

TİP BİR KAMU YAPISININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

PERFORMANCE EVALUATION OF A TYPICAL PUBLIC BUILDING

Mehmet İNEL, Hüseyin BİLGİN

Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

ÖZ: Türkiye’de 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 bazılarındaki hasarların büyüklüğü deprem olgusunu, kamuoyunun dikkatini çeken toplumsal bir konu haline dönüştürmüştür. Ülkemizde yaşanan bu son depremler, birçok kamu hizmet binamızın içinde çalışan insanlara deprem durumu sözkonusu olduğunda, yeteri kadar can güvenliği sağlamakta zorlandığını göstermiştir. Son yıllarda kamu binalarının deprem risklerinin gözden geçirilerek deprem performanslarının artırılması için gerekli çalışmalarının yapılması yönünde çabalar başlamıştır. Önceliklerin iyi belirlenerek planlı ve ekonomik bir çalışmanın yapılabilmesi için her bir 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 yaygın kullanılan bir tip kamu binasının performans değerlendirilmesi yapılmış, projenin zayıf noktaları belirlenmiş ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998’in öngördüğü değerler ile kıyaslama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Pushover Analiz, Kamu Yapıları, Performans.

1. GİRİŞ

Yaşadığımız son depremlerde oluşan ekonomik zarar ve can kayıpları, yapılarımızın mevcut durumlarının değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Bağcı ve diğ., 2003; Sezen ve diğ., 2003). Mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümü 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-98) tarafından tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip değildir. ABYYHY-98 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 detaylandırılmasında farklılıklar bulunması bunun başlıca nedenleri arasındadır.

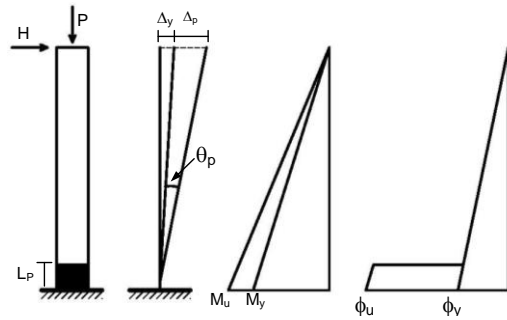
Fonksiyonlar ve deprem sonrası muhtemel kullanımlar gözönüne alındığında kamu binaları (telekomünikasyon, hastane, okul, vb.), olası bir deprem felaketi sonrası ayakta kalması gereken yapılardır. Bu nedenle, bu tür yapıların öncelikli olarak ele alınması gerekmektedir. Kamu binalarının birçoğu tip projelerden 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, hastane binalarında kullandığı tip projelerden 11276 tip nolu proje seçilmiş, doğrusal ötesi modelleme teknikleri kullanılarak deprem davranışı açısından performansları değerlendirilmiştir.

2005 yılı ortalarında taslak olarak gündeme gelen Afet Yönetmeliğine mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için yeni bir bölüm eklenmiş (ABYYHY Taslak 1, 2005), daha sonraki ikinci çalışmada 7. bölüm olarak yayınlanmıştır; (ABYBY Final, 2006). Bu makaledeki çalışmanın eklenen yeni bölümde bahsedilen “Artımsal İtme Analizi” nin uygulama örneği olması nedeniyle yararlı olacağı düşünülmektedir. Tip hastane binalarının deprem güvenliği, 2006 Afet Yönetmeliği’nde verilen deprem etkileri ve performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir.

2. KULLANILAN YÖNTEM

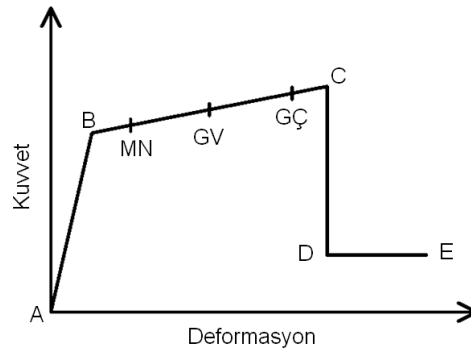
Kamu yapılarında yaygın kullanılan tip projeli binalardan 11276 no'lu bir tip hastane binasında uygulamada karşılaşılabilecek beton basınç dayanımları ve etriye sıklıkları dikkate alınarak doğrusal ötesi analizlerle performans değerlendirmesini yapmak, eksikleri belirleyip çözüm önerileri sunmaktır. 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 (FEMA-356, 2000). Bunun için SAP2000'de kolay olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilen otomatik mafsalsal yerine, her bir eleman için oluşturulan kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiş ve 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 (Mander ve diğ., 1988). 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 (2000) ve ATC-40 (1996) dokümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır (CSI, 2002). 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.

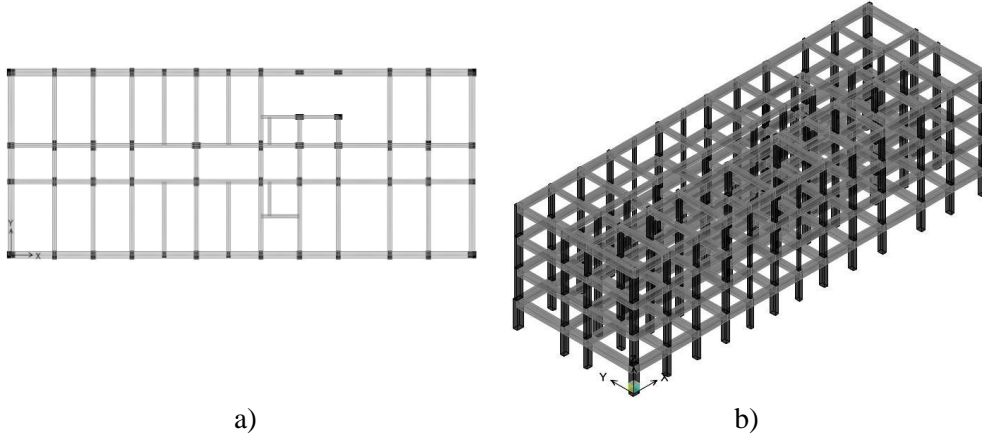
Analizler sonucunda binalara ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Mevcut binaların deprem güvenliği, Afet Yönetmeliği'nde verilen deprem etkileri ve hedeflenen performans düzeyleri esas alınarak irdelenmiştir (ABYBHY Final, 2006). Binaların genel davranışı üzerinde durulmuş ve kat mekanizmaları, kesme kırılmaları gibi davranışların oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir.

3. TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışmada kullanılan 11276 tip nolu projeye ait geometri ve malzeme özellikleri ile dinamik analizden elde edilen tanımlayıcı özellikler Tablo 1.'de verilmiştir. Yapı her iki yönde de çerçevelerden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan tip projeye ait plan ve 3-Boyutlu görüntüler, Şekil 3'te verilmiştir. Plan görünüşü üzerinde kolonlar koyu renk, kirişler açık renk olarak gösterilmiştir.

Tablo 1. Tip Projeye ait yapısal özellikler

Projelere Ait Özellikler	11276 A Blok
Kat adedi	4
Normal kat yüksekliği (m.)	3.2
Normal kat alanı (m ²)	560
Yapı ağırlığı (ton)	2944
Beton sınıfı	BS10, 16
Çelik sınıfı	S220
X- yönü doğal titreşim periyodu (sn.)	0.55
Y- yönü doğal titreşim periyodu (sn.)	0.54



Şekil 3.11276 tip nolu hastane binası A Blok; a)Plan, b)3B görünüm.

Denizli, Muğla ve Aydın illerinde bulunan 16 kamu binasına ait 34 bloğun genel yapı stokunda karşılaşılabilecek aralığı temsil ettiği düşünülmüştür. Binalar eğitim ve sağlık kurumlarından oluşmaktadır (Kaplan ve diğ., 2004-2005). Bu yapıların incelenmesi sonucunda bu çalışmada kullanılmak üzere beton sınıfı BS10 ve BS16, etriye aralıkları ise kolon ve kiriş uçlarında 15 ve 25 cm olarak belirlenmiştir.

4. KULLANILAN MALZEME MODELLERİ VE DİĞER TASARIM PARAMETRELERİ

Sisteme etkiyen yüklerin tanımlanmasında TS 498 yük yönetmeği kullanılmıştır (1987). Bina ağırlıkları, döşeme kalınlıkları ve üzerlerine 10 cm kaplama kabulü yapılarak hesaplanmıştır.

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 ve diğ., 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 (1) numaralı denklem kullanılmıştır (Priestley ve diğ., 1996);

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

L_p = plastik mafsal boyu, L_0 = moment sıfır noktası-plastik mafsal arası mesafe, f_{sy} = yanal donatı akma dayanımı, d_{bl} = boyuna donatı çapıdır.

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”, “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 (Priestley ve diğ., 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. Kolon ve kirişlerde “C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekil değiştirme kapasitesinin %50’sine ($0.5\epsilon_{cu}$) ulaşmasına izin verilmiştir (Priestley, 2000). Her iki eleman için de, herhangi bir donatının kopması ($\epsilon_s = \epsilon_{su}$) “E” noktası olarak kabul edilmiştir.

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

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 dayanımı.

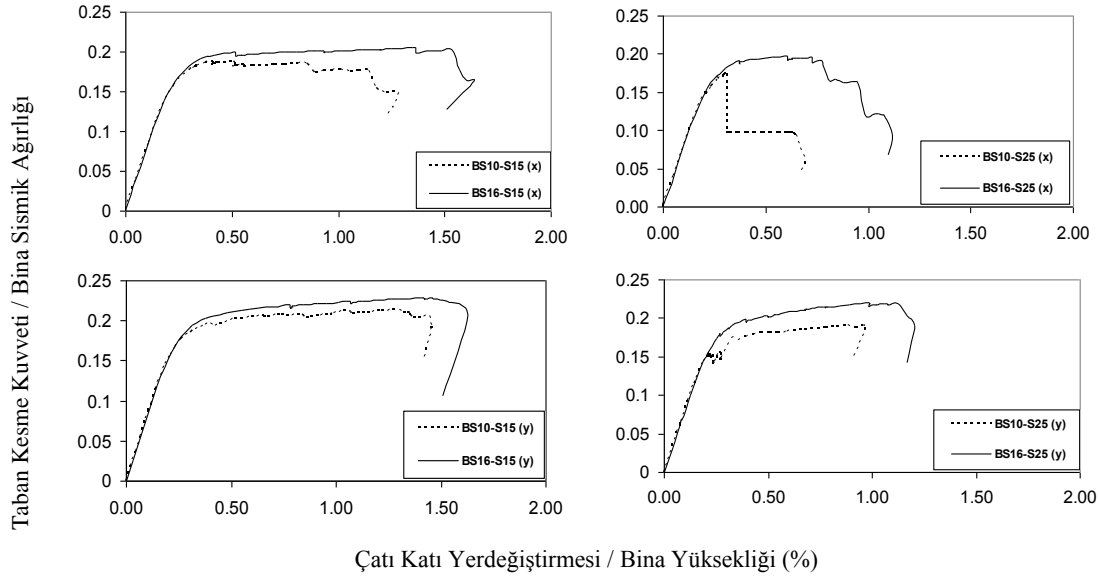
Deplasman kapasitesinin belirlenmesinde dolaylı olarak etkili olan moment taşıma kapasitesindeki ciddi düşüşler ek kriter olarak alınmıştır. “C” noktasının tanımlanmasında moment kriteri olarak, moment kapasitesindeki düşüş %30, “E” noktasında bu azalma %40 olarak sınırlandırılmıştır.

Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları da tanımlanmıştır (TS500, 2000).

Binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımlanmasında Vision 2000 esas alınarak plastik deformasyon kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Vision2000, 1995). Plastik deformasyonun %10’u Minimum Hasar Sınırı (MN), %60’ı Güvenlik Sınırı (GV) ve %90’ı da Göçme Sınırı (GÇ) olarak ifade edilmiştir.

5. BİNA KAPASİTE EĞRİLERİ

Farklı beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları dikkate alınarak elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5’te verilmiştir. Şekillerde düşey ve yatay eksenin daha anlaşılır olması için taban kesme ve çatı katı yerdeğiştirmesi yerine, taban kesme kuvveti sismik ağırlık, çatı katı yerdeğiştirmesi de bina yüksekliği ile normalize edilmiştir. 2006 Afet Yönetmeliği’nde hastane binaları için iki performans düzeyi hedeflenmiştir.



Şekil 5. Değişik beton basınç dayanımları ve etriye aralıkları için x - ve y - doğrultusu kapasite eğrileri.

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. 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.

Tablo 2. Afet Yönetmeliğine göre performans noktaları

Beton sınıfı etriye aralığı	X - yönü		Y - yönü	
	HK	CG	HK	CG
	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$	$\Delta_{\text{çatı}}/H_{\text{bina}}$
BS10-S15	0.27	0.33	0.26	0.28
BS10-S25	0.17	0.27	0.11	0.22
BS16-S15	0.34	0.54	0.28	0.47
BS16-S25	0.24	0.36	0.20	0.26

Tablo 2'de Afet Yönetmeliği Bölüm 7.7'ye göre *Hemen Kullanım (HK)* ve *Can Güvenliği (CG)* şartlarını sağladıkları nihai deplasman değerleri görülmektedir. Tabloda etriye aralığı ve beton sınıfının deplasman kapasitesi üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir.

6. AFET YÖNETMELİĞİNE GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Artımsal itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ile performans düzeylerine karşı gelen deprem talepleri kullanılarak yerdeğiştirme istemleri ABYYHY 2006'ya göre belirlenmiştir. Bunun için binaların gözönüne alınan yönlerdeki birinci mod periyotlarının hakim periyot olduğu kabulü yapılmıştır. Elde edilen yerdeğiştirme istemleri Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tabloda görülen tip proje isimlerinde ilk kısım proje nosu, BS'li ifade beton sınıfını, S sonrası etriye aralığının (cm) ve son harf binanın incelenen yönünü ifade etmektedir. BH: Belirin Hasar Bölgesi, CG: Can güvenliği.

Tablo 3. Hemen Kullanım (HK) ve Can Güvenliği (CG) durumları için yerdeğiştirme istemleri.

Yön	W (ton)	Modal katkı çarpanı, (PF ₁)	Etkin Kütle oranı, (α_1)	Performans Noktası, $\Delta_{catı} / H_{bina}$ (%)	
				HK	CG
X	2944	1.31	0.79	1.27	1.91
Y	2944	1.33	0.78	1.28	1.92

Tablo 2. ve 3'ün dikkatlice incelenmesinden görüleceği üzere; her iki yapı da hiçbir durumda Afet Yönetmeliği performans hedeflerini karşılayamamaktadır. Her iki yönde de ciddi yetersizlikler mevcuttur. Sistemin her iki yönde çerçevesi taşıyıcı sisteme sahip olması ve yatay dayanımının düşük olması nedeniyle yetersiz eleman sayısı oldukça fazladır.

İncelenen projede öngörülen beton sınıfı (BS16) ve etriye aralığına (15 cm.) uygun olarak inşaa edilse dahi, Afet 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. SONUÇLAR

Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 1. derece deprem bölgelerinde yaygın olarak kullandığı 11276 nolu tip proje incelenmiştir. Elde edilen gözlemler sonucunda;

1. Etriye aralığının büyük olduğu ve/veya beton basınç dayanımının düşük olduğu yapılarda kesme kırılmasının kritik olabileceği belirlenmiştir.
2. Katlar arası kolon boyutlarının çok farklı olması ara kat mekanizması oluşturabilmektedir. Ara kat mekanizması oluşmasının dayanım ve deplasman kapasiteleri üzerinde olumsuz etkileri vardır. (Şekil 5.).
3. Beton basınç dayanımının azalması veya etriye miktarının düşmesi deplasman kapasitesini %60'a varan oranda azaltabilmektedir. (Tablo 2.)
4. ABYYHY 75'e göre yapılan binalarda öngörülen düşük yatay dayanım nedeniyle büyük deplasman istemleri ile karşılaşmaktadır (Tablo 3).

Sonuç olarak;

- Ara kat mekanizmalarını tetikleyen ani kolon boyutu değişikliklerinden kaçınılmalıdır,
- Perde duvarların kamu yapılarında her iki yönde yeterli seviyede kullanılması önerilmektedir.

8. KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYHY-1975).

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998 (ABYYHY-1998).

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-Taslak 1,2005 (ABYYHY-2005 Taslak-1).

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Final, 2006 (ABYYHY-2006 Final).
- ATC-40, 1996. Applied Technology Council, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Vol 1. Washington, DC.
- CSI, SAP2000 V-8, 2002. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- 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.USA.
- Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N., 2003. Destructive Earthquakes in Turkey, <http://www.deprem.gov.tr/reports.html>
- Kaplan H. ve diğ. Aydın, Denizli ve Muğla illerinde bulunan kamu binalarına ait Depremsellik İnceleme Raporları, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 2004-2005.
- 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.
- 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.
- Priestley M.J.N, Seible F, Calvi G.M.S. Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.
- Priestley, M. J. N., 2000 Performance Based Seismic Design. Proceedings. 12 th World Conference on Earthquake. Engineering, New Zealand, Paper No: 2831.
- TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- Vision 2000, Soulages, J., ed. Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Sacramento, CA, 2 vols, April 3, 1995.