

SARGILI BETON DAVRANIŞININ BETONARME ELEMAN VE SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ

Hayri Baytan ÖZMEN, Mehmet İNEL ve Hüseyin BİLGİN

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı Kampüsü, 20020, Denizli
ozmenhayri@yahoo.com, minel@pau.edu.tr, huseyinbilgin@gmail.com

(Geliş/Received: 17.03.2006; Kabul/Accepted: 10.05.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, betonarme kesitlerde doğrusal ötesi davranışın modellenmesinde kullanılan, araştırma çevrelerinde de yaygın olarak kabul gören Geliştirilmiş Kent-Park, Mander ve Saatcioglu-Razvi beton modellerinin betonarme eleman ve sistem davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada göz önüne alınan yapı, Türkiye yapı stokunun çoğunluğunu oluşturması ve depremlerde en büyük riski taşıması nedeniyle 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre 1. derece deprem bölgesinde ve Z3 zemin üzerinde dört katlı olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan yapıya ait kolon ve kiriş elemanların doğrusal ötesi davranışlarının dikkate alınmasıyla sistemin doğrusal ötesi modeli oluşturulmuştur. Farklı beton sınıfları ve sargı donatısı aralıklarının dikkate alındığı modeller doğrusal ötesi statik itme analizine tabi tutulmuştur. Malzeme modelleri arasındaki farklar hem eleman hem de sistem davranışı üzerinde incelenmiştir. Analizler sonucunda, özellikle kolon kesitlerin moment-eğrilik davranışında ortaya çıkan farklılıkların sistem davranışı üzerinde belirginliğini yitirdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal olmayan itme analizi, moment-eğrilik, sargılı beton modelleri.

EFFECT OF CONFINED CONCRETE BEHAVIOUR ON REINFORCED CONCRETE SECTIONS AND SYSTEMS

ABSTRACT

In this study, the effects of confined concrete models on behavior of reinforced concrete structures are investigated at member and system levels. The widely-accepted concrete models such as Modified Kent-Park, Mander, and Saatcioglu-Razvi are considered. A four- storey structure was designed and detailed according to 1975 Turkish Earthquake Code to reflect a typical example of building stock in Turkey. The building was considered to be in Earthquake Zone 1 and on Z3 Soil Type. Nonlinear behavior of the building frame was modeled by considering the inelastic section behaviour of each beam and column elements for different concrete class and transverse reinforcement spacing. The models were subjected to pushover analysis. The differences of confined concrete models were investigated for both reinforced concrete member and system levels. At the end of analyses, it was observed that although there were some differences at the section level, the effects of confined concrete models were negligible at the system level.

Keywords: Pushover analysis, moment-curvature, concrete confinement models.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, özellikle mevcut yapıların deprem davranışının değerlendirilmesinde, kuvvet esaslı yöntemlerden deplasman esaslı analiz yöntemlerine hızlı bir yönelim ortaya çıkmıştır. Yapıların doğrusal ötesi davranışlarının da dikkate alındığı bu yöntemler, daha gerçekçi sonuçların elde edilmesine imkan vermektedir. Yapı elemanları, dolayısıyla yapının doğrusal ötesi davranışı, eleman özelliklerine göre

belirlenen plastik mafsallar yoluyla modellenmektedir. Bu sebeple, yapı davranışının (ulaşılacak maksimum deplasmanları, görelî ötelenme oranları, plastik dönme değerleri, yumuşak-zayıf kat oluşumu vb.) tahmin edilmesinde plastik mafsallı davranışının belirlenmesi analizin oldukça önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

Betonarme yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesinde, sargılı beton davranışı için uygun bir gerilme-şekil değiştirme modeli ön koşuldur. Bunun için tek eksenli yüklemeye altında sargı etkisini yansıtmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-6].

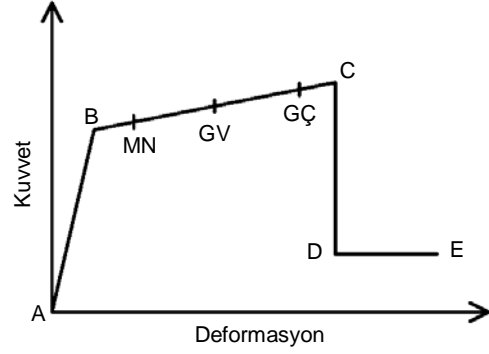
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KULLANILAN YÖNTEM (THE AIM AND METHODOLOGY)

Performans kavramının dikkate alındığı çağdaş deprem yönetmeliklerinde [7-10] mevcut yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesinde ve yeni yapıların tasarımında deplasman esaslı tasarım ilkelerinin dikkate alındığı görülmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, performans esaslı yapı tasarımına doğru bir yönelim yaşanmaktadır. Yapı performansının daha modern ve “Hemen Kullanım”, “Can Güvenliği” ve “Göçmenin Önlenmesi” gibi daha net kriterlere bağlanmasına olanak veren deplasman esaslı yaklaşım, 2005 yılı ortalarında taslak olarak düzenlenen ve 2007 yılında revize edilerek yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğimizde de yer almaktadır [7]. Bu bağlamda, önerilen çözüm ise “Pushover Analiz” olarak bilinen ve Deprem yönetmeliğimizde de yer alan “Artımsal Statik İtme Analiz” yöntemidir.

Betonarme yapı elemanlarının ve sistemlerinin doğrusal olmayan davranışını dikkate alarak yapılacak çözümler, statik ve dinamik doğrusal olmayan çözümler olmak üzere ikiye ayrılır. Her ikisinde de kesitin doğrusal olmayan davranışını ifade etmek üzere Şekil 1’deki yük-deplasman eğrileri kullanılmaktadır. Yük deplasman eğrisinin karakteristik köşeleri olan A-B-C-D-E noktalarının tanımlanması kesitin geometrik özellikleri, malzeme özellikleri ve yüklemeye koşullarına göre değişir.

Bu çalışmanın amacı, farklı araştırmacılar tarafından önerilen malzeme modellerinin değişik beton basınç dayanımları ve sargı donatısı aralıkları dikkate alınarak betonarme eleman davranışı ve sistem davranışı üzerindeki etkilerini incelemektir. Analizlerde dört katlı çerçevesel bir yapı dikkate alınmıştır. Çalışmada, doğrusal ötesi davranış, uygulama ve araştırma çevrelerinde yaygın olarak kullanılan artımsal itme analizi (pushover) ile ifade edilmiştir. Hesaplarda Mander [2], Kent-Park [3], Saatcioglu-Razvi [5] tarafından önerilen malzeme modelleri kullanılmıştır.

Model yapıda, beton basınç dayanımları ve etriyelerin uygulama aralığının belirlenmesi için son bir yılda Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde incelenen kamu binalarına ait karot numuneleriyle elde edilen dayanımlar ve yerinde açılan elemanlarda gözlemlenen etriye aralıkları esas alınmıştır. Sistemin doğrusal ötesi davranışını her bir elemanın doğrusal ötesi davranışının dikkate

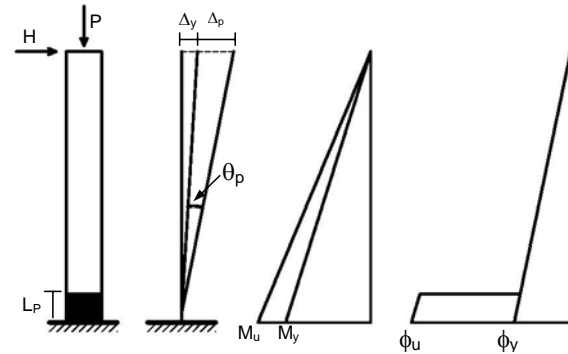


Şekil 1. Eleman için kuvvet-deformasyon eğrisi (Idealized force-deformation curve for a component)

Burada;

- MN**: “Minimum Güvenlik Sınırı”: Kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı,
- GV**: “Güvenlik Sınırı”: Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış sınırını,
- GÇ**: “Göçme Sınırı”: Kesitin göçme öncesi davranış sınırını göstermektedir.

alınmasıyla elde edilmiştir. Elemanlara ait doğrusal ötesi davranış parametreleri, bu davranışın eleman uçlarında yoğunlaşacağı varsayımına dayanan “yığılı plastik davranış hipotezi” kullanılarak hesaplanmıştır [Şekil 2]. Bu hipotez uyarınca kiriş ve kolon türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılmaktadır. Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü bu bölge *plastik mafsallık boyu* (L_p) olarak adlandırılır. Yığılı plastik davranış karakterize eden plastik mafsallık, bu bölgenin tam ortasında noktasal bir eleman olarak idealleştirilebilir.



Şekil 2. Konsol elemanda yığılı plastik davranış hipotezi (Lumped plasticity idealization of a cantilever component)

Tipik bir elemanın doğrusal ötesi davranışını Şekil 1’de gösterilen kuvvet-deformasyon eğrisi ile ifade edilebilir [8,9]. Bir elemanın davranışının ifade edilebilmesi, eğri üzerindeki bazı noktaların (B, C, ve E gibi) belirlenmesi ile mümkün olur. Doğrusal ötesi modellemede eleman uçlarında eğilme, kesme ve aksel yük ile ilgili mafsallar tanımlanmıştır. Özellikle etriye aralığının yeterli sıklıkta olmadığı

yapılarda kesme hasarlarının oluşabileceği göz önüne alınarak kesme mafsalları tanımlanmıştır.

İtme analizi için oluşturulan modellerde DBYBHY, 2007 [7], FEMA-356 [8] ve ATC-40 [9] dokümanlarından faydalanılmıştır. Modelleme aşamasında SAP2000 [11] yapısal analiz programı kullanılmıştır. SAP2000’de kolay olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilen otomatik mafsal yerine, her bir eleman için oluşturulacak kullanıcı tanımlı mafsallar tercih edilmiş ve plastik mafsal özellikleri; eleman boyutları, boyuna donatı ve sargı donatısı özellikleri kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir. Sargılı beton davranışının modellenmesi, birçok model arasından yaygın olarak kullanılan Geliştirilmiş Kent-Park, Mander ve Saatcioglu-Razvi beton modelleri kullanılarak yapılmıştır. İtme analizinde kullanılan yükleme şekli, toplanmış kat kütleleri ve doğrusal dinamik analizden elde edilen birinci mod şekliyle orantılı olarak kat hizalarında uygulanmıştır.

Mander vd. [2], Park vd. [3], Saatcioglu-Razvi [5] sargılı beton davranışı için yükleme ve boşaltma eğrilerini içeren çeşitli gerilme-şekil değiştirme bağıntıları önermişlerdir. Sözü edilen bu malzeme modelleri yapıların sismik analizlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aşağıda bu çalışmada kullanılan malzeme modellerinden kısaca bahsedilmiştir.

2.1. Malzeme Modelleri (Material Models)

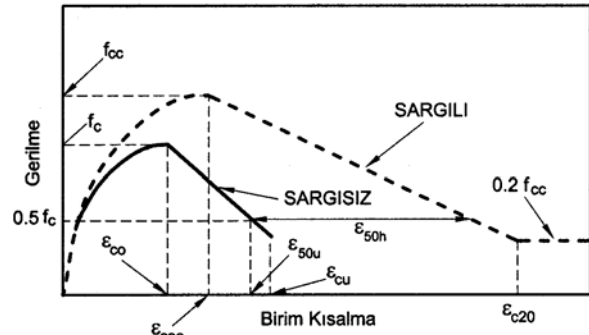
Deplasman esaslı bir problemin çözümünde, gerilme veya kuvvet cinsinden ifade edilen “denge denklemleri” ile deformasyon cinsinden ifade edilen “uygunluk denklemleri” arasındaki ilişki, kullanılan malzemenin gerilme-birim deformasyon ($\sigma-\epsilon$) ilişkisinden yararlanılarak bulunur. Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olduğundan, çözümdeki hata oranı büyük ölçüde göz önüne alınan malzeme davranışının, yani ($\sigma-\epsilon$) ilişkisinin doğruluğuna bağlıdır. Matematiksel çözümü kolaylaştırmak amacıyla ($\sigma-\epsilon$) eğrileri idealleştirilerek basitleştirilirler.

Beton $\sigma-\epsilon$ eğrisinin, çok sayıda bileşenden etkilenir ve bu nedenle de her durum için tek bir eğrinin tanımlanması olanaksızdır. Bununla birlikte, kesin olmasa bile problemlerin çözümü ve davranışın anlaşılabilmesi için betonun ($\sigma-\epsilon$) ilişkisini belirleyen modellere ihtiyaç vardır. Bu gereksinme nedeniyle, bugüne kadar çeşitli araştırmacılarca birçok beton modeli önerilmiştir.

Genel olarak sargılı beton modellerinde betonun dayanımında ve bu dayanımın olduğu birim deformasyon ve nihai birim deformasyon değerinde sargı etkisiyle meydana gelen değişim, yanal donatı miktar ve özelliğine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Böylelikle sargılı betonda meydana gelen dayanım ve

süneklik artışının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Örnek olarak kullanılan modellerden Geliştirilmiş Kent-Park modeli üzerinde durulacaktır. Bu ve diğer beton modelleri hakkında daha detaylı bilgi literatürde mevcuttur [2, 3, 5, 12].

Geliştirilmiş Kent-Park modeli [3] için önerilen sargısız ve sargılı beton $\sigma-\epsilon$ ilişkileri Şekil 3’te verilmiştir. Sargı etkisiyle beton dayanımının f_c ’den f_{cc} ’ye, maksimum gerilmeye karşılık gelen birim deformasyonun ise, ϵ_{co} ’dan ϵ_{coc} ’ye yükseldiği varsayılmaktadır. Eğrilerin ilk bölümleri ikinci derece parabol olup, gerilme azalmasını gösteren ikinci bölümleri ise, doğrusal çizgilerle gösterilmiştir. Sargılı betonun eğimi, sargısız betona oranla daha azdır. Sargısız betonda maksimum birim kısalma ϵ_{cu} iken, sargılı betonda böyle bir sınır yoktur. Sargısız beton için, $\epsilon_{cu} = \epsilon_{50u}$ veya daha basit olarak $\epsilon_{cu} = 0.004$ alınabilir [12]. Bu modelde sargı etkisinin dikkate alınması için enine donatının yani etriye ve kancaların hacimsel oranına bağlı olarak bir K katsayısı hesaplanmaktadır. Bu katsayı ile hem beton dayanımı hem de betonun maksimum gerilme değerine ulaştığı kabul edilen 0.002 deformasyon değeri çarpılarak yeni maksimum noktası belirlenmektedir. Ayrıca, deformasyon değeri her ne olursa olsun, gerilmenin içsel sürtünme nedeniyle hiçbir zaman dayanımın %20 sinin altına düşmediği kabul edilmektedir.



Şekil 3. Geliştirilmiş Kent-Park Beton Modeli (Modified Kent-Park Concrete Model)

Sargılı beton modeli çekirdek olarak tanımlanan ve fret veya etriye ile sınırlanan beton kütleleri için, sargısız beton modeli ise çekirdek dışında kalan kabuk betonu için geçerlidir. Geliştirilmiş Kent-Park modelindeki gerilme-şekildeğiştirme eğrilerini tanımlayan bağıntılar Denklem 2.1-11’de verilmiştir.

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (\text{Sargısız beton için}) \quad (2.1)$$

ϵ_{co} : Normal dayanımlı betonlar için yaklaşık 0.002 alınabilir.

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right] \text{ (Sargılı beton için)} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{coc} = K\varepsilon_{co} \quad (2.3)$$

Doğrusal eğri (Gerilmenin azaldığı bölüm)

Sargısız Beton

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \quad (2.4)$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{co}} \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.286f_c}{142f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (2.6)$$

Sargılı Beton

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (2.7)$$

$$\sigma_c = f_{cc} [1 - Z_c (\varepsilon_c - K\varepsilon_{coc})] \geq 0.2f_c \quad (2.8)$$

$$Z = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (2.10)$$

$$\rho_s = \frac{A_o I_s}{s b_k h_k} \quad (2.11)$$

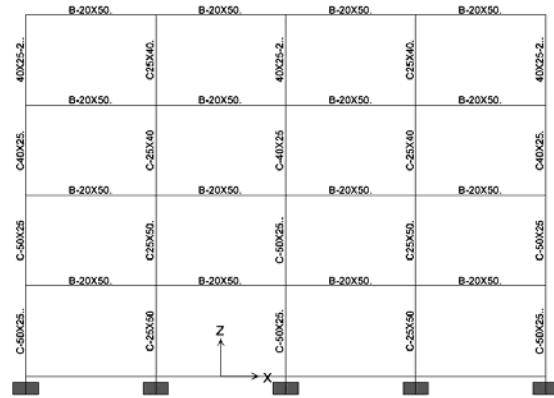
Çalışmada hazırlanan bütün modellerde donatı çeliği olarak S220 kullanılmıştır. Çünkü çalışmada daha çok risk altında bulunan, büyük bir yoğunluğu 1975 Afet Yönetmeliğine [13] göre tasarlanmış mevcut betonarme yapıların davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan donatı çeliğinin elastisite modülü 2×10^5 MPa, akma dayanımı 220 MPa, kopma dayanımı 330 MPa, akma uzaması 0.0011, pekleşmenin başladığı birim uzama 0.010 ve kopma uzaması 0.18 olarak kabul edilmiştir [14]. Elemanların doğrusal ötesi modellemesinde malzeme faktörleri "1" olarak kullanılmıştır.

3. TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME ÖZELLİKLERİ (STRUCTURAL SYSTEM AND MATERIAL PROPERTIES)

Çalışmada, 16x16 m. açıklığında ve 2.8 m. kat yüksekliğinde 4 katlı her iki yönde de 4 açıklıktan oluşan betonarme bir konut binası incelenmiştir. Hesaplarda kolaylık olması bakımından her iki yönde simetrik olan binanın orta aksından çıkarılan bir çerçeve üzerinde analizler yapılmıştır [Şekil 4]. Göz önüne alınan yapının kat sayısı ve karakteristik özellikleri itibarıyla, olası depremlerde en büyük risk grubunu oluşturan yapılar grubunda olması nedeniyle 1975 Afet Yönetmeliği'ne [13] göre 1. derece deprem bölgesinde ve Z3 zemin üzerinde olduğu düşünülerek

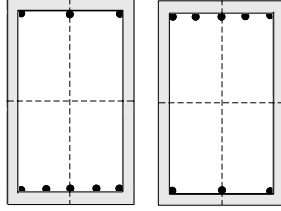
tasarlanmıştır. Yapıların kapasite ve süneklik davranışını gerçeğe yakın olarak yansıtabilmek için yukarıda belirtilen doğrusal olmayan itme analizi (pushover) kullanılmıştır.

Analizi yapılan çerçeve Şekil 4'de görülmektedir. Tasarımı yapılan taşıyıcı sistemde kiriş olarak; 25x50 (cm) ve kolon olarak; 25x50, 25x40, 50x25 ve 40x25 (cm) boyutlarında elemanlar kullanılmıştır. Kiriş ve kolon elemanlarda kullanılan donatıların yerleşim düzeni Şekil 5'te gösterilmiştir. Kirişlerde 8φ12 ve kolonlarda da 8φ16 boyuna donatı kullanılmıştır.

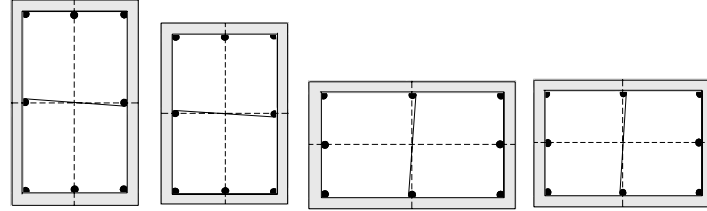


Şekil 4. Analiz yapılan taşıyıcı sistem (Analyzed structural system)

Mevcut beton basınç dayanımının ve etriye sıklığının eleman ve sistem davranışı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için uygulamada karşılaşılan ortalama beton basınç dayanımlarından 10 ve 16 MPa olan betonlar kullanılmıştır. 1998 öncesi projelerde öngörülen beton basınç dayanımları yaklaşık olarak 16 MPa olan betona karşılık gelse de, depremler sonrası ve son yıllarda yapılan mevcut yapı stoku değerlendirmeleri ülkemiz yapılarında beton basınç dayanımlarının genelde öngörülen değerlerin altında olduğunu göstermektedir [17]. Sargı etkisi ve eleman uçlarında tanımlanan kesme mafsalları için gerekli olan etriye aralığının iyi sargılama etkisini yansıtması için 10 ve olumsuz durumu yansıtması için 25 cm. olarak alınmıştır [17]. Her iki projeye ait geometri ve malzeme özellikleri ile doğrusal analizden elde edilen tanımlayıcı özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Kiriş Elemanlar

B-25/50

Kolon Elemanlar

C-25/50

C-25/40

C-50/25

C-40/25

Boyuna donatı : (8φ12)**Boyuna donatı : (8φ16)****Şekil 5.** Taşıyıcı sistemde kullanılan elemanlara ait geometrik özellikler (Geometrical properties of components used in the structural system)**Tablo 1.** Taşıyıcı sisteme ait geometrik özellikler (Geometrical properties of structural system)

| | Model Yapı |
|--------------------------------------|-------------------|
| Kat sayısı | 4 |
| Kat yüksekliği (m.) | 2.8 |
| Çerçeve yapı ağırlığı (ton) | 200 |
| Yapı sınıfı | Konut |
| Beton sınıfı | C16 (BS16) |
| Çelik sınıfı | S220 |
| 1.Mod periyodu (çatlamış kesit) (s.) | 0.85 |

4. ANALİTİK MODELDE KULLANILAN MALZEME MODELLERİ VE DİĞER TASARIM PARAMETRELERİ (MATERIAL MODELS AND DESIGN PARAMETERS USED FOR ANALYTICAL MODELLING)

SAP2000 yapısal analiz programı ile yapının analitik modeli kolon ve kiriş elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için DBYBHY, 2007'de [7] verilen değerler kullanılmıştır; kirişlerde $0.40 EIo$, kolonlarda $ND / (Ac fck) \leq 0.10$ olması durumu: $0.40 EIo$ ve $ND / (Ac fck) \geq 0.40$ olması durumu: $0.80 EIo$ 'dir.

Kolonlar için ara aksenal yük değerlerinde interpolasyon yapılmıştır. Kirişler modele dikdörtgen olarak girilmiştir. Eğilme rijitliklerinin hesabında [18]'de önerilen "I (tablalı) = 2I (dikdörtgen)" formülü kullanılarak hesaplara dahil edilmiştir.

Kolon-kiriş birleşimleri rijit olarak modellenmiştir. Kat hizalarında düzlem membran deformasyonları önlemek amacıyla rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Zemin kat kolonları, temele bağlandığı düğümlerde sonsuz rijit temel kabulüyle ankastre kabul edilmiştir. Sisteme etkileyen yüklerin tanımlanmasında TS-498 [15] yük yönetmeliği kullanılmıştır.

S220 sınıfı donatı çeliği için DBYBHY, 2007'de verilen gerilme-şekil değiştirme modeli esas alınmıştır [7].

Yığılı plastik davranışı yaklaşımında taşıyıcı sistem uçlarında oluşacağı kabul edilen plastik mafsalların tanımında gerekli olan plastik mafsal boylarının hesabında aşağıda verilen (Denklem 4.1) denklem kullanılmıştır [16];

$$L_p = 0.08L_0 + 0.022f_{sy}d_{bl} \geq 0.044f_{sy}d_{bl} \text{ (MPa)} \quad (4.1)$$

Denklemde L_0 = plastik mafsal ile moment sıfır noktası arası mesafe, f_{sy} = donatı akma dayanımı, d_{bl} = boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

4.1. Moment Mafsallarının Tanımlanması (Definition of Moment Hinges)

SAP2000 programında plastik mafsallar Şekil 1'de gösterilen kuvvet-deformasyon (moment-dönme) eğrisi üzerinde idealleştirilmiş beş nokta ile tanımlanmaktadır. "A" noktası orijindir (0,0). "B" noktası, kesitin akma konumuna ulaştığı nokta olup, bu noktadan sonra doğrusal ötesi davranış hakim olmaya başlamaktadır. "B"- "C" noktaları arasında kesit kapasitesini korur veya pekleşirken, "C" noktasında göçme konumuna ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra kapasitede belli bir oranda düşme meydana gelir ve "D" noktasına ulaşılır. "D"- "E" arasında düşen kapasitenin bir müddet daha korunduğu ve "E" noktasında kapasitenin tamamen kaybedilerek sıfır olduğu varsayılmaktadır.

Bu çalışmada kolon ve kirişlerin mafsal özellikleri moment-eğrilik ilişkileri esas alınarak, literatürde kabul görmüş (4.1) bağıntısı ile verilen plastik mafsal boyu kullanılarak bulunmuştur. Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme kolon ve kirişler elemanlarında performans düzeylerine göre izin verilen şekil değiştirme sınırları Deprem Yönetmeliği, 2007 kullanılarak hesaplanmıştır [7]. Söz konusu sınırlar (MN, GV ve GÇ) Şekil 1'de gösterilen tipik eleman için doğrusal dışı kuvvet-deplasman ilişkisi üzerinde işaretlenmiştir.

Kesit Göçme Sınırı(GÇ) için beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018; (\epsilon_s)_{GC} = 0.046 \quad (4.2)$$

Deplasman kapasitesinin belirlenmesinde dolaylı olarak etkili olan moment taşıma kapasitesindeki ciddi düşüşler ek kriter olarak kullanılmıştır. Moment kapasitesindeki düşüşler aynı zamanda yatay yük taşıma kapasitesindeki azalmayı ifade etmekte ve elemanın ilerleyen aşamalarda düşey yükler altında da zorlanacağı düşünülerek deplasman kapasitesinin belirlenmesinde moment kapasitesindeki %20-40 aralığındaki düşüşler kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu değerler dikkate alınarak, C noktasının tanımlanmasında moment kriteri olarak, moment kapasitesindeki düşüş %30, E noktasında bu azalma %40 olarak sınırlandırılmıştır.

Bu kriterlerin her biri $M-\phi$ grafiği üzerinde işaretlenerek, en kritik olanlar "C" ve "E" olarak belirlenmiştir. Özellikle çerçevesel yapılarda kesme hasarlarının da kritik durumlar oluşturabileceğinden dolayı, 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 ("B" ve "C" noktaları üst üste). Kesme dayanımları, TS 500 [14]'e göre hesaplanmıştır.

5. ANALİZ SONUÇLARI (RESULTS OF ANALYSIS)

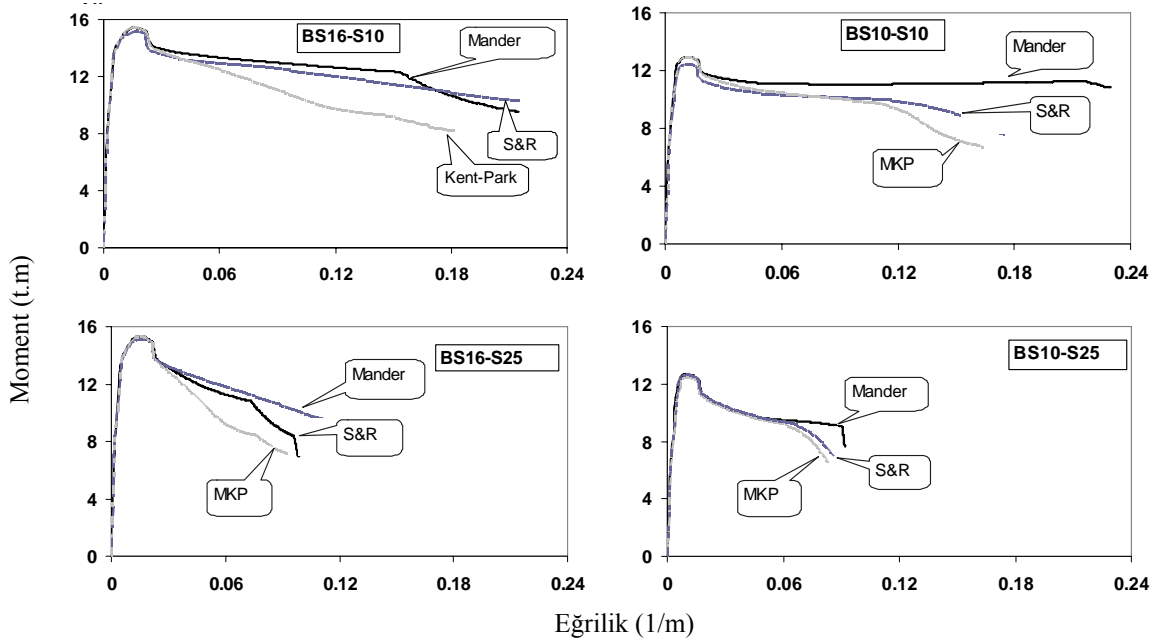
Gözönüne alınan eleman tipleri için her üç beton modeline göre de moment-eğrilik değerleri hesaplanmış ve bunların karşılaştırması yapılmıştır. Modelde en kritik olan orta kolona (25x50) ait

eksenel yükü ($P=48$ ton) dikkate alarak farklı beton sınıfları ve etriye aralıklarının dikkate alındığı durumlar için moment-eğrilik diyagramları Şekil 6'da verilmiştir.

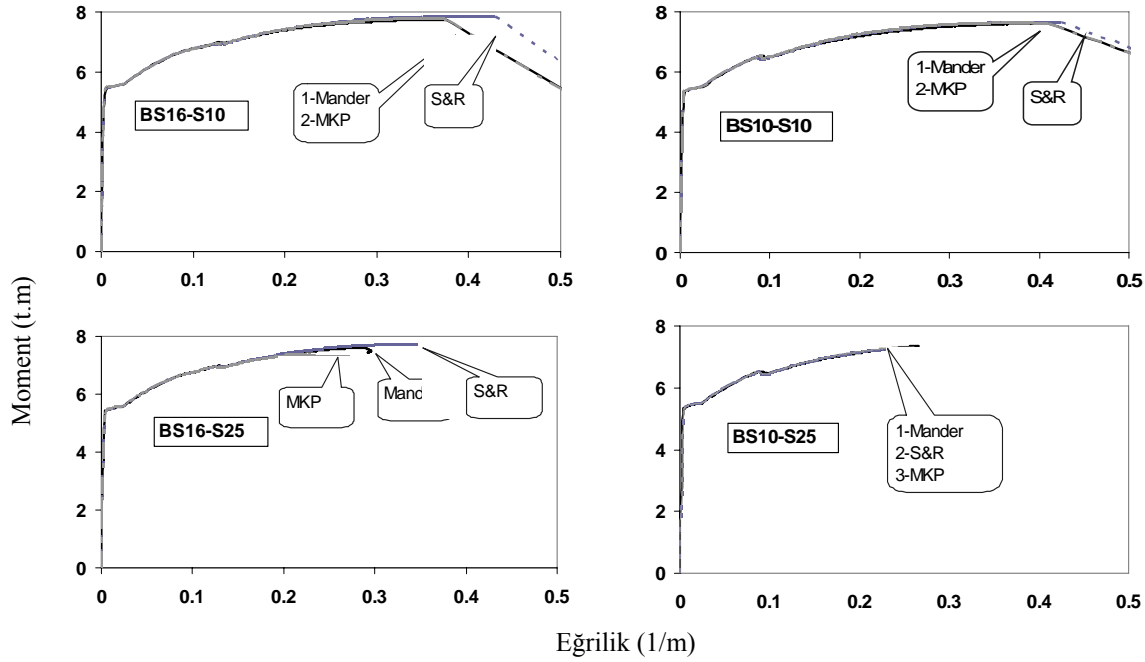
Kolon eleman için verilmiş olan Şekil 6'da da görüleceği üzere; Mander Beton Modeli, özellikle iyi sargılanmış elemanda (etriye aralığının 10 cm olduğu durum) yüksek eğrilik değerlerinde kesit moment kapasitesini Kent ve Park modeline göre daha yüksek göstermektedir. Buna karşın Kent ve Park tarafından önerilen kuşatılmış beton modelinde, büyük eğrilik değerlerinde daha düşük moment kapasitesi elde edilmektedir. Sağlam bir matematiksel temele dayanan Saatcioglu-Razvi Beton Modeli'nde ise beton sınıfı iyi olduğunda Mander'e yakınsarken, beton kalitesi kötüleştiğinde Geliştirilmiş Kent-Park modeline benzemektedir.

Modelde kullanılan kiriş elemana ait farklı beton sınıflarına ve etriye aralıklarına göre çizilmiş moment eğrilik diyagramları Şekil 7'de gösterilmiştir. Saatcioglu-Razvi beton modeli, beton sınıfı ve sargı donatısı iyi olduğunda Geliştirilmiş Kent-Park ve Mander modellerine göre yüksek eğrilik değerlerinde daha yüksek moment kapasitesi vermektedir. Diğer durumlar için, grafiklerden de görüleceği üzere, her üç model arasında belirgin bir fark yoktur.

Göz önüne alınan model bina, farklı beton basınç dayanımları ve etriye aralıklarını yansıtacak şekilde modellenerek itme analizine tabi tutulmuş ve artımsal itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrileri Şekil 8'de verilmiştir. Şekillerde düşey ve yatay eksenin daha anlaşılır olması için taban kesme ve çatı katı yerdeğiştirmesi yerine, taban kesme kuvveti



Şekil 6. Kolon için farklı beton sınıfları ve etriye aralıklarında moment-eğrilik diyagramları (Column moment-curvature diagrams for different concrete classes and transverse reinforcement spacings)



Şekil 7. Kiriş için farklı beton sınıfları ve etriye aralıklarında moment-eğrilik diyagramları (Beam moment-curvature diagrams for different concrete classes and transverse reinforcement spacings)

sismik ağırlık, çatı katı yerdeğiştirmesi de bina yüksekliği ile normalize edilmiştir. Aynı beton sınıfı ve etriye aralığı için çizilen kapasite eğrilerine göre eleman bazında görülen kapasite farkları çok belirgin değildir. Yani eleman bazında görülen kapasite ve eğrilik farkları sistem bazındaki çözüme aynı mertebede yansımamaktadır.

Tablo 2. Malzeme modellerinde beton kalitesi ve etriye aralığının süneklilik üzerine etkisi (Effects of concrete class and transverse reinforcement spacing on ductility in material models)

| Malzeme Modeli | Kapasitenin Düşmeye Başladığı Ötelenme Değeri (%) | | | |
|-------------------------|---|------|------|------|
| | BS10 | | BS16 | |
| | S25 | S10 | S25 | S10 |
| Mander | 1.05 | 1.65 | 1.19 | 1.86 |
| Geliştirilmiş Kent-Park | 1.07 | 1.66 | 1.13 | 1.68 |
| Saatçioğlu-Razvi (S&R) | 1.05 | 1.64 | 1.20 | 1.80 |

Şekil 8’de de görüldüğü gibi Geliştirilmiş Kent-Park Beton Modelinde; etriye aralığı sık olduğunda, beton kalitesinin süneklilik üzerinde çok belirgin bir etkisi görülmemesine karşın, Mander ve Saatçioğlu-Razvi malzeme modellerinde bu fark daha belirgindir. Her üç sistemde de kapasite seviyeleri yaklaşık özdeş sayılabilir. Malzeme modellerinde beton kalitesi ve etriye aralığının süneklilik üzerine etkisi Tablo 2’de; her bir modelin farklı beton sınıfı ve etriye aralığı için kapasite eğrileri Şekil 9’da özetlenmiştir.

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (DISCUSSION OF RESULTS)

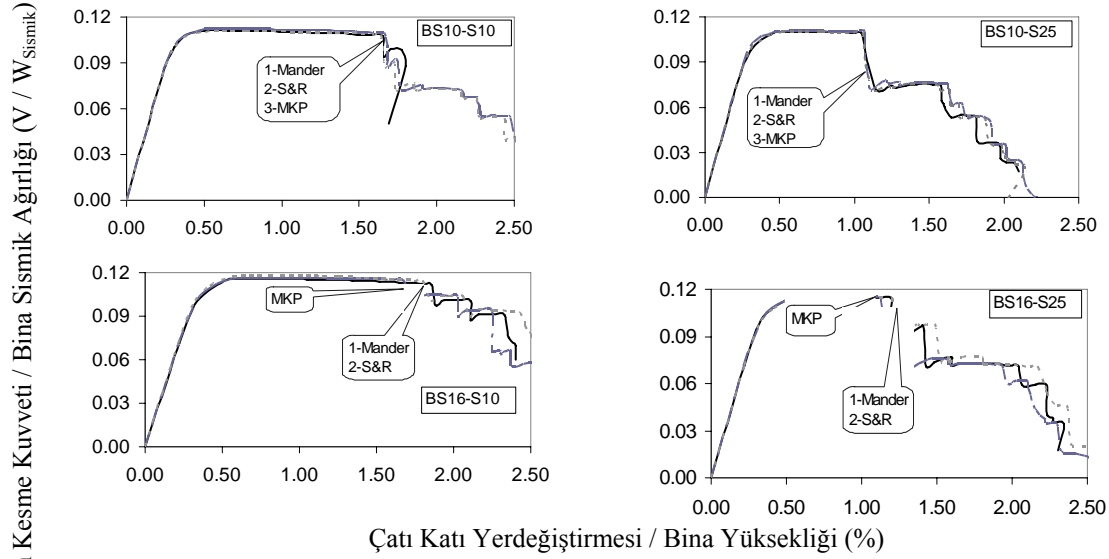
Farklı beton sınıfı ve etriye aralığlarında, farklı beton modellerinin eleman ve sistem bazında davranışa etkisinin incelendiği çalışma sonucunda řu sonuçlar elde edilmiştir. Burada elde edilen sonuçların dikkate alınan binaya benzer binalar için geçerli olacağı söylenebilir;

Özellikle kolon kesitlerinde Mander modeli büyük eğrilik değerleri altında Geliştirilmiş Kent-Park modelinden daha yüksek moment kapasitesi (dayanım) değerleri vermektedir (Şekil 6). Kaynak [18]’de verilen sonuçlar bu çalışmada elde edilen bulguları desteklemektedir.

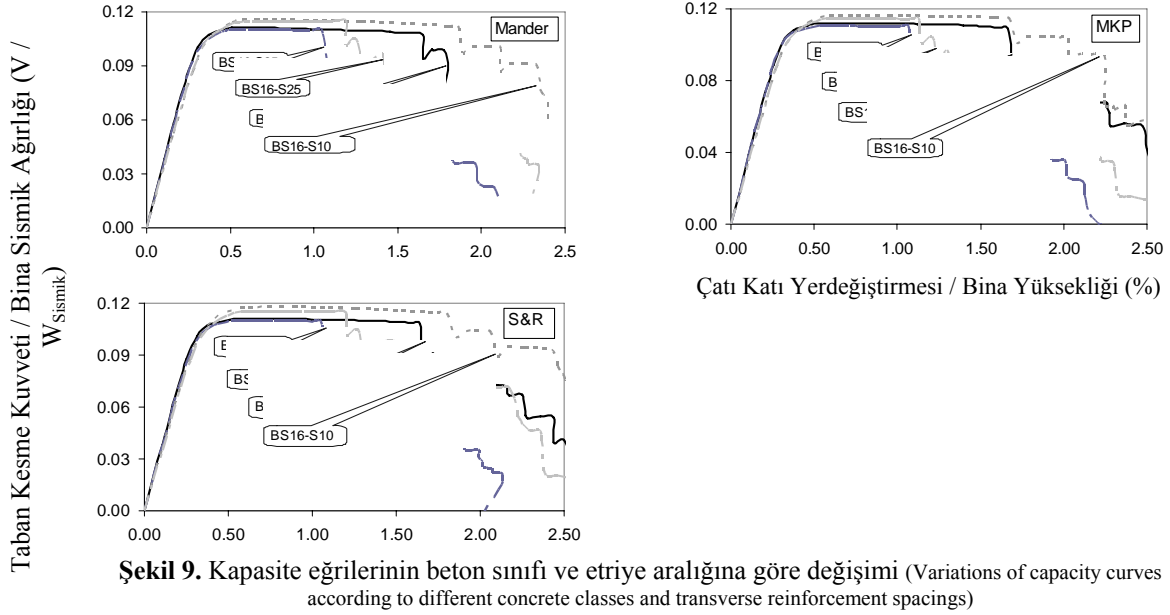
Saatçioğlu-Razvi modeli ise beton sınıfı iyi olduğunda Mander’e yakınsarken, beton kalitesi kötüleştiğinde Geliştirilmiş Kent-Park modeline yaklaşmaktadır.

Kiriş elemanlar için modeller arası farklılık daha belirsizdir [Şekil 7]. Bu tür elemanlarda davranış kullanılan donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi belirleyeceği için modeller arası farklılık belirsizdir. Üzerinde eksenel yük olmayan denge altı donatılı kirişlerde davranışın sünek olması zaten beklenen bir durumdur.

Tüm modeller için sargı donatısı ve beton sınıfının yapının yanal yük taşıma kapasitesi üzerinde belirgin etkisi gözlenmemiştir [Şekil 8].



Şekil 8. Değişik beton sınıfı ve sargı donatısı dikkate alındığında malzeme modellerinin farklılıklarının sistem davranışına etkisi (Effects of material models on structural system behaviour for different concrete classes and transverse reinforcement spacings)



Şekil 9. Kapasite eğrilerinin beton sınıfı ve etriye aralığına göre değişimi (Variations of capacity curves according to different concrete classes and transverse reinforcement spacings)

Beton sınıfının iyileşmesi ve etriye aralığının sıklaşması yapının sünekliğini arttırmaktadır. Belirlenen kriterler altında etriye aralığının değişimi (10-25 cm.) beton sınıfının değişiminden (BS10-BS16) süneklik üzerinde daha fazla etkiye sahiptir [Tablo 2 ve Şekil 9].

Sistem bazında beton kalitesi iyi, etriye aralığı seyrekleştğinde (BS16-S25), Geliştirilmiş Kent-Park'a göre Mander Modeli %5; Saatçioğlu-Razvi Modeli ise %6 daha fazla deplasman kapasitesine sahiptir. Eleman bazında belirgin olan moment-eğrilik farkları sistem bazında etkisini yitirmekte ve yukarıdaki değerlerden de görüleceği üzere betonarme için bu sonuçların etkisi önemsiz seviyelerde kalmaktadır.

Sistem bazında beton kalitesi ve etriye aralığı iyileştiğinde (BS16-S10), Geliştirilmiş Kent-Park'a göre Mander Modeli %11; Saatçioğlu-Razvi Modeli ise %7 daha fazla deplasman kapasitesine sahiptir.

Kesit bazında görülen davranış farklılığının sistem davranışı üzerindeki etkisi oldukça sınırlıdır. Geliştirilmiş Kent-Park modelinin BS16 durumunda

diğer iki modelden daha az süneklik göstermiş olması dışında belirgin farklılık gözlenmemiştir [Tablo 2].

Göçme anındaki mafsallarda dağılımlarına bakıldığında, göçme durumuna geçen mafsalların evvela kolon uçlarında oluşması mekanizmanın kirişlerden önce

kolonlarda yani kuvvetli, kiriş-zayıf kolon mekanizmasını göstermektedir.

SEMBOLLER (LIST OF SYMBOLS)

A_c = Kolonun brüt kesit alanı,
 d_{bl} = Boyuna donatı çapı,
 EI_0 = Çatlamamış kesitin eğilme rijitliği,
 f_c = Sargısız betonun basınç dayanımı,
 f_{co} = Sargısız betonun basınç dayanımı,
 f_{cc} = Sargılı beton basınç dayanımı,
 f_{ye} = Donatı akma dayanımı,
 f_{yh} = Yanal donatı akma dayanımı,
 L_0 = Plastik mafsalsal ile moment sıfır noktası arası mesafe,
 L_p = Plastik mafsalsal boyu,
 M_y = Akma momenti,
 M_u = Kopma momenti,
 V = Taban kesme kuvveti,
 W = Bina ağırlığı,
 $\Delta_{çatı}$ = Çatı kat deplasmanı,
 ε_c = Beton basınç birim şekildeğiştirilmesi,
 ε_{cc} = Sargılanmış beton basınç dayanımına karşı gelen birim kısalma,
 ε_{cg} = Sargılanmış beton bölgesinin sınırındaki beton basınç birim şekildeğiştirilmesi,
 ε_{cu} = Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirilmesi,
 ε_{su} = Donatı kopma uzaması,
 ϕ_y = Akma eğriliği,
 ϕ_u = Kopma eğriliği,
 ρ_s = Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacimsel oranı,
 ρ_{sm} = DBYBHY, 2007 Bölüm 7'de 7.3.4, 7.4.4 veya 7.6.5.2'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sheikh, S. A. ve Uzumeri, S. M., "Analytical model for concrete confinement in tied columns," **Journal of Struct. Div., ASCE**, Vol. 108, No. ST12, pp. 2703-2722, 1982.
2. Mander, J.B., Priestley, M.J.N ve Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," **Journal of Structural Engineering, ASCE**, Vol. 114, pp.1804-1826, 1988.
3. Park, R., Kent, D. C. ve Sampson, R. A., "Reinforced concrete member with cyclic loading," **Journal of Struct. Div., ASCE**, Vol. 98, No. 7, pp. 1341-1360, 1972.
4. Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. ve Taylor, A. W., "Stress-strain model for confined reinforced concrete in bridge piers," **Journal of Struct. Div., ASCE**, Vol. 123, No. 5, pp. 624-633, 1997.
5. Saatcioglu, M. ve Razvi, S., "Strength and ductility of confined concrete," **Journal of Struct. Div., ASCE**, Vol. 118(6), pp.1590-1607, 1992.
6. İlki, A. ve Kumbasar N., "Sargılı Beton İçin Mecut Modellerin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması", **İMO Teknik Dergi**, 2419-2433, Yazı 165, 2001.
7. **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007 (DBYBHY-2007).
8. FEMA-356, **Prestandart and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings**, prepared by ASCE for the Federal Emergency, Washington, D.C., 2000.
9. ATC-40, Applied Technology Council, "**Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings**", Vol 1. Washington, DC. USA, 1996.
10. SEAOC Vision 2000 Committee, **Performance-Based Seismic Engineering** Report Prepared by Structural Engrg Assoc.of California, Sacramento, CA, U.S.A., 1995.
11. CSI, SAP2000 V-8, **Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual**, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, USA, 2002.
12. Ersoy U. ve Özcebe G., **Betonarme**, Evrim Yayınevi, Ankara, 2001.
13. **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik - 1975**.
14. TS-500, **Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
15. TS 498, **Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
16. Paulay, T., ve Priestley M. J. N., **Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonary Buildings**, John Willey & Sons, New York, NY, USA, 744p. , 1992.
17. Kaplan ve Aydın, **Denizli ve Muğla illerinde bulunan kamu binalarına ait Depremsellik İnceleme Raporları**, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 2004-2005.
18. Bayrak, O. and Sheikh, S., A., **Response Predictions By Plasti Hinge Analysis Technique**, Department Of Civil Engineering, University of Toronto, 2000.
19. Atımtay, E., **Çerçeveli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı**, Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri. Cilt 1-2. Bizim Büro Basımevi, Ankara, 2001.