

MEVCUT KAMU YAPILARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Mehmet İNEL*, Hüseyin BİLGİN**, Hayri Baytan ÖZMEN***

1. Giriş

Yaşadığımız son depremlerde oluşan ekonomik zarar ve can kayıpları, yapılarımızın mevcut durumlarının değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [1, 2]. Mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümü 1975-1998 yılları arasında yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-75) [3] esas alınarak yapılmıştır. Dolayısıyla 1998 yılında yürürlüğe giren ABYYHY-98 [4] tarafından tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip değildir. Yönetmelikte meydana gelen değişikliklerle yapılar için öngörülen deprem miktarı önemli ölçüde artmış ve betonarme binaların sünekliğini sağlayacak şartlar getirmiştir. Mevcut binalarda yönetmelik değişikliğinin yanı sıra, proje ile uygulama arasında beton kalitesi, donatı miktarı ve detaylandırılma farklılıkları bulunması olası depremlerde meydana gelecek hasarları artırıcı nedenler arasındadır.

Fonksiyonları ve deprem sonrası muhtemel kullanımları gözönüne 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 sınıflandırılmasına gidilebilir. Bu çalışmada, Bayındırlık ve İskan Bakanlığının okul ve hastane binalarında yaygın olarak kullandığı tip projelerden 10370, 10419 (4 ve 5 katlı olmak üzere iki tip), 10735 (A ve B blok), 10816 tip nolu okul ile 11276 (A ve B blok) ve 11187 tip nolu hastane projeleri seçilmiş, doğrusal olmayan modelleme teknikleri kullanılarak deprem kapasiteleri değerlendirilmiştir.

Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Denizli

* minel@pau.edu.tr

** huseyinbilgin@gmail.com

*** hozmen@pau.edu.tr

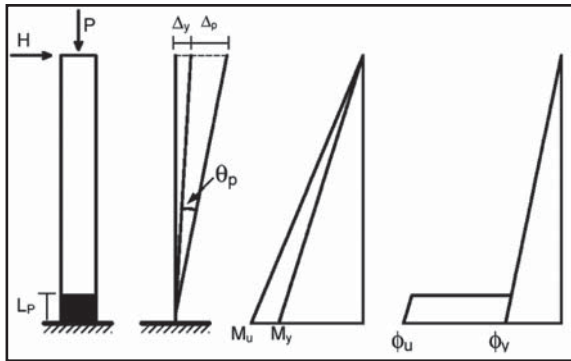
İnşaat mühendisliği alanında son yıllardaki ilerlemeler en önemlisi klasik kuvvet esaslı tasarım yaklaşımı yerine deplasman parametrelerinin öncelikli olarak dikkate alındığı Performans Esaslı Deprem Mühendisliği (PEDM) yaklaşımıdır [5-10]. Mevcut ve/veya yeni binaların deplasman esaslı değerlendirilmesi 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, bunlar arasında da en popüler olan artımsal itme analizi (İngilizce’de “pushover analysis” olarak bilinen) yaygın olarak kullanılmaktadır [6, 7]. Dünyadaki gelişmelere paralel olarak Afet Yönetmeliğimize mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için yeni bir bölüm eklenmiş ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik [11] olarak yürürlüğe girmiştir. Bu makaledeki çalışmanın eklenen yeni bölümde bahsedilen “Artımsal İtme Analizi”nin uygulama örneği olması nedeniyle yararlı olacağı düşünülmektedir. Tip projeli binalarının deprem güvenlikleri, yeni yönetmelikte verilen deprem etkileri ve performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir.

2. Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Yöntem

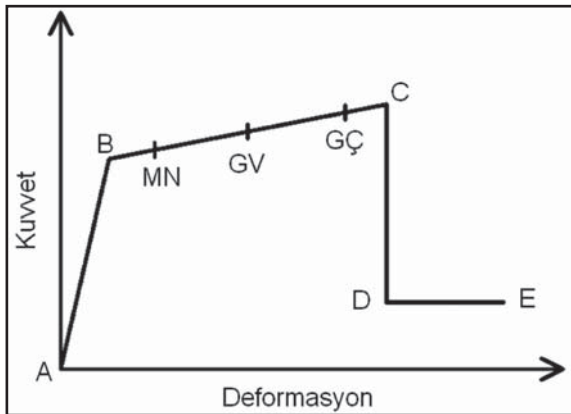
Bu çalışmanın amacı kamu yapılarında yaygın kullanılan 10370, 10419 (4 ve 5 katlı), 10735 (A ve B blok), 11276 (A ve B blok) ve 11187 no’lu tip projeli binalarda uygulamada karşılaşılabilecek beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarını dikkate alarak doğrusal olmayan analizlerle performans değerlendirmesi yapmak, eksikleri belirleyip çözüm önerileri sunmaktır. Doğrusal olmayan davranış, uygulama ve araştırma çevrelerinde yaygın olarak kullanılan ve son yayınlanan 2007 Deprem Yönetmeliğimizde de yer verilen artımsal itme analizi ile ifade edilmiştir.

Kamu yapılarının beton basınç dayanımları ve etriyelerin 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.

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 ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılabilir. Eğilme davranışının hakim olmasından dolayı bu bölge plastik mafsallık bölgesi ve boyu da *plastik mafsallık boyu* (L_p) olarak adlandırılır. Yığılı plastik davranış karakterize eden plastik mafsallık, bu bölgenin tam ortasında noktasal



Şekil 1 - Yığılı Plastik Davranış Hipotezi



Şekil 2 - Tipik Bir Eleman İçin Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deformasyon İlişkisi

bir eleman olarak idealleştirilebilir. Tipik bir elemanın doğrusal olmayan davranışı Şekil 2’de gösterilen kuvvet-deformasyon eğrisi ile ifade edilebilir [11-13]. 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.

Artımsal itme analizi için oluşturulan modellerde 2007 Deprem Yönetmeliği, FEMA-356 ve ATC-40 dokümanlarından faydalanılmıştır [11-13]. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [14]. SAP2000’de kolay olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilen otomatik mafsallık yerine, her bir eleman için oluşturulacak kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiş ve plastik mafsallık özellikleri; eleman boyutları, boyuna donatı ve sargı donatısı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, birçok model arasından yaygın olarak kullanılan Mander beton modeli ile yapılmıştır [15]. Artımsal itme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve lineer dinamik analizden elde edilen mod şekliyle (x- ve y- yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır.

Analizler sonucunda binalara ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Mevcut binaların deprem güvenliği, 2007 Deprem Yönetmeliği düzeyleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca binaların genel davranış üzerinde durulmuş ve kat mekanizmaları, kesme kırılmaları gibi davranışların oluşup oluşmadığı irdelenmiştir.

3. Tip Projelere Ait Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Özellikleri

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 BS14 ve BS18 sınıfı betonlara karşılık gelmektedir. Geçmiş depremler projede öngörülen beton sınıfının yerinde çok daha düşük olabileceğini göstermiştir. Hazır betonun kullanılmadığı dönemlerde çok farklı beton sınıflarına rastlamak mümkündür.

Pamukkale Üniversitesi tarafından Denizli, Muğla ve Aydın illerinde bulunan eğitim ve sağlık kurumlarından oluşan kamu binaları üzerinde yapılan çalış-

Tablo 1 - Tip Projelere Ait Özellikler

Proje Tipi	Kullanım Amacı	Kat Alanı (m ²)	Kat Yüksekliği (m)	Kat Sayısı	Yapı Ağırlığı (ton)	Yapı Taşıyıcı Sistemi		Perde Duvar Alanı (kat alanı %)	
						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
735.A	İlköğretim	250	3.4	4	1342	Ç + P	Ç + P	0.90	1.46
735.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
11276.A	Hastane	560	3.2	4	2944	Ç	Ç	----	----
11276.B	Hastane	350	3.2	3	1211	Ç	Ç	----	----
11187	Sağlık O	216	2.8	5	1552	Ç + P	Ç	0.60	----

malarda gözlemlenen beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarının genel yapı stokunda karşılaşılabilecek aralığı temsil ettiği düşünülmüştür [16]. Bu yapıların incelenmesi sonucunda beton basınç dayanımının 100 ile 160 kgf/cm² arası yoğunlaştığı ve eleman uçlarındaki etriye aralıklarının da 15 ile 25 cm arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmada BS10 ve BS16 beton sınıfları ile kolon ve kiriş uçlarında 15 ve 25 cm etriye aralıkları kullanılmıştır.

4. Yapıların Analitik Modellemesi

4.1. Genel

Uygulama projeleri esas alınarak SAP2000 yapısal analiz programı ile yapıların analitik modelleri üç boyutlu, kolon-perde ve kiriş elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Sisteme etkileyen yüklerin tanımlanmasında TS 498 yük yönetmeliği kullanılmıştır [17]. Kolon-kiriş birleşimleri rijit olarak modellenmiş ve üç boyutlu modelde döşeme eleman kullanılmamıştır. Bunun yerine döşeme yükleri bağlı buldukları 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 mafsallık 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 [15]. 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 mafsallık boylarının hesabında denklem (1) kullanılmıştır [18];

Denklemden L_p = plastik mafsallık boyu, L_0 = plastik mafsallık ile moment sıfır

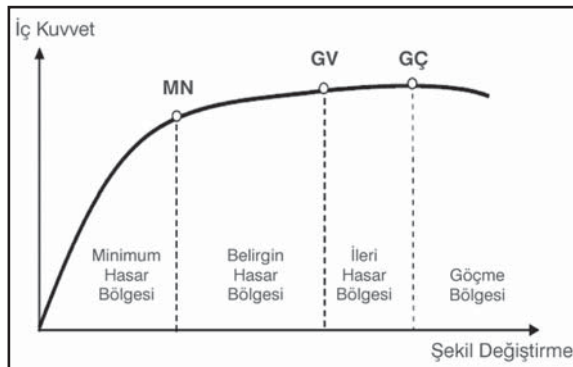
$$L_p = 0.08 L_0 + 0.022 f_{sy} d_{bl} \geq 0.044 f_{sy} d_{bl} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

noktası arası mesafe, f_{ye} = yanal donatı akma dayanımı ve d_{bl} = boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

4.2. 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 3'te 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 başlangı-



Şekil 3 - Kesit Hasar Sınırı ve Bölgeleri

cını, *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.

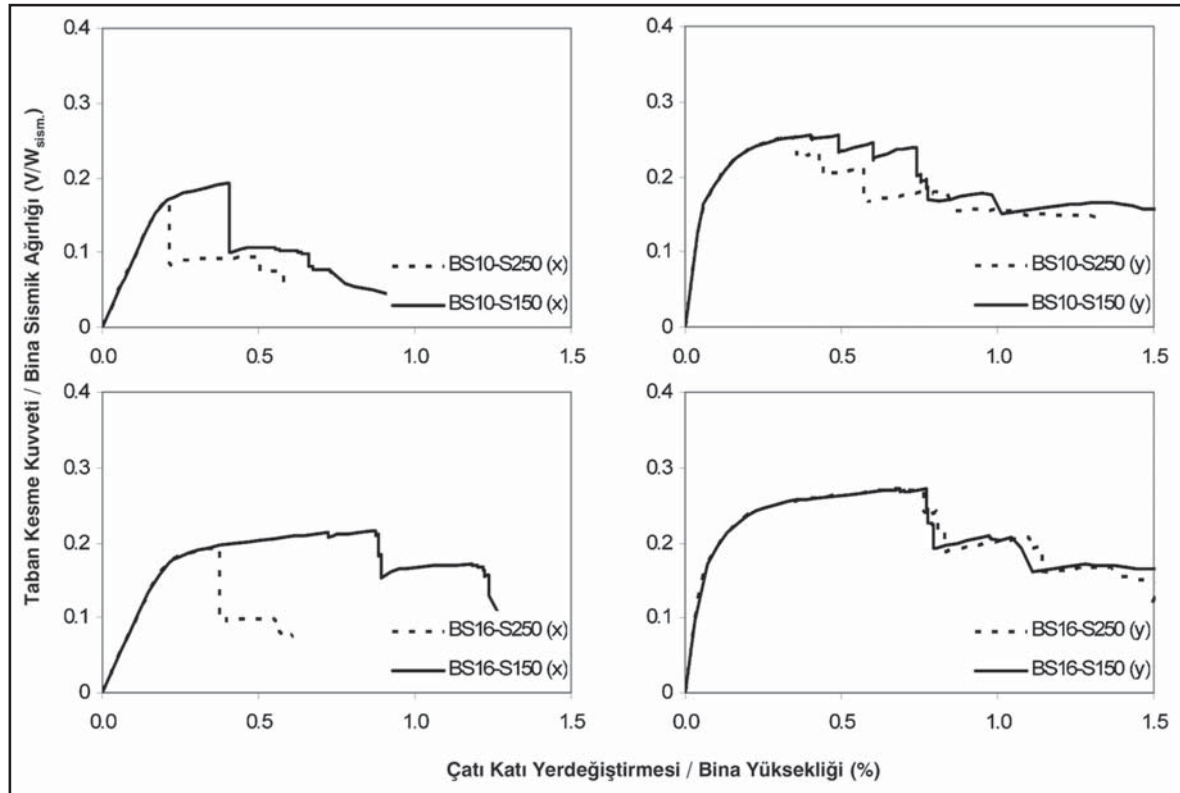
5. Artımsal İtme Analizi

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 değişiminin yapı elemanlarındaki elastik olmayan davranış özellikleri dikkate alınarak

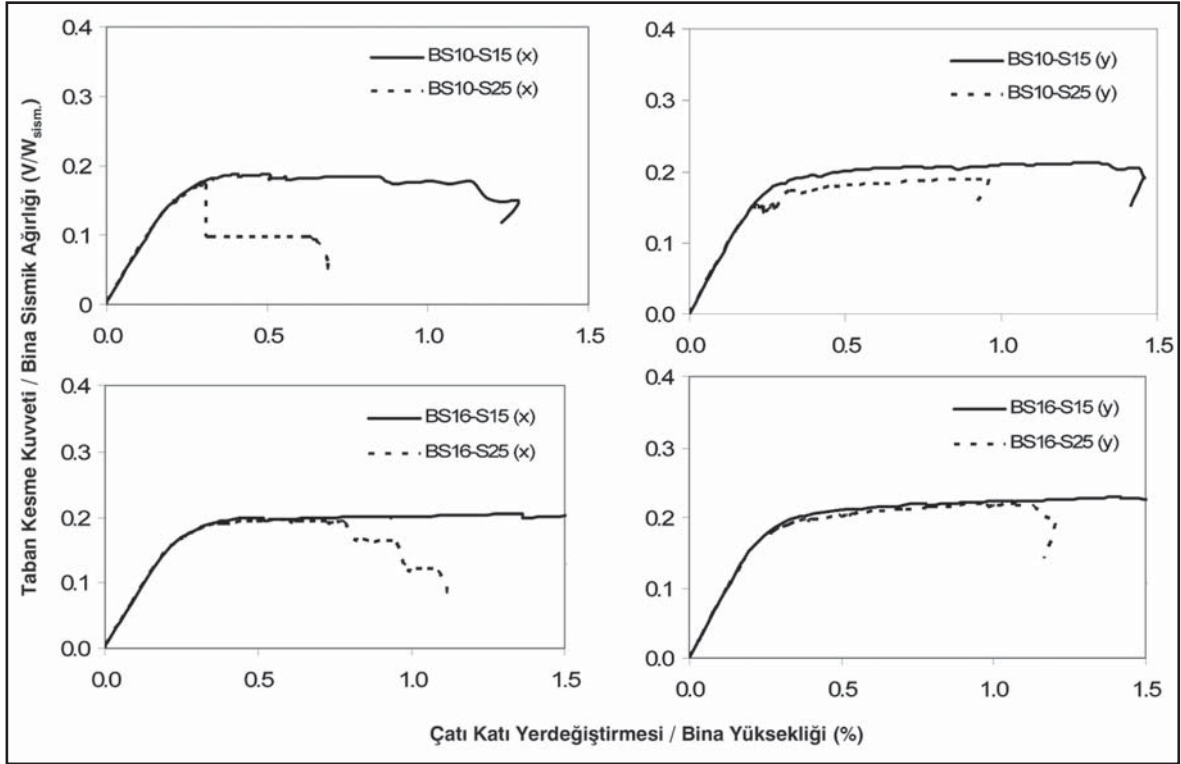
hesaplandığı ve bu hesapların belli performans seviye değerleri için tarif edildiği sayısal bir inceleme yöntemidir. Artımsal itme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesi ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle karakterize edilir. Pratikte kullanımı ve mühendisler arasında aşinalığı nedeniyle kapasite eğrisi performans değerlendirmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada ele alınan dokuz tip projeli bina farklı beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarını yansıtabilecek şekilde modellenerek artımsal itme analizine tabi tutulmuş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada incelenen yapılardan tümünün performans değerlendirmesi yapılmış ancak burada örnek eğriler olarak bir yönü sadece çerçevelerden diğer yönü perde ve çerçevelerden oluşan Tip-10419 (5) okul binası ile her iki yönü de çerçevelerden oluşan Tip-11276(A) binalarına ait kapasite eğrileri Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Şekillerde düşey ve yatay eksenin daha anlaşılır olması için taban kesme ve çatı katı yer değiştirmesi yerine, taban kesme kuvveti sismik ağırlık, çatı katı yer değiştirmesi de bina yüksekliği ile normalize edilmiştir.

10419 (5) tip projesinin x- yönünde beton sınıfının kötü, etriyenin de seyrek olduğu BS10-S25 durumunda orta aks ikinci kat kolonlarında kesme kırılmasına rastlanmakta ve yatay yük taşıma



Şekil 4 - 10419 (5) Tip Nolu Okul Binası; Değişik Beton Basınç Dayanımları ve Etriye Aralıkları İçin Kapasite Eğrileri



Şekil 5 - 11276.A1 Tip Nolu Hastane Binası; Değişik Beton Basınç Dayanımları ve Etriye Aralıkları İçin Kapasite Eğrileri

kapasitesinde büyük kayıp meydana gelmektedir. Dolayısıyla deplasman kapasitesi bu durum için diğerlerine göre oldukça düşük seviyede kalmaktadır (Şekil 4). Kolonların uzun yönlerinin daha çok binanın kısa yönünde yerleştirilmesi ve ikinci kata geçişte 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.

11276-A tip no'lu yapının taşıyıcı sistemi her iki yönde de çerçevelerden teşkil edilmiştir. Kapasite eğrileri incelendiğinde, x- yönünde beton sınıfının kötü etriye aralığının da seyrek olduğu BS10-S25 durumunda ikinci kat kolonlarında kesme kırılmasına rastlanmakta ve yatay yük taşıma kapasitesinde büyük kayıp meydana gelmektedir (Şekil 5). Bu binada da 10419'da olduğu gibi kolonların uzun yönlerinin daha çok binanın kısa yönünde yerleştirilmesi ve ikinci kata geçişte kolon boyutlarında küçültme yapılmasından kaynaklanan olumsuz etkiler gözlenmektedir. Bununla birlikte,

y- yönünde BS10-S25 durumunda ikinci kat kolonlarında yumuşak kat oluşumu söz konusudur.

6. Bina Performanslarının Değerlendirilmesi

Deprem Yönetmeliği 2007'ye 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. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda; tanımlanan performans seviyeleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

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. Deplasman kapasitesi olarak çatı katı deplasmanı kullanılmış ve bu deplasmanın bina yüksekliği ile normalize edilmiş değerleri Tablo 3'te verilmektedir.

2007 Deprem Yönetmeliği'nde okul ve hastane binaları için tasarım depreminde Hemen Kullanım (HK) ve maksimum olası depremden de Can Güvenliği (CG) performans düzeyleri hedeflenmektedir. Yönetmelikte tanımlanan metod ile her bir bina için doğrusal olmayan yer değiştirmeler hesaplan-

Tablo 2 - Afet Yönetmeliği 2007'ye Göre Performans Kriterleri ve Tanımları

Performans Seviyesi	Performans Kriterleri
Hemen Kullanım (HK)	<ol style="list-style-type: none"> 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)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kirişlerin en fazla % 20'si GV-GÇ aralığında olmalıdır. 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 birden MN seviyesini aşmış düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin % 30'unu aşmamalıdır. 4. Kat görelî ötelenmesi % 2 değerini aşmamalıdır. 5. Hiçbir düşey taşıyıcı eleman GÇ seviyesini geçmemelidir.
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kirişlerin en fazla % 20'si GÇ seviyesini 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 birden GV seviyesini aşmış 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.

mış ve çatı katı deplasmanının bina yüksekliği ile bölünmesiyle elde edilen değerler Tablo 4'te verilmiştir. Talepler, kapasitelere göre oldukça yüksek kalmaktadır.

7. Genel Deđerlendirme ve Sonuçlar

Kamu binaların değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarla katkıda bulunmak amacıyla Bayındırlık ve İskân Bakanlığının 1. derece deprem bölgelerinde yaygın olarak kullandığı 10370, 10419(4), 10419(5), 10735.A, 10735.B, 10816, 11276.A, 11276.B ve 11187 nolu tip projeler incelenmiştir. 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. Binaların değerlik performans seviyelerindeki deplasman kapasiteleri ve zayıf noktaları ile ilgili bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- Kamu yapılarının beton dayanımının, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Aydın, Denizli ve Muğla illerinde incelenen kamu binalarına ait karot ve test çekici okumaları esas alınarak, BS10 ve BS16 sınıfları ile temsil edilebileceği kabul edilmiştir. İncelenen kamu yapılarında açılan elemanlarda gözlenen etriye aralıklarının, zaman zaman 25 cm değerini aşmakla birlikte genel olarak 15 cm ile 25 cm arasında değiştii

gözlenmiştir.

- Deprem davranışının perdeler tarafından belirlendiği yapılarda bu çalışmada kullanılan değerler çerçevesinde beton sınıfı ve etriye aralığının deplasman kapasitesi üzerinde etkisinin sınırlı olduğu görülmüştür.
- Perde davranışının hakim olduğu yapıların kapasite eğrilerinde yanal yük dayanımının büyük bir kısmını perdeler oluşturduğundan, kolonlarda meydana gelen lokal göçmeler eğri üzerinde belirgin olarak görülememektedir. Lokal kolon göçmeleri adım adım mafsallıklarının incelenmesiyle görülebilmektedir. Üzerinde nispeten yüksek düşey yüklerin bulunduğu orta aks kolonlarında meydana gelebilecek lokal göçmeler stabilite sorunu oluşturabilir.
- Sargı donatısı miktarının yetersiz olduğu ve/veya beton basınç dayanımının düşük olduğu yapılarda kesme yenilmelerinin kritik olabileceği gözlemlenmiştir. 10419, 11276 ve 10735 nolu tip projelerde bu tür kolon hasarlarına rastlanmıştır.
- Deprem yüklerinin büyük bir kısmını kolonların karşıladığı 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.

- ABYYHY 75'e 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.
- Kamu yapılarının özelliklerine bakıldığında genellikle dikdörtgen şeklinde olup tüm veya çoğu kolonun uzun boyutunun yapının kısa yönünde olduğu dikkat çekmektedir. Bu duruma sadece bu çalışmadaki tip projelerde değil, Pamukkale Üniversitesi tarafından incelenen diğer birçok kamu yapısında da rastlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda bu uygulamanın oldukça yanlış olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde yapılan binaların uzun yönlerine gelen yatay yükler altında kolonların kısa tarafı çalışmaktadır. Bu yönde düşük moment kapasitesine sahip kolonlar kirişlerden önce mafsallaşarak zayıf kolon-kuvvetli kiriş mekanizmasında yol açmaktadır. Bu sebeple yapıların uzun yöndeki süneklik değerleri düşük olmaktadır. Ayrıca uzun yönün daha iyi kapasiteye sahip olacağı yanlışlığıyla bu yönlerde konulmamaktadır.
- Yapılan analizler sonucunda incelenen okul ve hastane binalarının hiçbirisi, 2007 Afet Yönetmeliği'nin öngördüğü HK ve CG performans seviyelerini sağlamamaktadır.
- 10419 nolu tip projenin 4 ve 5 katlı modellerinde her iki yönde de ciddi yetersizlikler mevcuttur. Perdeleriz yöndeki (x-) deprem istemlerinin yüksek olması nedeniyle bu yöndeki yetersiz eleman sayısı oldukça fazladır.
- 11276'nın özellikle A blokta her iki yönde de ciddi yetersizlikler mevcuttur. İki bloğun da her iki yönde çerçevesiz taşıyıcı sisteme sahip olması ve yatay dayanımının düşük olması nedeniyle yetersiz eleman sayısı oldukça fazladır. B blok da, kolonların uzun yönlerinin daha çok y- yönünde yerleştirilmesi binanın x- yönünde zayıf kolon kuvvetli kiriş davranışına sebep olmuştur. Kolonların güçlü yönlerinin y- yönünde olması bu yöndeki dayanım ve deplasman kapasitesinin x- 'e göre nispeten iyi olmasını sağlamıştır.
- İncelenen okul ve hastane binalarının değerlendirilmesi 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

Tablo 3 - Tip Projelerin HK, CG ve GÖ Performans Seviyelerindeki Deplasman Kapasiteleri

Tip No	Beton Sınıfı ve Etriye Aralığı	X-yönü			Y-yönü		
		HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
		$\frac{\Delta_{\text{çatı}}}{H_{\text{bina}}}$	$\frac{\Delta_{\text{çatı}}}{H_{\text{bina}}}$	$\frac{\Delta_{\text{çatı}}}{H_{\text{bina}}}$	$\frac{\Delta_{\text{çatı}}}{H_{\text{bina}}}$	$\frac{\Delta_{\text{çatı}}}{H_{\text{bina}}}$	$\frac{\Delta_{\text{çatı}}}{H_{\text{bina}}}$
Tip-10370	BS10-S150	0.15	0.56	1.16	0.20	0.44	1.40
	BS10-S250	0.14	0.52	1.11	0.13	0.43	1.16
	BS16-S150	0.31	0.61	1.16	0.20	0.46	1.77
	BS16-S250	0.16	0.57	1.11	0.17	0.45	1.74
Tip-10419(4)	BS10-S150	0.16	0.40	0.70	0.16	0.47	0.51
	BS10-S250	0.16	0.19	0.22	0.14	0.36	0.39
	BS16-S150	0.19	0.52	0.90	0.23	0.55	0.82
	BS16-S250	0.17	0.25	0.27	0.21	0.51	0.82
Tip-10419(5)	BS10-S150	0.29	0.39	0.43	0.28	0.43	0.52
	BS10-S250	0.21	0.23	0.23	0.24	0.38	0.38
	BS16-S150	0.31	0.73	0.94	0.31	0.45	0.82
	BS16-S250	0.29	0.38	0.40	0.28	0.43	0.81
Tip-735.A	BS10-S150	0.16	0.27	0.41	0.13	0.25	0.75
	BS10-S250	0.16	0.25	0.33	0.13	0.22	0.75
	BS16-S150	0.25	0.50	0.69	0.17	0.30	0.80
	BS16-S250	0.25	0.41	0.69	0.13	0.25	0.80
Tip-735.B	BS10-S150	0.15	0.32	0.38	0.16	0.41	0.74
	BS10-S250	0.11	0.11	0.14	0.16	0.27	0.36
	BS16-S150	0.22	0.42	0.60	0.21	0.50	0.86
	BS16-S250	0.12	0.13	0.16	0.20	0.45	0.84
Tip-10816	BS10-S150	0.21	0.38	0.78	0.13	0.34	0.41
	BS10-S250	0.17	0.25	0.31	0.13	0.17	0.38
	BS16-S150	0.22	0.43	1.14	0.13	0.36	0.52
	BS16-S250	0.21	0.30	0.35	0.13	0.20	0.47
Tip-11276.A	BS10-S150	0.27	0.33	0.84	0.26	0.28	1.32
	BS10-S250	0.17	0.27	0.30	0.11	0.22	0.95
	BS16-S150	0.34	0.54	1.51	0.28	0.47	1.44
	BS16-S250	0.24	0.36	0.76	0.20	0.26	1.11
Tip-11276.B	BS10-S150	0.21	0.27	0.27	0.30	1.36	1.89
	BS10-S250	0.16	0.20	0.20	0.19	1.14	1.49
	BS16-S150	0.33	0.50	1.04	0.35	1.70	2.12
	BS16-S250	0.22	0.22	0.27	0.21	1.30	1.54
Tip-11187	BS10-S150	0.26	0.66	1.00	0.22	0.71	0.99
	BS10-S250	0.15	0.32	0.84	0.21	0.48	0.70
	BS16-S150	0.32	0.84	1.36	0.26	0.79	1.08
	BS16-S250	0.27	0.69	1.21	0.21	0.61	0.79

Tablo 4 - Tip Projelerin, Yönetmelikte Hedeflenen Performans Seviyelerindeki Deplasman Talepleri

Tip	Longitudinal (x) direction		Transverse (y) direction	
	Hemen Kullanım (HK)	Can Güvenliği (CG)	Hemen Kullanım (HK)	Can Güvenliği (CG)
	$\frac{\Delta_{çatr}}{H_{bina}}$	$\frac{\Delta_{çatr}}{H_{bina}}$	$\frac{\Delta_{çatr}}{H_{bina}}$	$\frac{\Delta_{çatr}}{H_{bina}}$
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
Tip -11276.A	0.93	1.40	0.93	1.40
Tip-11276.B	0.90	1.39	0.86	1.33
Tip-11187	0.72	1.08	0.78	1.18

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 duvar oranı yüksek olan binalarda deprem isteminin düşmesiyle eleman deformasyon talepleri azalmaktadır. Böylelikle uygun olmayan malzeme ve etriye aralığının yol açtığı deformasyon kapasitesi yetersizliklerinin, perdelerin sağladığı dayanım fazlalığı ile telafi edilmesi ihtimali bulunmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular incelenen tip projelerin 2007 Deprem Yönetmeliği'nin performans düzeylerini karşılayabilir hale getirilmesi için yapılacak güçlendirme çalışmalarında kullanılabilir. Yaygın kullanılan tip projeler üzerinde yapılacak bu tür çalışmalar aynı anda birçok binanın incelenmesine katkıda bulunacaktır.

Kaynaklar

- [1] Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N., 2003. *Destructive Earthquakes in Turkey*, <http://www.deprem.gov.tr/reports.html>.
- [2] Sezen, H., Whittaker, A., Elwood, K. J., Mosalam, K. M., 2003. *Performance of Reinforced Concrete*

Building During the August 17 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practice in Turkey. Engineering Structures; Vol. 25, pp.103-114.

- [3] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYYHY-1975).
- [4] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998 (ABYYYHY-1998).
- [5] Moehle, J. P., 1984. *Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes. Earthquake Spectra, EERI, Vol. 8, No.3, 403, 428.*
- [6] Krawinkler, H. and Seneviratna, G. D. P. K., 1998. *Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation. Engineering Structures, Vol. 20, Nos 4-6, pp. 452-464.*
- [7] Lupoi, G., Calvi, G. M., Lupoi, A., Pinto, P. E., 2004. *Comparison of Different Approaches for Seismic Assessment of Existing Buildings. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, Special Issue 1, pp. 121-160.*
- [8] Priestley, M. J. N., 1997. *Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 157-192.*
- [9] Chopra, A. K., Goel, R. K., 2001. *A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation. Pacific Earthquake Engineering Research Center.*
- [10] Priestley, M. J. N., 2000 *Performance Based Seismic Design. Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Paper No: 2831.*
- [11] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007 (DBYBHY-2007).
- [12] 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.*
- [13] ATC-40, 1996., “*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Vol 1. Washington, DC. USA.*
- [14] CSI, SAP2000 V-8, 2002. *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Basic Analysis.*
- [15] Mander, J.B., Priestley, M.J.N, Park, R., 1988. *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 114, pp.1804-1826.*
- [16] Kaplan H. ve diğ. Aydın, Denizli ve Muğla illerinde bulunan kamu binalarına ait Depremsellik İnceleme Raporları, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 2003-2007.
- [17] TS 498, 1987. *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, Ankara.*
- [18] Priestley M.J.N, Seible F, Calvi G.M.S., 1996. *Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York.*