıyla, 1998 yılında yürürlüğe giren ABYYHY-1998 tarafından tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip değildir. Yönetmelikte meydana gelen değişikliklerle yapılar için öngörülen deprem etkisi önemli ölçüde artırılmış ve betonarme binaların sünekliğini

<sup>1</sup> Yard. Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Denizli, [minel@pau.edu.tr](mailto:minel@pau.edu.tr)

<sup>2</sup> Yüksek Mühendis, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, [huseyinbilgin@gmail.com](mailto:huseyinbilgin@gmail.com)

<sup>3</sup> Yüksek Mühendis, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, [hozmen@pau.edu.tr](mailto:hozmen@pau.edu.tr)

sağlayacak şartlar zorunlu hale getirmiştir. Mevcut binalarda yönetmelik değişikliğinin yanı sıra, proje ile uygulama arasında beton kalitesi, donatı miktarı ve detaylandırma farklılıkları bulunması olası depremlerde meydana gelecek hasarları arttırıcı nedenler arasındadır.

Fonksiyonları ve deprem sonrası muhtemel kullanımları göz önüne alındığında kamu binaları (telekomünikasyon, hastane, okul, vb.), olası bir deprem felaketi sonrası ayakta kalması gereken yapılardır. Bu nedenle, bu tür yapıların öncelikli olarak ele alınması gerekmektedir. Kamu binalarının birçoğu tip projelerden oluşmaktadır. Bunun bir avantaj haline dönüştürülmesi için çok yaygın olarak kullanılan tip projeler üzerinde çalışmalar yapılarak proje eksiklikleri belirlenip, inceleme sırasında öncelik sınıflandırmasına gidilebilir.

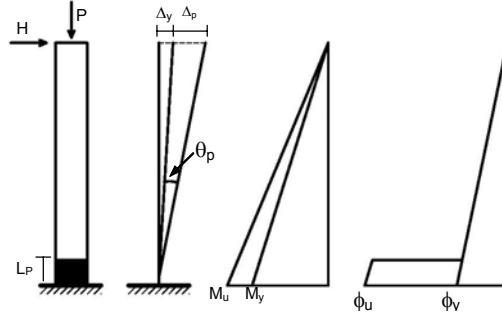
Yapı mühendisliği alanında son yıllardaki ilerlemelerin en önemlisi kuvvet esaslı tasarım yaklaşımı yerine deplasman parametrelerinin öncelikli olarak dikkate alındığı Performans Esaslı Deprem Mühendisliği yaklaşımıdır. Mevcut ve/veya yeni binaların deplasman esaslı değerlendirmesi için doğrusal analiz yöntemleri yerine yapıların deprem davranışını daha gerçekçi modelleyebilen doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan analizler hem statik hem de dinamik analiz yöntemlerini kapsamaktadır. Ancak pratik olması nedeniyle doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri (Krawinkler vd., 1998 ve Lupoi vd., 2004), yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyadaki gelişmelere paralel olarak Afet Yönetmeliğimize mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için yeni bir bölüm eklenmiş ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) olarak yürürlüğe girmiştir. Bu çalışmada, Bayındırlık ve İskan Bakanlığının orta ölçekli şehirlerdeki okul binalarında yaygın olarak kullandığı 10370, 10419 (4 ve 5 katlı olmak üzere iki tip), 10735 (A ve B blok), 10816 nolu tip projeler seçilmiş, doğrusal olmayan modelleme teknikleri kullanılarak, deprem performansları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'ye göre değerlendirilmiştir.

## ÇALIMANIN AMACI VE KULLANILAN YÖNTEM

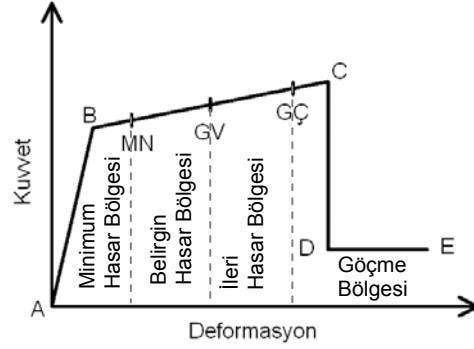
Bu çalışmanın amacı yaygın olarak kullanılan 10370, 10419 (4 ve 5 katlı), 10735 (A ve B blok) ve 10816 no'lu tip projeli okul binalarında uygulamada karşılaşılabilecek beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarını dikkate alarak doğrusal olmayan analizlerle performans değerlendirmesi yapmak, eksikleri belirleyip çözüm önerileri sunmaktır. Doğrusal olmayan davranış, uygulama ve araştırma çevrelerinde yaygın olarak kullanılan ve 2007 Deprem Yönetmeliği'nde de yer alan artımsal itme analizi ile ifade edilmiştir.

Okul yapılarının beton basınç dayanımları ve etriye uygulama aralığının belirlenmesinde, son beş yılda Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde incelenen kamu binalarına ait karot numuneleriyle elde edilen dayanımlar ve yerinde açılan elemanlarda gözlemlenen etriye aralıkları dikkate alınmıştır (Kaplan vd. 2003-2007).

Söz konusu tip projeler Isparta ve Denizli Bayındırlık ve İskan Müdürlükleri arşivlerinden temin edilmiştir. Projeler esas alınarak her bir yapının 3-boyutlu modelleri hazırlanmıştır. Sistemin doğrusal olmayan davranışı her bir elemanın doğrusal olmayan davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Elemanlara ait doğrusal olmayan davranış parametreleri, bu davranışın eleman uçlarında yoğunlaşacağı varsayımına dayanan “*yığılı plastik davranış hipotezi*” kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 1). Bu hipotez uyarınca kiriş, kolon türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılır. Eğilme davranışının hakim olduğu bu bölge plastik mafsalsal boyu ( $L_p$ ) olarak adlandırılır. Yığılı plastik davranış karakterize eden plastik mafsalsal, bu bölgenin tam ortasında noktasal bir eleman olarak idealleştirilebilir. Tipik bir elemanın doğrusal ötesi davranışı Şekil 2'de gösterilen kuvvet-deformasyon eğrisi ile ifade edilebilir (DBYBHY-2007). Bir elemanın davranışının ifade edilebilmesi, eğri üzerindeki bazı noktaların (B, C ve E gibi) belirlenmesi ile mümkün olur. Eleman uçlarında eğilme, kesme ve eksenel yük ile ilgili mafsallar tanımlanmıştır. Özellikle etriye aralığının yeterli sıklıkta olmadığı yapılarda kesme hasarlarının oluşabileceği göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 1. Yığılı plastik davranış hipotezi



Şekil 2. Eleman kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi

Doğrusal olmayan statik analiz için oluşturulan modellerde 2007 Deprem Yönetmeliği, ATC-40 (1996), FEMA-356 (2000), FEMA-440 (2005) ve Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007, 2007) dokümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır (CSI, 2002). SAP2000’de kolay olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilen otomatik mafsallara yerine, her bir eleman için oluşturulacak kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiştir. Plastik mafsalları özellikleri eleman boyutları, boyuna ve enine donatı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, birçok model arasından yaygın olarak kullanılan Mander beton modeli ile yapılmıştır (Mander vd., 1988). Artımsal itme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve doğrusal dinamik analizden elde edilen mod şekliyle ( $x$ - ve  $y$ - yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır. Analizler sonucunda binalara ait kapasite eğrileri elde edilmiş ve mevcut binaların deprem güvenliği, 2007 Deprem Yönetmeliği düzeyleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca binaların genel davranışı üzerinde durulmuş ve kat mekanizmaları, kesme kırılmaları gibi davranışların oluşup oluşmadığı irdelenmiştir.

## OKUL BİNALARINA AİT TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışmada kullanılan projelere ait geometri ve taşıyıcı sistem özellikleri ile projelere ait tanımlayıcı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Kamu yapılarının projede öngörülen beton kaliteleri yapıldıkları dönemlere göre değişiklikler göstermektedirler. 1998 öncesi inşa edilen kamu yapılarında projelerde öngörülen B160 ve B220 betonlar yaklaşık olarak C14 ve C18 sınıfı betonlara karşılık gelmektedir. Geçmiş depremler projede öngörülen beton dayanımının yerinde çok daha düşük olabileceğini göstermiştir. Hazır betonun kullanılmadığı dönemlerde çok farklı beton sınıflarına rastlamak mümkündür.

Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından Denizli, Muğla ve Aydın illerinde bulunan eğitim ve sağlık kurumlarından oluşan kamu binaları üzerinde yapılan çalışmalarda gözlemlenen beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarının genel yapı stoğunda karşılaşılabilecek aralığı temsil ettiği düşünülmüştür (Kaplan vd., 2003-2007). Bu yapıların incelenmesi sonucunda beton basınç dayanımının 10 ile 16 MPa arası yoğunlaştığı ve eleman

uçlarındaki etriye aralıklarının da 150 ile 250 mm arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmada C10 ve C16 beton sınıfları ile kolon ve kiriş uçlarında 150 ve 250 mm etriye aralıkları kullanılmıştır.

Tablo 1. Okul projelerine ait yapısal özellikler

Proje Tipi	Kullanım Amacı	Kat Alanı (m <sup>2</sup> )	Kat Yüksekliği (m)	Kat Sayısı	Yapı Ağırlığı (ton)	Yapı Taşıyıcı Sistemi		Perde Duvar Alanı (zemin kat alanı %'si)	
						Uzun yönü (x)	Kısa yönü (y)	Uzun yönü (x)	Kısa yönü (y)
10370	İlköğretim	322	3.2	3	1257	Ç + P	Ç + P	1.10	0.78
10419 (4)	İlköğretim	613	3.4	4	3323	Ç	Ç + P	----	1.50
10419 (5)	İlköğretim	613	3.4	5	4250	Ç	Ç + P	----	1.50
10735-A	İlköğretim	250	3.4	4	1342	Ç + P	Ç + P	0.90	1.46
10735-B	İlköğretim	390	3.4	4	1981	Ç + P	Ç + P	0.50	1.00
10816	Lise	890	3.4	5	5711	Ç + P	Ç + P	0.50	1.02

Ç: Çerçevesiz taşıyıcı sistem,

P: Perdeli taşıyıcı sistem, Ç + P: İkili (dual) sistem.

## YAPILARIN ANALİTİK MODELLERİNDE KULLANILAN MALZEME MODELLERİ VE DİĞER TASARIM PARAMETRELERİ

Yapıların projeleri esas alınarak, SAP2000 yapısal analiz programı ile analitik modelleri üç boyutlu olarak, kolon, perde ve kiriş elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Sisteme etkileyen yüklerin tanımlanmasında TS 498 (1987) yük yönetmeliği kullanılmıştır. Kolon-kiriş birleşimleri rijit olarak modellenmiş ve üç boyutlu modelde döşeme eleman kullanılmamıştır. Bunun yerine döşeme yükleri bağlı oldukları kirişlere yayılı yük olarak atanmıştır. Kat hizalarında rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Zemin kat kolonları, temele bağlandığı düğümlerde sonsuz rijit temel kabulüyle ankastre kabul edilmiştir. Plastik mafsal özellikleri, kesitte bulunan boyuna ve enine donatı miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kolon ve kiriş elemanlar için M-φ özelliklerinin hesabında Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır (Mander vd., 1988). S220 sınıfı için yaygın kullanılan ikinci derece parabolik σ-ε modeli esas alınmıştır. Pekleşmeli ikinci derece parabolik modelde pekleşmenin başladığı şekil değiştirme değeri 0.01 olarak dikkate alınmıştır. Plastik mafsal boylarının hesabında Denklem (1) kullanılmıştır (Priestley vd., 1996).

$$L_p = 0.08L_0 + 0.022f_{sy}d_{bl} \geq 0.044f_{sy}d_{bl} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

Burada;

$L_p$  plastik mafsal boyu,  $L_0$  plastik mafsal ile moment sıfır noktası arası mesafe,  $f_s$  boyuna donatı akma dayanımı ve  $d_{bl}$  boyuna donatı çapıdır.

### Moment Mafsallarının Tanımlanması

SAP2000 programında mafsallar Şekil 2’de tanımlanan kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde idealleştirilen beş nokta ile tanımlanmaktadır. “A” noktası orijini temsil ederken, “B” ve “C” noktaları kesitin akma ve nihai eğrilik değerleriyle ilişkilidir. “D” noktası kesitin dayanım kapasitesini kaybettiği nokta ve “E” noktası da kesitin göçtüğü noktayı temsil etmektedir. “C” ve “D” noktalarının şekildeğiştirme değerleri aynı olup, dayanım kapasitesinin “D” noktasında %20’ye düştüğü kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, kolon ve kirişler için; kesitin akma noktası olan “B” noktası, M-φ grafiğinin eğiminden, “C”, “D” ve “E” noktaları da beton basınç-şekildeğiştirme ve çekme donatısındaki şekildeğiştirme değeriyle tanımlanmıştır. Beton basınç deformasyonu ( $\epsilon_{cu}$ ) kriteri için, en üst çekirdek beton lifi şekildeğiştirme değerinin hesaplanması için önerilen ve kabul görmüş (2) nolu formül kullanılmıştır (Priestley vd., 1996). Ayrıca beton basınç şekil değiştirme değerinin “C” noktası için, 0.02 ve “E” noktası için de, 0.03 değerini aşmaması ek kriter olarak eklenmiştir. Kolon ve kiriş elemanlarda donatı çekme deformasyonları için iki değişik sınır dikkate alınmıştır.

“C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekildeğiştirme kapasitesinin %50’sine ( $0.5\varepsilon_{cu}$ ) ulaşmasına izin verilirken (Priestley, 2000), herhangi bir donatının kopması ( $\varepsilon_s=\varepsilon_{su}$ ) “E” kriteri olarak kabul edilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yh} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2)$$

Burada;  $\varepsilon_{cu}$  kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değıştirme kapasitesinin,  $\rho_s$  hacimsel enine donatı oranı,  $f_{yh}$  enine donatı akma dayanımı,  $\varepsilon_{su}$  çekme donatısı birim şekil değıştirme kapasitesi ve  $f_{cc}$  sargılı beton nihai dayanımıdır.

Yerdeğıştirme kapasitesinin belirlenmesinde dolaylı olarak etkili olan moment taşıma kapasitesindeki ciddi düşüşler ek kriter olarak alınmıştır. “C” noktasının tanımlanmasında moment kriteri olarak, moment kapasitesindeki düşüş %30, “E” noktasında bu azalma %40 olarak sınırlandırılmıştır.

Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları da tanımlanmıştır. Moment mafsallarından farklı olarak, kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanların kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme kapasiteleri TS500 (2000) e göre hesaplanmıştır.

Binaların deprem performanslarının değıerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında Vision 2000 (1995) dökümanı esas alınarak plastik deformasyon kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Plastik deformasyonun %10’u Minimum Hasar Sınırı (MN), %60’ı Güvenlik Sınırı (GV) ve %90’ı da Göçme Sınırı (GÇ) olarak ifade edilmiştir. Söz konusu sınırlar Şekil 2’de gösterilen tipik eleman için doğrusal ötesi kuvvet-deplasman ilişkisi üzerinde işaretlenmiştir.

### DBYBHY-2007’ye Göre Yapı Elemanlarında Hasar Tanımları

Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri göçme türlerine göre *sünek* ve *gevrek* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Eğilme davranışıyla göçen elemanlar sünek, kesme etkisiyle göçen elemanlar ise gevrek kabul edilmektedir. Sünek elemanlar için yönetmeliğin ilgili bölümünde verilen hasar tanımları Şekil 2 üzerinde görülmektedir.

Gevrek elemanlar için doğrusal olmayan davranışın oluşmasına izin verilmezken, sünek elemanlar için, *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvelik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ) olmak üzere kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. *Minimum hasar sınırı* kritik kesitte doğrusal olmayan davranışın başlangıcını, *güvenlik sınırı* kesitin dayanımında önemi bir azalma olmadan taşıyabileceği doğrusal olmayan davranış sınırını ve *göçme sınırı* ise kesitin göçme öncesi davranış sınırını tanımlamaktadır. Kritik kesitleri MN’ye ulaşmayan mafsallar *Minimum Hasar Bölgesi*’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*’nde, GV ile GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*’nde ve GÇ’yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*’nde kabul edilmektedir. Eleman hasarını ise elemanın en hasarlı kesiti belirlemektedir.

Yeni yönetmelikte, doğrusal yöntemlerde kesit hasar sınırları etki/kapasite oranları ile belirlenirken, doğrusal olmayan analizlerde sünek eleman kesitlerinin moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak belirlenmektedir. Bununla birlikte, her bir eleman için analizde bulunan kesme kuvvetinin TS500’e göre hesaplanan kesme dayanımını aşmaması gerekir.

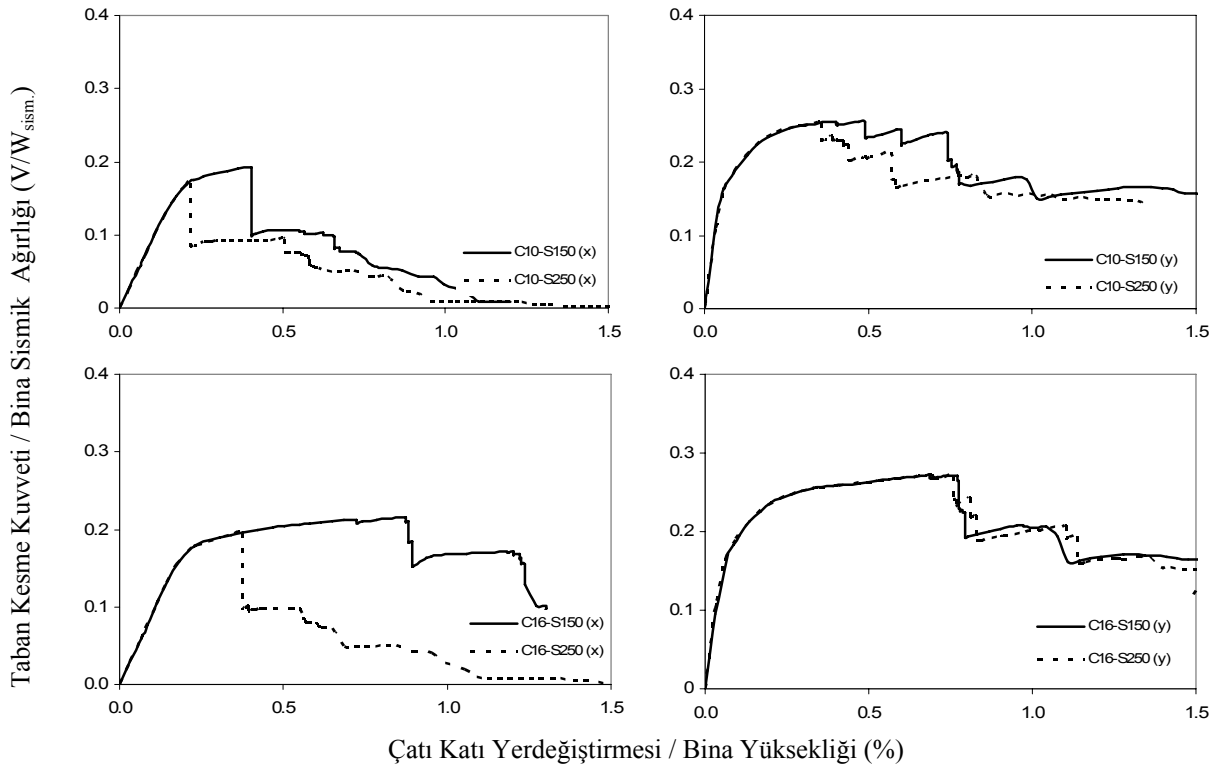
### ARTIMSAL ANALİZİ VE KAPASİTE EĞRİLERİ

Yapıların yatay yükler altındaki davranış özelliklerinin ve performans seviyelerinin belirlenmesine yönelik yapılan artımsal itme analizleri, genel olarak yapıda adım adım artırılan yanal yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değıişiminin yapı elemanlarındaki doğrusal olmayan davranış özellikleri dikkate alınarak hesaplandığı ve bu hesapların belli performans seviye değıerleri için tarif edildiği sayısal bir inceleme yöntemidir. Artımsal itme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve çatı yer değıistirmesi ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle karakterize edilir. Pratikte

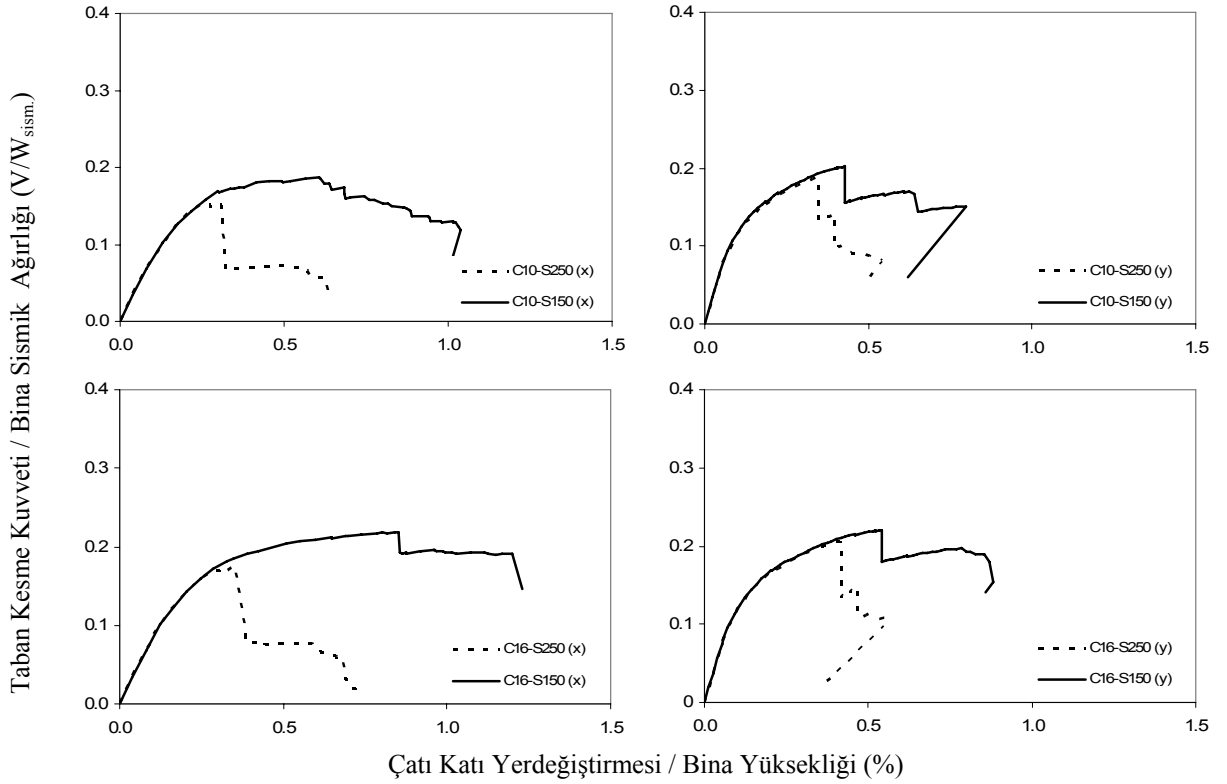
kullanımı ve mühendisler arasında aşinalığı nedeniyle kapasite eğrisi performans değerlendirmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada ele alınan tip projeli binalar farklı beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarını yansıtan şekilde modellenerek artımsal itme analizine tabi tutulmuş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada incelenen yapılardan tümünün performans değerlendirilmesi yapılmış ancak burada örnek eğriler olarak bir yönü sadece çerçevelerden diğer yönü perde ve çerçevelerden oluşan Tip-10419 (5 kat) ile her iki yönü perde ve çerçevelerden oluşan Tip-10816 nolu okul binalarına ait kapasite eğrileri Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Şekillerde düşey ve yatay eksen, taban kesme ve çatı katı yer değiştirmesi yerine, taban kesme kuvveti sismik ağırlık, çatı katı yer değiştirmesi de bina yüksekliği ile normalize edilmiştir.

10419 (5kat) tip projesinin  $x$ - yönünde beton sınıfının kötü (10 MPa), etriye aralığının da seyrek olduğu (250 mm) BS10-S250 durumunda orta aks ikinci kat kolonlarında kesme kırılmasına rastlanmakta ve yatay yük taşıma kapasitesinde ciddi kayıp meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu durumda deplasman kapasitesi diğerlerine göre oldukça düşük seviyede kalmaktadır (Şekil 3). Kolonların uzun yönlerinin daha çok binanın kısa yönünde yerleştirilmesi ve ikinci katta kolon boyutlarında küçültme yapılması yapının  $x$ - yönündeki kapasiteleri üzerinde olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bununla birlikte  $y$ - yönünde, perdelerin yerleştirildiği kısa doğrultuda perdelerin davranış üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle yatay dayanım ve deplasman kapasitesi daha yüksektir. Bu yapı tipi için kolonların uzun yönlerinin binanın kısa yönünde yerleştirilmesi ve ikinci kata geçişte kolon boyutlarında küçültme yapılması yapının  $x$ - yönündeki kapasiteleri üzerinde olumsuzluklara sebep olmuştur.



Şekil 3. 10419 (5 kat) tip nolu okul binasına ait değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için kapasite eğrileri



Şekil 4. 10816 tip nolu okul binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için kapasite eğrileri

Şekil 4'te 10816 tip numaralı projenin kapasite eğrileri görülmektedir. Her iki doğrultuda da perdeli-çerçeveseli taşıyıcı sisteme sahip bu yapıda x- ve y- doğrultularında sırasıyla zemin kat alanının % 0.50 ve % 1.02 si kadar perde duvar kullanılmıştır. Yapı her iki yönde de perdeli olmasına rağmen diğer okul binalarına göre yatay yük taşıma kapasitesi oldukça düşüktür. Bu durum yapının diğer okul binalarına göre sismik ağırlığının fazla olmasıyla açıklanabilir. 5 katlı ve 24 sınıflı olan bu binada hareketli yük bina toplam ağırlığını oldukça artırmıştır. Her iki yönde de beton dayanımının yerdeğiştirme kapasitesi üzerindeki etkisi sınırlı olup, enine donatı miktarının artmasıyla yerdeğiştirme kapasitesi artmaktadır.

## OKUL YAPILARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

2007 Deprem Yönetmeliği'ne (DBYBHY-2007, 2007) göre binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Bunlar; Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçmenin Önlenmesi (GÖ) ve Göçme durumlarıdır.

Artımsal itme analizi sonuçları ile 2007 Deprem Yönetmeliği'nde verilen performans kriterleri kullanılarak her bir bina için tanımları yapılan performans seviyelerine karşılık gelen deplasman kapasiteleri elde edilmiştir. DBYBHY-2007'de tanımlanan performans seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Deplasman kapasitesi olarak çatı katı deplasmanı kullanılmış ve bu deplasmanın bina yüksekliği ile normalize edilmiş değerleri Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3'ün dikkatlice incelenmesinden, özellikle beton kalitesinin düşük ve etriye aralığının seyrek olduğu yapılarda kolon elemanlarda meydana gelen kesme kırılmalarından dolayı, CG ve GÖ performans seviyelerindeki deplasman kapasiteleri oldukça düşük kalmaktadır. Yine perdeli bazı binalarda beklenen deplasman kapasitelerine erişilememiştir. Bunun en belirgin sebebi, 1975 Afet Yönetmeliğine göre tasarlanan perdelerde uç bölgesi oluşturulmaması nedeniyle dönme kapasitelerinin yetersiz kalmasıdır.

Tablo 2. Yönetmelik performans kriterleri ve tanımları (DBYBHY-2007, 2007)

Performans Seviyesi	Performans Kriterleri
Hemen Kullanım (HK)	1. Kirişlerin en fazla %10'u MN-GV aralığında olmalıdır. 2. Hiç bir düşey taşıyıcı eleman MN seviyesini geçmemelidir. 3. Hiç bir kiriş eleman GV seviyesini geçmemelidir. 4. Kat görelî ötelenmesi %0.8 değerini aşmamalıdır.
Can Güvenliği (CG)	1. Kirişlerin en fazla %20'si GV-GÇ aralığını geçebilir. 2. GV-GÇ aralığında düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki kat kesmesine oranı %20'yi aşmamalıdır. Bu oran çatı katında %40'ı geçmemelidir. 3. Her iki ucu akmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 4. Kat görelî ötelenmesi %2 değerini aşmamalıdır.
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	1. Kirişlerin en fazla %20'si GÇ'yi geçebilmektedir. 2. GÇ'yi geçmiş düşey taşıyıcıların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %20'sini aşmamalıdır. Bu oran çatı katında en fazla %40 olabilir. 3. Her iki ucu akmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 4. Kat görelî ötelenmesi %3 değerini aşmamalıdır.
Göçme Durumu	Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

Tablo 3. Okul yapılarının değişik performans seviyelerindeki deplasman kapasiteleri

Tip No	Beton Sınıfı ve Etriye Aralığı	X-yönü			Y-yönü		
		HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
		$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$
Tip-10370	C10-S150	0.15	0.56	1.16	0.20	0.44	1.40
	C10-S250	0.14	0.52	1.11	0.13	0.43	1.16
	C16-S150	0.31	0.61	1.16	0.20	0.46	1.77
	C16-S250	0.16	0.57	1.11	0.17	0.45	1.74
Tip-10419(4)	C10-S150	0.16	0.40	0.70	0.16	0.47	0.51
	C10-S250	0.16	0.19	0.22	0.14	0.36	0.39
	C16-S150	0.19	0.52	0.90	0.23	0.55	0.82
	C16-S250	0.17	0.25	0.27	0.21	0.51	0.82
Tip-10419(5)	C10-S150	0.29	0.39	0.43	0.28	0.43	0.52
	C10-S250	0.21	0.23	0.23	0.24	0.38	0.38
	C16-S150	0.31	0.73	0.94	0.31	0.45	0.82
	C16-S250	0.29	0.38	0.40	0.28	0.43	0.81
Tip-735-A	C10-S150	0.16	0.27	0.41	0.13	0.25	0.75
	C10-S250	0.16	0.25	0.33	0.13	0.22	0.75
	C16-S150	0.25	0.50	0.69	0.17	0.30	0.80
	C16-S250	0.25	0.41	0.69	0.13	0.25	0.80
Tip-735-B	C10-S150	0.15	0.32	0.38	0.16	0.41	0.74
	C10-S250	0.11	0.11	0.14	0.16	0.27	0.36
	C16-S150	0.22	0.42	0.60	0.21	0.50	0.86
	C16-S250	0.12	0.13	0.16	0.20	0.45	0.84
Tip-10816	C10-S150	0.21	0.38	0.78	0.13	0.34	0.41
	C10-S250	0.17	0.25	0.31	0.13	0.17	0.38
	C16-S150	0.22	0.43	1.14	0.13	0.36	0.52
	C16-S250	0.21	0.30	0.35	0.13	0.20	0.47

Tablo 3'de verilen değerlerin anlamlı hale gelmesi için yapılacak karşılaştırmalı bir performans değerlendirmesinde, kapasite ile talep değerleri kıyaslanmıştır. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde okul binaları için tasarım depreminde Hemen Kullanım (HK) ve maksimum olası depreminde de Can Güvenliği (CG) performans düzeyleri hedeflenmektedir. Tasarım depremi yönetmelikte verilen talep spektrumu olarak alınırken, maksimum olası deprem de tasarım depreminin %50 fazlası olarak alınmıştır. Yönetmelikte tanımlanan metot ile her bir bina için doğrusal olmayan yer değiştirmeler hesaplanmış ve çatı katı deplasmanının bina yüksekliği ile bölünmesiyle elde edilen

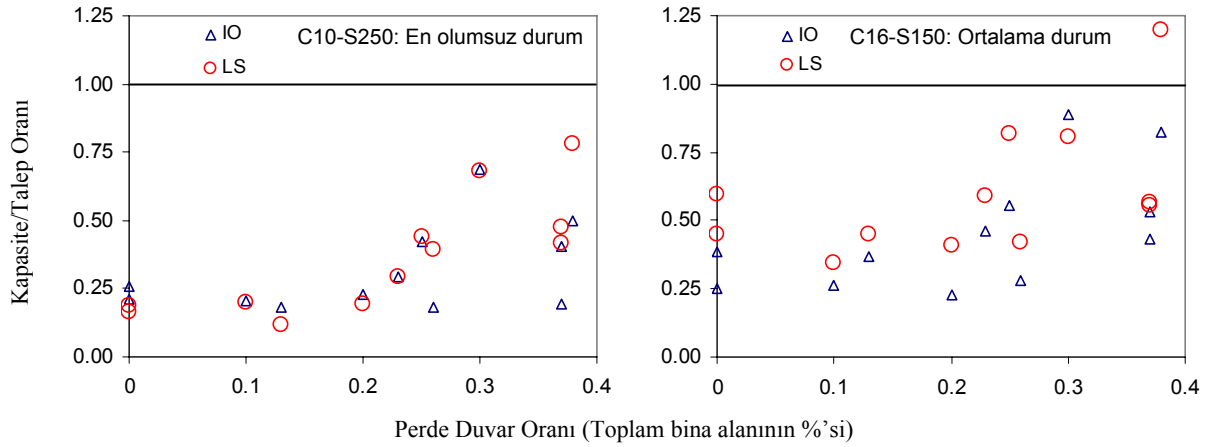


değerler Tablo 4’te verilmiştir. Okul binalarının yeterli kapasitelerinin olup olmadığını belirlemek için Tablo 3’te verilen kapasite ve Tablo 4’te verilen talep değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Okul yapılarının, yönetmelikte hedeflenen performans seviyelerindeki deplasman istemleri

Tip	Uzun (x) Yön		Kısa (y) Yön	
	(HK)	(CG)	(HK)	(CG)
	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$
Tip-10370	0.72	1.11	0.72	1.11
Tip-10419(4)	0.76	1.15	0.28	0.46
Tip-10419(5)	0.81	1.22	0.35	0.56
Tip-735-A	0.54	0.85	0.32	0.53
Tip-735-B	0.60	0.93	0.38	0.61
Tip-10816	0.83	1.24	0.57	0.88

Deplasman talepleri DBYBHY-2007’de verilen “Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Sistem” yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5’de HK ve CG seviyelerinde en olumsuz durum (C10-S250) ve ortalama durum (C16-S150) için deplasman kapasitesi/talep oranları perde duvar alanına (toplam bina alanının %’si) göre karşılaştırılmıştır. Yeterli kapasitenin olabilmesi için “Kapasite/Talep” oranınının 1.0’e eşit veya büyük olması gerekir. Ancak, Şekil 5’ten de görüleceği üzere, 1975 Afet Yönetmeliği’ne göre projelendirilen okul yapılarından biri hariç diğerleri yeterli performansı sağlamaktan uzaktır. Grafikten de görüleceği üzere perde duvar oranı arttıkça yapı performansı da artmaktadır. Olumsuz ve ortalama durum arasındaki eğilim, beton kalitesi ve enine donatı miktarı iyileştiginde yapının performansının arttığıdır.



Şekil 5. HK ve CG performans seviyeleri için kapasite/talep oranının perde duvar alanına göre değişimi

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışlarını dikkate alarak, 1975 Afet Yönetmeliğine göre projelendirilmiş tip okul yapılarının sismik kapasiteleri değerlendirilmiştir. Performans değerlendirmesi yapılan okul yapıları Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 1. derece deprem bölgelerinde yaygın olarak kullandığı 10370, 10419(4 kat), 10419(5 kat), 10735-A, 10735-B ve 10816 nolu tip projelerden oluşmaktadır. Her bir okul yapısına ait kapasite eğrileri her iki asal yön için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu projelerin incelenmesinde DBYBHY-2007’ye eklenen “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” bölümünde yer alan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ve deprem performansının belirlenmesi ilkeleri kullanılmıştır. Okulların farklı performans seviyelerindeki deplasman kapasiteleri ve zayıf noktaları ile ilgili bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- Okul yapılarının beton dayanımın, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Ege Bölgesi illerinde incelenen kamu binalarına ait karot ve test çekici okumaları esas alınarak, C10 (10 MPa) ve C16 (16 MPa) sınıfları ile temsil edilebileceği kabul edilmiştir. İncelenen kamu yapılarında açılan elemanlarda gözlenen etriye aralıklarının, zaman zaman 250 mm değerini aşmakla birlikte genel olarak 150 mm ile 250 mm arasında değiştiği gözlenmiştir.
- Deprem yüklerinin büyük bir kısmının kolonlarla karşılandığı durumlarda, beton sınıfının ve etriye aralığının deplasman kapasitesi üzerinde oldukça ciddi etkisi vardır. Beton basınç dayanımının azalması veya etriye miktarının düşmesi deplasman kapasitesini yarıya varan oranlarda düşürebilmektedir. Ortalama durum (C16-S150) ve en olumsuz durum (C10-S250) karşılaştırıldığında yatay dayanım kapasiteleri arasında belirgin fark oluşmazken, deplasman kapasiteleri arasında iki kata varan oranlarda fark oluşmaktadır.
- Deprem davranışının perdeler tarafından belirlendiği yapılarda bu çalışmada kullanılan değerler çerçevesinde beton sınıfı ve etriye aralığının deplasman kapasitesi üzerinde etkisinin sınırlı olduğu görülmüştür.
- Sargı donatısı miktarının yetersiz olduğu ve/veya beton basınç dayanımının düşük olduğu yapılarda kesme kırılmalarının kritik olabileceği gözlemlenmiştir. 10419 ve 10735 nolu tip projelerde bu tür kolon hasarlarına rastlanmıştır.
- Son yıllarda ülkemizin yaşadığı depremlerde okul yapılarının maruz kaldığı hasarlar bu çalışmadaki analitik bulguları desteklemektedir. Özellikle beton kalitesi ve enine donatı aralığının yetersiz olduğu durumlarda oluşan keme kırılmaları, gelecekte oluşacak olası bir depremde bu malzeme grubundaki okul yapılarını tehdit etmektedir.
- 2007 Deprem Yönetmeliği'nde okul binaları için tasarım depreminde Hemen Kullanım (HK) ve maksimum olası depremde de Can Güvenliği (CG) performans düzeyleri hedeflenmektedir. Analizi yapılan okul binaları bu performans hedeflerini yakalamaktan oldukça uzaktır.
- Perde davranışının hakim olduğu yapıların kapasite eğrilerinde yanal yük dayanımının büyük bir kısmını perdeler oluşturduğundan, kolonlarda meydana gelen lokal göçmeler eğri üzerinde belirgin olarak görülebilmektedir. Lokal kolon göçmeleri adım adım mafsallı durumlarının incelenmesiyle görülebilmektedir. Üzerinde nispeten yüksek düzey yüklerin bulunduğu orta aks kolonlarında meydana gelebilecek lokal göçmeler stabilite sorunu oluşturabilir.
- Malzeme kalitesi arttıkça yapı performansı artmaktadır. Farklı performans seviyelerinde, beton kalitesi ve etriye aralığının HK seviyesi üzerinde etkisi sınırlıyken, CG ve GÖ performans düzeylerinde etkisi belirgindir.
- Okul yapılarının özelliklerine bakıldığında genellikle dikdörtgen şeklinde olup tüm veya çoğu kolonun uzun boyutunun yapının kısa yönünde olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan analizler sonucunda bu uygulamanın oldukça yanlış olduğu görülmüştür. Bu şekilde yapılan binaların uzun yönlerine gelen yatay yükler altında kolonların kısa tarafı çalışmaktadır. Bir yönde düşük moment kapasitesine sahip kolonlar girişlerden önce mafsallaşarak zayıf kolon-kuvvetli giriş mekanizmasında yol açmaktadır. Bu sebeple yapıların uzun yöndeki süneklik değerleri düşük olmaktadır. Ayrıca uzun yönün daha iyi kapasiteye sahip olacağı yanlışlığıyla bu yönlerde perde konulmamaktadır.
- 1975 Afet Yönetmeliği'ne (ABYYHY-1975) göre tasarlanan binalarda öngörülen düşük yatay dayanım nedeniyle büyük deplasman istemleri oluşması söz konusudur. Bu yapıların özellikle etriye aralığının yetersiz olduğu durumlarda öngörülen güvenlik seviyelerini karşılayamama riskleri oldukça yüksektir.
- Ara kat mekanizması oluşmasını tetikleyen katlar arası kolon boyutlarının ani küçültülmesinin dayanım ve deplasman kapasiteleri üzerinde olumsuz etkileri vardır. Özellikle beton dayanımının düşük ve etriye aralığının fazla olduğu durumlarda 10419 nolu projede bu tür hasarlara rastlanmıştır.
- Yapılan analizler sonucunda incelenen okul binalarının hiçbiri, 2007 Afet Yönetmeliği'nin öngördüğü Hemen Kullanım ve Can Güvenliği performans seviyelerini sağlamamaktadır.

- 10419 nolu tip projenin 4 ve 5 katlı modellerinde her iki yönde de ciddi yetersizlikler mevcuttur. Perdesiz yöndeki (x-) deprem istemlerinin yüksek olması nedeniyle bu yöndeki yetersiz eleman sayısı oldukça fazladır.
- İncelenen okul binalarının değerlendirmesi sonucunda göze çarpan diğer bir husus da, perdeleri bağlayan bağ kirişlerinin normal kat kirişlerinden farklı olarak bina performansı üzerinde daha belirgin etkisi olmasıdır. Özellikle büyük perdeleri bağlayan bağ kirişlerinin göçmesi (10419 ve 10816 nolu tip projede olduğu gibi) sonucu perdeler arasında oluşan kuvvet çifti ortadan kalkar ve binanın moment taşıma kapasitesinde önemli düşüşler yaşanabilir. Bu nedenle Afet Yönetmeliğinde “Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi” bölümünde kirişlerle ilgili hasar tanımları yapılırken bağ kirişlerine özel önem verilmesi düşünülebilir.
- Perde oranı yüksek olan binalarda deprem isteminin düşmesiyle eleman deformasyon istemleri azalmaktadır. Böylelikle uygun olmayan malzeme ve etriye aralığının yol açtığı deformasyon kapasitesi yetersizliklerinin, perdelerin sağladığı dayanım fazlalığı ile telafi edilmesi mümkündür.

### Teşekkür

Bu çalışma kısmi olarak TÜBİTAK Proje No. 105M024 ve Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri 2006MHF 007 nolu proje ile desteklenmektedir.

### KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975, (ABYYHY-1975).  
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998, (ABYYHY-1998).  
 ATC-40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Vol 1. Washington, DC. USA.  
 Bağcı G, Yatman A, Özdemir S, Altın N (2003) “Destructive earthquakes in Turkey, <http://www.deprem.gov.tr/reports.html>”.  
 CSI, SAP2000 V-8 (2002) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Basic Analysis.  
Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007 (DBYBHY-2007).  
 FEMA-356 (2000). Prestandart and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared by American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency, Washington, D.C.  
 FEMA-440 (2005) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by ATC for American Society of Civil Engineers for Federal Emergency, Washington, D.C.  
 Kaplan H vd. (2003-2007) Aydın, Denizli ve Muğla illerinde bulunan kamu binalarına ait Depremsellik İnceleme Raporları, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli.  
 Krawinkler H, Seneviratna GDPK (1998) “Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation”, *Engineering Structures*, 20 (4-6); 452-464.  
 Lupoi G., Calvi GM, Lupoi A, Pinto PE (2004) “Comparison of Different Approaches for Seismic Assessment of Existing Buildings”, *Journal of Earthquake Engineering*, 8 (Special Issue 1): 121-160.  
 Mander JB, Priestley MJN, Park R (1988) “Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, pp.1804-1826  
 Priestley MJN (2000) “Performance Based Seismic Design. Proceedings”, *12 th World Conference on Earthquake. Engineering*, New Zealand, Paper No: 2831.  
 Priestley MJN, Seible F, Calvi GMS (1996) Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York.  
 Sezen H, Whittaker A, Elwood KJ, Mosalam KM (2003) “Performance of Reinforced Concrete Building During the August 17 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practice in Turkey”, *Engineering Structures*, 25: 103-114  
 TS 498 (1987) Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, Ankara.  
 TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.  
 Vision 2000 (1995) Soulages J, ed. Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Sacramento, CA, 2 vols, April 3.

