



Kamu Yapılarının Deprem Kapasitelerinin Değerlendirilmesi

Hüseyin BİLGİN, Mehmet İNEL ve Hayri Baytan ÖZMEN
Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kınıklı/DENİZLİ

ÖZ: Ülkemizde son otuz yılı aşkın bir dönemde bir bölümü büyük afet boyutunda olmak üzere toplam on beş yıkıcı deprem yaşanmıştır. 13 Mart 1992 Erzincan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli başta olmak üzere ülkemizde yaşanan son depremler, birçok kamu binamızın, içinde çalışan insanlara deprem bakımından yeterli can güvenliği sağlamadığını göstermiştir. Son yıllarda kamu binalarının deprem risklerinin gözden geçirilerek deprem performanslarının artırılması için gerekli çalışmalar başlamıştır. Önceliklerin iyi belirlenerek, planlı ve ekonomik bir çalışmanın yapılabilmesi için her binanın tek tek incelenmesinden önce, yaygın kullanılan tip projeler üzerinde çalışmalar yapılarak proje eksiklikleri belirlenebilir. Bu çalışmada, doğrusal ötesi statik analiz ve performans dayalı yapı tasarımı yaklaşımı ilkeleriyle, seçilecek tip projeli kamu binalarına ait performans değerlendirme yapılmış, projelerin zayıf noktaları belirlenmiş ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2006'nın [DBYBHY, 2006] öngördüğü değerler ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Depreme dayanıklı yapı tasarımı, Doğrusal ötesi statik analiz, Kamu yapıları, Performans esaslı değerlendirme*

1 GİRİŞ

Yaşadığımız son depremlerde oluşan ekonomik zarar ve can kayıpları, yapılarımızın mevcut durumlarının değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [1]. Mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümü 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik [2] tarafından tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip değildir. ABYYHY-75 [3], 1998 yılında değiştirilerek yüklerin artması ve betonarme binaların sünekliğini sağlayacak şartlar öngörmesine karşın, 1998 öncesi yapılan kamu binaları olası bir deprem durumunda, içinde bulunanlara yeteri kadar can güvenliği sağlamakta zorlanmaktadır. Proje ile uygulama arasında beton kalitesi, donatı miktarı ve detaylandırılma farklılıkları bulunması bunun başlıca nedenleri arasındadır.

Fonksiyonlar ve deprem sonrası muhtemel kullanımlar gözönüne alındığında, kamu binaları (telekomünikasyon, hastane, okul, vb.), olası bir deprem 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 İskân Bakanlığının okul ve hastane binalarında kullandığı tip projelerden 10370, 10419, 10735 (A ve B blok), 11276 (A ve B blok) ve 11187 tip no'lu projeler seçilmiş, doğrusal ötesi modelleme teknikleri kullanılarak deprem kapasiteleri değerlendirilmiştir.

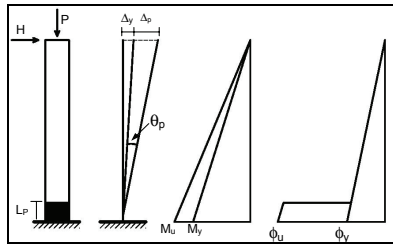
2005 yılı ortalarında taslak olarak gündeme gelen Afet Yönetmeliğine mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için yeni bir bölüm eklenmiş [4], daha sonraki ikinci çalışmada 7. bölüm olarak yayınlanmıştır; [5]. Bu makaledeki çalışmanın eklenen yeni bölümde bahsedilen "Artımsal İtme Analizi" nin uygulama örneği olması nedeniyle yararlı olacağı düşünülmektedir. Tip okul ve hastane binalarının deprem güvenliği, 2006 Afet Yönetmeliği'nde verilen deprem etkileri ve performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir.

2 ÇALIŞMANIN AMACI VE KULLANILAN YÖNTEM

Bu çalışmada kamu yapılarında yaygın kullanılan 10370, 10419, 10735 (A ve B blok), 11276 (A ve B blok) ve 11187 no'lu tip projeli binalarda uygu-

lamada karşılaşılabilecek beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları dikkate alınarak doğrusal ötesi analizlerle performans değerlendirmesini yapmak, eksikleri belirleyip çözüm önerileri sunma amaçlanmaktadır. Doğrusal ötesi davranış, uygulama ve araştırma çevrelerinde yaygın olarak kullanılan artımsal itme analizi ile ifade edilmiştir.

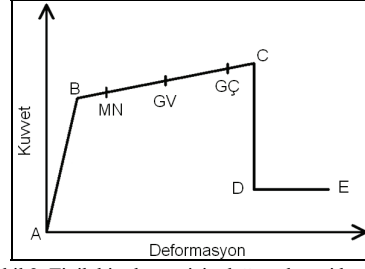
Yapıların doğrusal ötesi davranışı, her bir elemanın doğrusal ötesi davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Elemanlara ait doğrusal ötesi davranış parametreleri, "yığılı plastik davranış hipotezi" kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 1). Bu hipotez uyarınca kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılabilir. Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü 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 [6]. Bunun için SAP2000'de [7] kolay olması nedeniyle, çoğunlukla tercih edilen otomatik mafsalsal yerine, her bir eleman için oluşturulan kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiştir. Plastik mafsalsal özellikleri; eleman boyutları, boyuna donatı ve sargı donatısı oranları kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, Mander beton modeli ile yapılmıştır [8]. Eleman uçlarında eğilme, kesme ve eksenel yük ile ilgili mafsallar tanımlanmıştır.



Şekil 1. Yığılı plastik davranış hipotezi

Artımsal itme analizi için oluşturulan modellerde FEMA-356 [6] ve ATC-40 [9] dokümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [7]. Artımsal itme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve dinamik analizden elde edilen

mod şekliyle (x - ve y - yönlerinde) orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır.



Şekil 2. Tipik bir eleman için doğrusal ötesi kuvvet-deformasyon ilişkisi

Analizler sonucunda binalara ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Mevcut binaların deprem güvenliği, Afet Yönetmeliği'nde verilen deprem etkileri ve hedeflenen performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir [5]. Binaların genel davranışı üzerinde durulmuş ve kat mekanizmaları, kesme kırılmaları gibi davranışların oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir.

3 TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışmada kullanılan projelere ait geometri ve malzeme özellikleri ile dinamik analizden elde edilen tanımlayıcı özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. 10370 tip no'lu proje bir okul binasıdır. Yapının taşıyıcı sistemi, her iki yönde çerçeve ve perdelerden oluşmaktadır. Binanın uzun yönünde 25 cm kalınlığında 7.35 m uzunluğunda iki adet perde duvar yerleştirilmiştir. Kısa yönünde de, 25 cm kalınlığında 5.0 m'lik iki adet perde duvar bulunmaktadır. 10419 no'lu tip proje Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından birçok bölgede 4 ve 5 katlı olarak uygulaması yapılmış bir okul binasıdır. Okulun taşıyıcı sistemi, kısa yönde perde ve çerçevelerden, uzun yönde ise sadece çerçevelerden oluşmaktadır. Yapının kısa yönünde, dış akslarda 30 cm kalınlığında 7.35 m ve 5.85 m uzunluğunda perde duvarlar kullanılmıştır. 10735 no'lu tip proje Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yine birçok bölgede A ve B blok olarak 4 katlı uygulaması yapılmış bir okul binasıdır. Taşıyıcı sistemi, her iki yönde de perde ve çerçevelerden oluşmaktadır. A bloğun kısa yönünde, dış akslarda 30 cm kalınlığında 6.10 m. uzunluğunda ve uzun yönde de 25 cm. kalınlığında ve 4.65 m. uzunluğunda perde duvarlar kullanılmıştır. B bloğun kısa yönde, dış akslarda 30 cm kalınlığında 6.20 m. uzunluğunda ve uzun yönde de 25 cm. kalınlığında ve 4.25 m. uzunluğunda perde duvarlar kullanılmıştır. 11276 tip no'lu proje A ve B blok olarak Bayındırlık ve

İskân Bakanlığı tarafından birçok bölgede uygulanması yapılmış bir devlet hastanesi binasıdır. A blok 4 katlı, B blok 3 katlı olarak uygulanmıştır. Taşıyıcı sistemi, her iki yönde de çerçevelerden oluşmaktadır. 11187 tip no'lu proje Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından değişik bölgelerde uygulanması yapılmış il tipi sağlık ocağı binasıdır. Bina taşıyıcı sistemi x- yönünde perde ve çerçevelerden, y- yönünde sadece çerçevelerden oluşmuştur. İncelenen yapılardan tümünün performans değerlendirmesi yapılmış ancak bu çalışmada, kalıp planları Şekil 3'te gösterilen 10419 (5-katlı), 10735 (A) ve 11276 (A) no'lu tip projelerin, ayrıntılı

kapasite eğrileri verilmiş diğerlerinin ise kapasite eğrileri verilmemiştir. Ancak performans değerlendirmeleri çizelgelerde yer almaktadır.

Denizli, Muğla ve Aydın illerinde bulunan 80 kamu binasının, genel yapı stokunda karşılaşılabilecek malzeme aralığını temsil ettiği düşünülmüştür. Binalar eğitim ve sağlık kurumlarından oluşmaktadır [10]. Bu yapıların incelenmesi sonucunda en sık karşılaşılan beton basınç dayanımı ve etriye aralığı bu çalışmada kullanılmıştır. Beton sınıfı BS10 ve BS16, etriye aralıkları ise kolon ve kiriş uçlarında 15 ve 25 cm olarak göz önüne alınmıştır.

Çizelge 1. Tip Projelere ait yapısal özellikler

Projelere Ait Özellikler	10370	10419 (4)	10419(5)	10735-A	10735-B	11276-A	11276-B	11187
Kat adedi	3	4	5	4	4	4	3	5
Kat yük. (m.)	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.2	3.2	2.8
Kat alanı (m ²)	322	612.5	612.5	250	390	560	350	216
Yapı ağırlığı (ton)	1257	3323	4250	1342	1981	2944	1211	1552
Beton sınıfı	BS10 & BS16 (analizlerde kullanılan)							
Çelik sınıfı	S220							
X-yönü periyodu DTP (s)	0.12	0.54	0.69	0.37	0.42	0.55	0.43	0.53
Y-yönü periyodu DTP (s)	0.21	0.24	0.33	0.25	0.22	0.54	0.42	0.59

4 YAPILARIN ANALİTİK MODELLEMESİ

Yapıların uygulama projeleri Isparta ve Denizli Bayındırlık ve İskân Müdürlükleri arşivlerinden temin edilmiştir. Sisteme etkileyen yüklerin tanımlanmasında TS 498 yönetmeliği kullanılmıştır [11]. Bina ağırlıkları, döşeme kalınlıkları ve üzerlerine 10 cm kaplama kabulü yapılarak hesaplanmıştır.

Plastik mafsalsal özellikleri, kesitte bulunan boyuna ve enine donatı miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kolon ve kiriş elemanları için M-φ özelliklerinin hesabında Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır [8]. 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 mafsalsal boylarının hesabında (1) numaralı denklem kullanılmıştır [12];

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

(MPa)

Burada;

L_p : Plastik mafsalsal boyu,

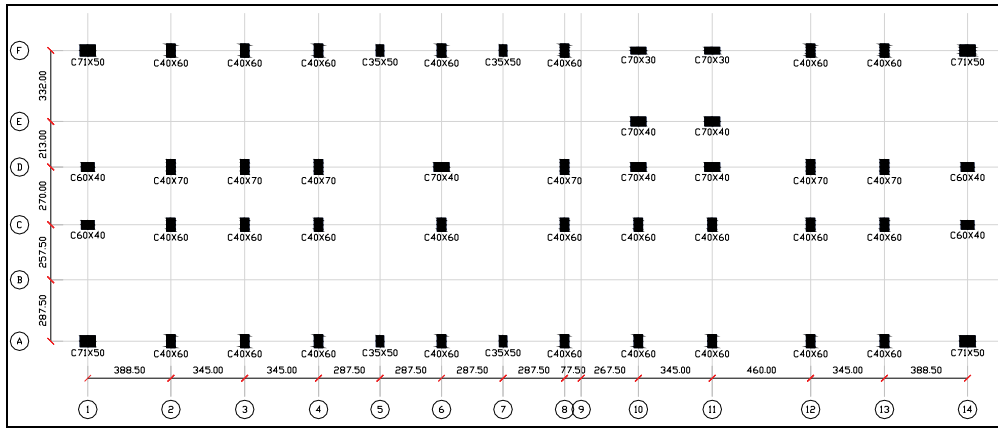
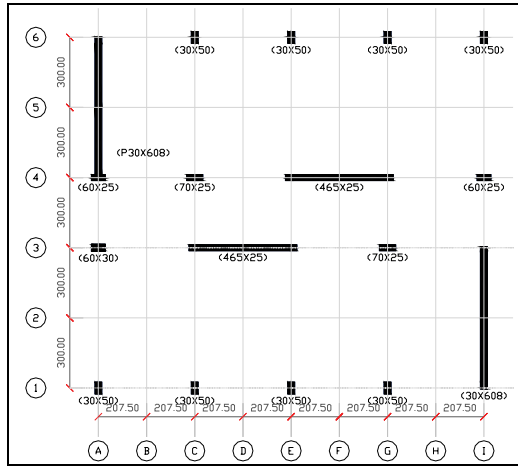
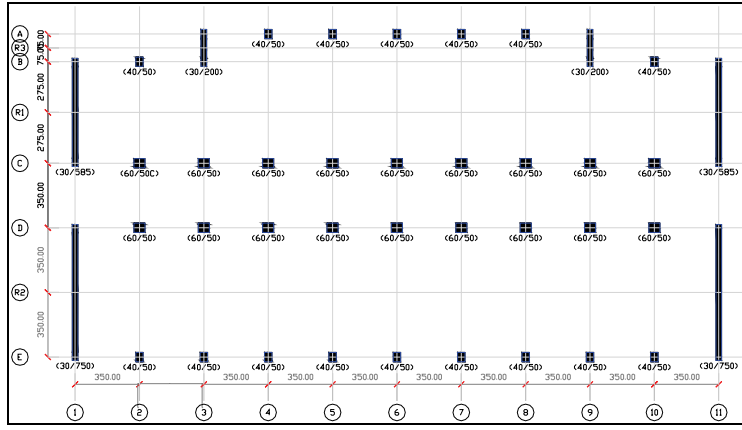
L_0 : Moment sıfır noktası-plastik mafsalsal arası mesafe,

f_{sy} : Yanal donatı akma dayanımı,

d_{bl} : Boyuna donatı çapıdır.

4.1 Moment Mafsallarının Tanımlanması

SAP2000 programında mafsallar Şekil 2'de tanımlanan kuvvet-deformasyon eğrisi üzerinde idealleştirilen beş nokta ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kolon ve kirişler için, kesitin akma noktası olan "B" noktası, M-φ grafiğinin eğiminden, "C", (dolayısıyla "D") ve "E" noktaları da beton basınç-şekil değiştirme ve çekme donatısındaki şekil değiştirme değeriyle tanımlanmıştır. Beton basınç deformasyonu (ϵ_{cu}) kriteri için, en üst çekirdek beton lifi şekil değiştirme değerinin hesaplanması için önerilen ve kabul görmüş (2) nolu formül kullanılmıştır [12]. Ayrıca beton basınç şekil değiştirme değerinin "C" noktası için, 0.02 ve "E" noktası için de, 0.03 değerini aşmaması ek kriter olarak kabul edilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlarda donatı çekme deformasyonları için iki değişik sınır dikkate alınmıştır. Kolon ve kirişlerde "C" noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekil değiştirme kapasitesinin %50'sine ($0.5\epsilon_{cu}$) ulaşmasına izin verilmiştir [13]. Her iki eleman için de, herhangi bir donatının kopması ($\epsilon_s = \epsilon_{su}$) "E" noktası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Ayrıntıları verilen tip projeli yapıların kalıp planları

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

Burada;

- ε_{cu} : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,
 ρ_s : Donatı hacimsel oranı,
 f_{yh} : Çeliğin akma dayanımı,
 ε_{su} : Donatı birim şekil değiştirmesi,
 f_{cc} : Sargılı beton basınç dayanımıdır.

Deplasman 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’ e göre hesaplanmıştır [14].

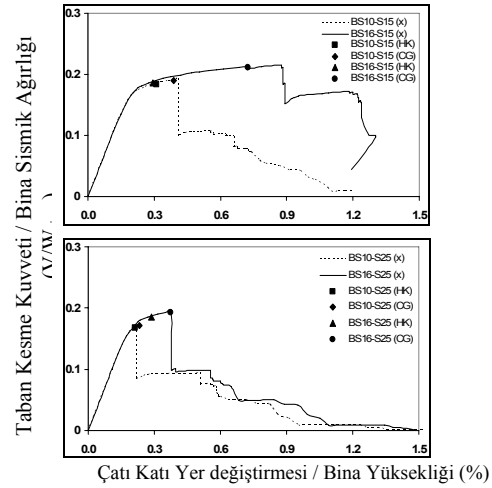
Binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında Vision 2000 esas alınarak plastik deformasyon kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilmiştir [15]. Plastik deformasyonun %10’u Minimum Hasar Sınırı (MN), %60’ı Güvenlik Sınırı (GV) 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.

5 KAPASİTE EĞRİLERİ

Yapılara ait farklı beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları dikkate alınarak elde edilen kapasite eğrileri Şekil 4-9’de 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. 2006 Deprem Yönetmeliği’nde okul ve hastane binaları için iki performans düzeyi hedeflenmiştir. Her bir durum için “can güvenliği” (CG) ve “hemen kullanım” (HK) DBYBHY 2006 performans noktaları grafikler üzerine işaretlenmiştir.

10419 (5) tip projesinin x - yönünde; beton sınıfının kötü, etriye aralığının da seyrek olduğu BS10-S25

durumunda orta aks ikinci kat kolonlarında kesme kırılmasına rastlanmakta ve yatay yük taşıma kapasitesinde büyük kayıp meydana gelmektedir. Dolayısıyla da deplasman kapasitesi bu durum için diğerlerine göre oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Bu durum Şekil 4’teki grafikte açıkça görülmektedir. 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 daha çok binanın kısa yönünde yerleştirilmesi ve ikinci kata geçişte kolon boyutlarında küçültme yapılması yapının x - yönündeki kapasiteleri üzerinde olumsuzluklara sebep olmuştur.

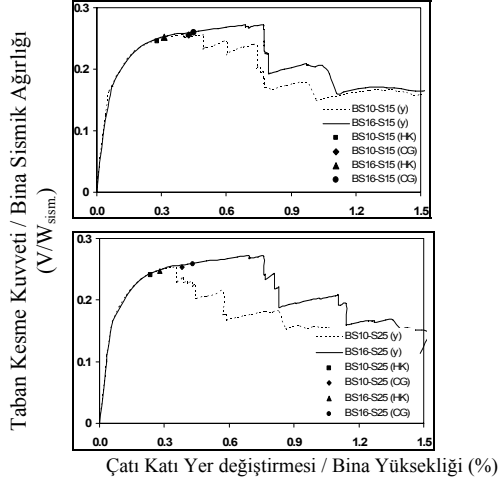


Şekil 4. 10419 (5) tip no’lu okul binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için x - doğrultusu kapasite eğrileri

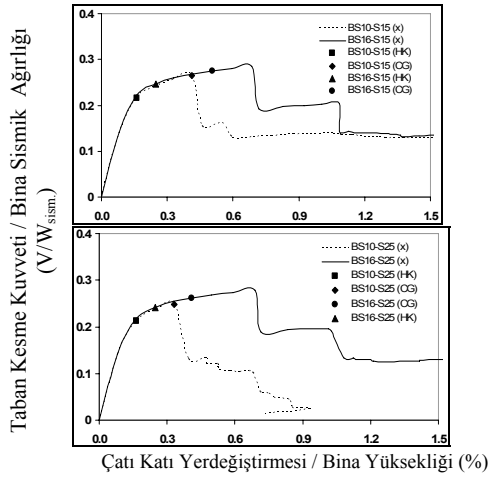
10735-A tip projesinin her iki yönde de perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olmasına rağmen x - yönünde; beton sınıfının kötü, etriye aralığının da seyrek olduğu BS10-S25 durumunda orta aksa yerleştirilmiş iki adet perde elemanın ikinci katta plastik dönme kapasitelerine ulaşmasıyla sistem yatay yük taşıma kapasitesinde büyük kayıp meydana gelmekte ve stabilitesi bozulmaktadır. Ancak beton dayanımının ve etriye aralığının iyi olduğu durum (BS16-S15) için bu perdelerde daha yüksek yer değiştirmelerde ve perdelerin zemin kat seviyelerinde göçme konumlarına ulaşmaktadırlar. Yani perde davranışının hakim olduğu x - yönünde beton kalitesinin

iyi olması durumunda etriye aralığının performans üzerindeki etkisi oldukça azdır (Şekil 6).

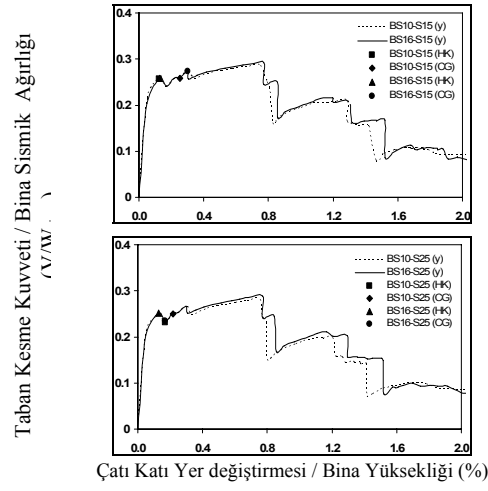
Yapının kısa doğrultusunda (y -yönü), x - yönüne göre daha büyük perdeler kullanılmış olması bu yöndeki performansın daha iyi olmasını sağlamıştır. Şekil 7'da verilen kapasite eğrilerinden de açıkça görüleceği üzere, yatay dayanım kapasitesi üzerindeki küçük iniş-çıkışlar oluşması, o yük seviyeleri için bazı elemanlarda lokal mekanizmalar oluşmasıyla açıklanabilir.



Şekil 5. 10419 (5) tip nolu okul binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için y - doğrultusu kapasite eğrileri



Şekil 6. 10735-A tip nolu okul binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için x - doğrultusu kapasite eğrileri

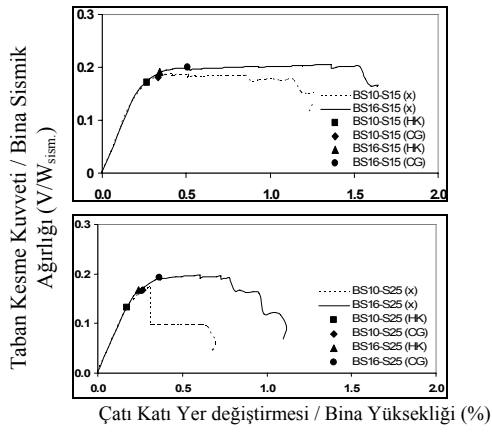


Şekil 7. 10735-A tip nolu okul binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için y - doğrultusu kapasite eğrileri

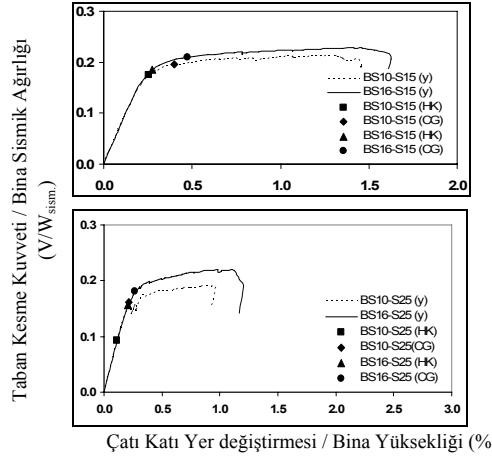
11276-A tip no'lu yapının taşıyıcı sistemi her iki yönde de çerçevelerden teşkil edilmiştir. Kapasite eğrileri incelendiğinde; x - yönünde beton sınıfının kötü, etriye aralığının da seyrek olduğu BS10-S25 durumunda ikinci kat kolonlarında kesme kırılmasına rastlanmakta ve yatay yük taşıma kapasitesinde büyük kayıp meydana gelmektedir. Dolayısıyla da deplasman kapasitesi bu durum için diğerlerine göre oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Bu durum Şekil 8'deki grafikte açıkça görülmektedir. 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 BS10-S25 durumunda ikinci kat kolonlarında yumuşak kat olma durumu söz konusudur. Aynı durum BS10-S15'te üçüncü kat kolonlarında oluşmaktadır.

Ayrıca burada ayrıntılı kapasite eğrileri verilmeyen 10370, 10419 (4), 11276-B ve 11187 no'lu tip projelerin değerlendirmeleri sonucunda;

10370 binasında deplasman kapasitesi etriye aralığına bağlı görülmekle birlikte, artımsal itme analizi sonuçları incelendiğinde ötelenme değerinin %2 seviyelerinde orta aks kolonlarında lokal göçmeler meydana gelmektedir. Ancak kapasite eğrisinde belirgin düşümlere sebep olmayan bu göçmeler, yatay yüklerin büyük bir kısmını büyük uzunluktaki perde duvarlarla taşınmasıyla açıklanabilir.



Şekil 8. 11276-A tip nolu hastane binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için x- doğrultusu kapasite eğrileri



Şekil 9. 11276-A tip nolu hastane binası; değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için y- doğrultusu kapasite eğrileri

10419 (4) binasının perdesiz yönünde birçok kolonun ince yönlerinin bulunması nedeniyle zayıf kolon-kuvvetli giriş mekanizması dikkat çekmektedir. Bu nedenle davranış oldukça gevrek olmaktadır. Beton dayanımı düştükçe veya etriye miktarı azaldıkça deplasman kapasitesindeki düşüş göze çarpmaktadır. Perdelerin yerleştirildiği kısa doğrultuda ise perdelerin davranış üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle deplasman kapasitesi daha yüksektir. Perde elemanın olmadığı x- yönündeki davranış incelendiğinde BS10 sınıfı beton için 2. kat orta aks kolonlarının kesmeden göçtüğü görülmekte ve dolayısıyla ani bir kapasite kaybı olmaktadır. BS16 sınıfı betonda, 15 cm etriye aralığı için 2. kat kolonları ve 25 cm etriye aralığı için ise 1. kat kolonlarında eğilme kapasitele-

ri aşılmaktadır. 2. kat kolonlarının bu derece davranışta rol oynamasının sebebine bakıldığında, 2. katta kolon boyutlarının ani olarak azalması dikkat çekmektedir.

11276 no'lu tip projeli yapının B bloğunda, kolonların uzun yönlerinin daha çok y- yönünde yerleştirilmesi binanın x- yönünün zayıf olmasına sebep olmuştur. Özellikle etriye aralığının ve beton dayanımının düşük olduğu durumlarda bu yönde kesme kırılmaları oluşmaktadır. Kolonların güçlü yönlerinin y- yönünde olması bu yöndeki dayanım ve deplasman kapasitesinin x- 'e göre nispeten iyi olmasını sağlamıştır.

11187 tip no'lu projede x- yönünde perdeli olması bu yöndeki dayanım ve deplasman kapasitesinin çerçevesi olan diğer yöne göre daha olumlu olmasını sağlamıştır. İncelen diğer projelere göre burada düşey taşıyıcı elemanların oryantasyonu daha düzgün ve dengelidir. Deplasman kapasitesinin yüksek olmasına rağmen, yönetmelikte öngörülen performans seviyeleri karşılanamamaktadır. Bunun en belirgin sebeplerinden biri, lokal olarak oluşan giriş elemanlardaki dayanım yetersizlikleri olarak söylenebilir.

Çizelge 2 ve 3'te Deprem Yönetmeliği Bölüm 7.7'ye göre her iki bloğun hemen kullanım (HK) ve can güvenliği (CG) şartlarını sağladıkları nihai deplasman kapasiteleri ve bu değerlerin en iyi durum olan BS16-S15'e göre normalize edilmiş oranları % olarak verilmiştir. Çizelgede etriye aralığı ve beton sınıfının deplasman kapasitesi üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir.

6 DBYBHY-2006'YA GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Özellikle son 20-30 yıl içerisinde ülkemizde ve dünyada meydana gelen yıkıcı depremlerden sonra yapılacak binaların belirli standartlarda olması için kurallar getirilmeye çalışılmış ve bunlar deprem yönetmeliklerinde ortaya konulmuştur. Ülkemizde de 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Yönetmeliği [2], 2006 yılında revize edilerek resmi gazetede yayınlanmıştır [5].

Deprem Yönetmeliği 2006'ya 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 Çizelge 4'te özetlenmiştir (DBYBHY, 2006).

Final Yönetmelikte, talepler üç değişik seviyede depremlerle ifade edilmiştir. Bunlar sık olan, tasarım ve ender olan depremlerdir. Sık ve ender olan depremler şu an kullanılmakta olan 1998 Afet Yönetmeliğinde tanımlanan tasarım depremi talep spektrumunun yarısı ve 1.5 katı olarak alınmıştır. Talepler elde edilirken bina önem katsayısı uygulanmamıştır.

Çizelge 2. Deprem Yönetmeliği Bölüm 7.7'ye göre x- yönü nihai deplasman kapasiteleri ve normalize edilmiş oranları (%)

Tip No	Beton sınıfı etriye aralığı	X- yönü			
		HK	Oran *	CG	Oran *
		$\Delta_{çatı}/H_{bin}$ a	%	$\Delta_{çatı}/H_{bina}$	%
10370	BS10-S15	0.15	48	0.56	92
	BS10-S25	0.14	45	0.52	85
	BS16-S15	0.31	100	0.61	100
	BS16-S25	0.16	52	0.57	93
10419 (4)	BS10-S15	0.16	84	0.40	77
	BS10-S25	0.16	84	0.19	37
	BS16-S15	0.19	100	0.52	100
	BS16-S25	0.17	89	0.25	48
10419 (5)	BS10-S15	0.29	93	0.39	53
	BS10-S25	0.21	68	0.23	32
	BS16-S15	0.31	100	0.73	100
	BS16-S25	0.29	93	0.38	53
10735 (A)	BS10-S15	0.16	64	0.27	100
	BS10-S25	0.16	64	0.25	93
	BS16-S15	0.25	100	0.27	100
	BS16-S25	0.25	100	0.27	100
10735 (B)	BS10-S15	0.05	100	0.09	100
	BS10-S25	0.05	100	0.09	100
	BS16-S15	0.05	100	0.09	100
	BS16-S25	0.05	100	0.09	100
11276 (A)	BS10-S15	0.27	79	0.33	61
	BS10-S25	0.17	50	0.27	50
	BS16-S15	0.34	100	0.54	100
	BS16-S25	0.24	70	0.36	67
11276 (B)	BS10-S15	0.21	64	0.27	54
	BS10-S25	0.16	48	0.20	40
	BS16-S15	0.33	100	0.50	100
	BS16-S25	0.22	67	0.22	44
11187	BS10-S15	0.26	81	0.66	79
	BS10-S25	0.15	47	0.32	38
	BS16-S15	0.32	100	0.84	100
	BS16-S25	0.27	84	0.69	82

* Oran her bir bina için deplasman kapasitelerinin BS16-S15 değerleri ile normalize edilmiş değerlerinin % olarak ifade edilmesidir.

Çizelge 3. Deprem Yönetmeliği Bölüm 7.7'ye göre y- yönü nihai deplasman kapasiteleri ve normalize edilmiş oranları (%)

Tip No	Beton sınıfı etriye aralığı	Y- yönü			
		HK	Oran	CG	Oran
		$\Delta_{çatı}/H_{bin}$ a	%	$\Delta_{çatı}/H_{bina}$	%
10370	BS10-S15	0.20	100	0.44	96
	BS10-S25	0.13	65	0.43	93
	BS16-S15	0.20	100	0.46	100
	BS16-S25	0.17	85	0.45	98
10419 (4)	BS10-S15	0.16	70	0.47	85
	BS10-S25	0.14	61	0.36	65
	BS16-S15	0.23	100	0.55	100
	BS16-S25	0.21	91	0.51	93
10419 (5)	BS10-S15	0.28	90	0.43	96
	BS10-S25	0.24	77	0.38	84
	BS16-S15	0.31	100	0.45	100
	BS16-S25	0.28	90	0.43	96
10735 A	BS10-S15	0.13	76	0.25	83
	BS10-S25	0.13	76	0.22	73
	BS16-S15	0.17	100	0.30	100
	BS16-S25	0.13	76	0.17	57
10735 B	BS10-S15	0.06	100	0.06	100
	BS10-S25	0.03	50	0.03	50
	BS16-S15	0.06	100	0.06	100
	BS16-S25	0.03	50	0.03	50
11276 (A)	BS10-S15	0.26	93	0.28	60
	BS10-S25	0.11	39	0.22	47
	BS16-S15	0.28	100	0.47	100
	BS16-S25	0.20	71	0.26	55
11276 (B)	BS10-S15	0.30	86	1.36	80
	BS10-S25	0.19	54	1.14	67
	BS16-S15	0.35	100	1.70	100
	BS16-S25	0.21	60	1.30	76
11187	BS10-S15	0.22	85	0.71	90
	BS10-S25	0.21	81	0.48	61
	BS16-S15	0.26	100	0.79	100
	BS16-S25	0.21	81	0.61	77

Performans düzeyleri, hastane binaları için tasarım depreminde Hemen Kullanım (HK) ve ender depremlerde Can Güvenliği (CG) olarak tanımlanmıştır. Okul yapılarında ise sık depremlerde HK ve ender depremlerde CG performans seviyeleri hedeflenmiştir.

Artımsal itme analizi sonuçları ile Çizelge 4'te özetlenen 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 Çizelge 5'te verilmektedir.

Çizelge 4. Deprem Yönetmeliği 2006'ya göre performans kriterleri ve tanımları

Performans Seviyesi	Performans Kriterleri
Hemen Kullanım (HK)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kirişlerin en fazla % 10'u HK-CG aralığında olmalıdır. 2. Hiç bir düşey taşıyıcı eleman HK seviyesini geçmemelidir. 3. Hiç bir kiriş eleman CG 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 CG-GÖ aralığını geçebilir. 2. CG-GÖ 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)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kirişlerin en fazla % 20'si GÖ'yü geçebilmektedir. 2. GÖ'yü 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.

Çizelge 5. Tip binalara ait Hemen Kullanım (HK) ve Can Güvenliği (CG) durumları için yer değiştirme istemleri

Tip Proje	Yön	W (ton)	Modal katkı çarpanı, PF_1	Performans Noktası, $\Delta_{çatı} / H_{bina}$ (%)	
				HK	CG
10370	X	1123	1.34	0.64	2.02
	Y			0.62	1.87
10419 (4)	X	3250	1.28	0.50	1.51
	Y			0.32	0.98
10419 (5)	X	4250	1.29	0.54	1.63
	Y			0.33	1.02
10735 (A)	X	1342	1.42	0.50	1.49
	Y			0.55	1.64
10735 (B)	X	1981	1.43	0.45	1.36
	Y			0.30	0.91
11276 (A)	X	2944	1.36	1.27	1.91
	Y			1.38	1.92
11276 (B)	X	1211	1.38	1.48	2.22
	Y			1.36	2.11
11187	X	1552	1.34	1.09	1.63
	Y			1.42	2.04

Çizelge 2, 3 ve 5 incelendiğinde, tüm binalar hiçbir durum için yönetmelik istemlerini karşılayamamaktadırlar. İncelenen binalar, projede öngörülen beton sınıfı (BS16) ve etriye aralığına (15 cm.) uygun olarak inşa edilse dahi, 2006 Final Deprem

Yönetmeliği'nde öngörülen performans düzeylerini sağlamamaktadır. Bu, 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre tasarlanan binalar için zaten beklenen bir durumdur. Eleman deformasyon kapasitesi üzerinde büyük etkiye sahip etriye aralığının, 15 cm gibi büyük bir değerde olması ve eski yönetmeliğin daha düşük bir yatay dayanım öngörmesi bunun önemli nedenlerindedir.

7 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kamu binalarının mevcut durumlarının deprem bakımından değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 1. derece deprem bölgelerinde yaygın olarak kullandığı 10370,10419, 10735-A, 10735-B, 11276-A, 11276-B ve 11187 nolu tip projeler incelenmiştir. Bu projelerin incelenmesinde (DBYBHY) 2006 Final versiyonuna eklenen "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünde yer alan doğrusal ötesi statik analiz yöntemleri ve deprem performansının belirlenmesi ilkeleri kullanılmıştır. Yönetmelikte öngörülen performans düzeylerinin sağlanıp sağlanmadığı ve binaların zayıf noktaları ile ilgili bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- Sargı donatısı miktarının yetersiz olduğu ve/veya beton basınç dayanımının düşük ol-

duğu yapılarda kesme yenilmelerinin kritik olabileceği gözlemlenmiştir.

- Ara kat mekanizması oluşmasını tetikleyen katlar arası kolon boyutların ani küçültülmesinin dayanım ve deplasman kapasiteleri üzerinde olumsuz etkileri vardır.
- ABYYHY 75'e göre tasarlanan binalarda öngörülen düşük yatay dayanım nedeniyle büyük deplasman istemleri ile karşılaşmaktadır. Bu yapılar özellikle etriye aralığının yetersiz olduğu durumlarda öngörülen güvenlik seviyelerini karşılamaktan oldukça uzaktır.
- Kamu yapılarında 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 akarak zayıf kolon-kuvvetli kiriş mekanizmasına yol açmaktadır.

Sonuç olarak; zayıf kolon-kuvvetli kiriş mekanizmasının oluşmaması için kolonların iki yönde dengeli biçimde dağıtılması, ani kolon boyutu değişikliklerinden kaçınılması, yüksek rijitlik ve dayanımları nedeniyle deplasman istemlerini azaltarak çeşitli sünelik kusurlarının etkilerini düşüren perde duvarların kamu yapılarında her iki yönde yeterli ve dengeli seviyede kullanılması önerilmektedir.

8 KAYNAKLAR

- [1] Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N., 2003. Destructive Earthquakes in Turkey, <http://www.deprem.gov.tr/reports.html>.
- [2] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1997 (ABYYHY-1998).
- [3] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYHY-1975).
- [4] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Taslak 1 (ABYYHY-2005 Taslak-1).
- [5] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Final, 2006 (DBYBHY-2006 Final).
- [6] 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.

- [7] CSI, SAP2000 V-8, 2002. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, *Basic Analysis*
- [8] 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.
- [9] ATC-40, 1996., "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, Vol 1. Washington, DC. USA.
- [10] Kaplan H. ve diğ. *Aydın, Denizli ve Muğla illerinde bulunan kamu binalarına ait Depremsellik İnceleme Raporları*, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 2004-2005.
- [11] TS 498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *TSE*, Ankara.
- [12] Priestley M.J.N, Seible F, Calvi G.M.S., 1996. Seismic Design and Retrofit of Bridges, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York.
- [13] Priestley, M. J. N., 2000 "Performance Based Seismic Design". *Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zeland, Paper No:2831.
- [14] TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *TSE*, Ankara.
- [15] Vision 2000, Soulages, J., ed. *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. Sacramento, CA, 2 vols, April 3, 1995.
- [16] Aschheim M., Gulkan P.et al , 2000, "Performance of buildings, 1999 Kocaeli, Turkey, "Earthquake Reconnaissance Report", supplement to vol. 16 Earthquake Spectra.
- [17] FEMA-440, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by ATC for American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency, Washington, D.C
- [18] 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.
- [19] 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.