

# BETONARME DÜZLEM ÇERÇEVE BİR YAPININ ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Kutlu DARILMAZ

İTÜ İnşaat Fakültesi Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

## 1. Giriş

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) [1], deprem bölgelerinde bulunan bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere çeşitli yöntemler sunmaktadır.

Bu yöntemlerden bazılarını şekil değiştirme temeline dayalı, doğrusal- elastik olmayan yöntemler oluşturmaktadır. Şekil değiştirme temeline dayalı bu yöntemlerde ortak amaç; verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemlerinin, gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanması ve bu istemlerin kesitlerin şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılmasıyla kesit ve bina düzeyinde deprem performansı değerlendirmesinin yapılmasıdır.

Bu çalışmada, 3 katlı basit bir düzlem betonarme sistemin şekil değiştirme temeline dayalı, doğrusal- elastik olmayan yöntemlerden bir tanesi olan ve DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.5’de anlatılan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile analizi ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, basit bir sistem üzerinde sözkonusu yöntemin uygulama aşamalarını göstermektir. Daha kapsamlı örnekler için [2-4] nolu kaynakların incelenmesi önerilir. Doğrusal-elastik olmayan hesap yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25 m’yi ve toplam katsayısı 8’i aşmayan, ayrıca burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_b \leq 1.4$  olan sistemlere uygulanabilmektedir. Bunlara ek olarak birinci titreşim moduna ilişkin etkin

kütle oranının en az % 70 olması gerekmektedir.

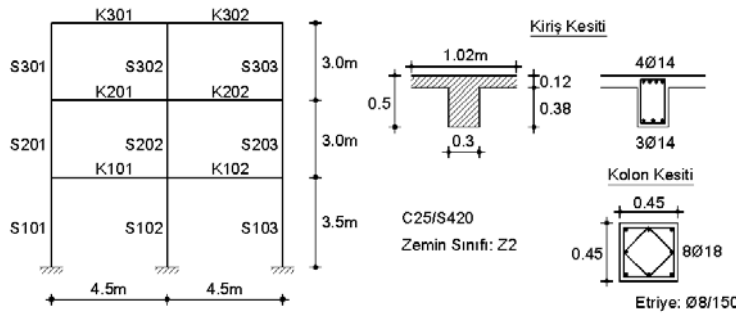
## 2. Taşıyıcı Sistemin Tanımlanması

İncelenen yapıya ilişkin boyutlar ve malzeme özellikleri Şekil 1’de verilmektedir. Sözkonusu yapıda yukarıda belirtilen yöntemin uygulanabilme koşulları sağlanmaktadır.

Sisteme etkileyen düşey yükler Şekil 2’de gösterilmektedir.

## 3. Etkin Rijitliklerin Belirlenmesi

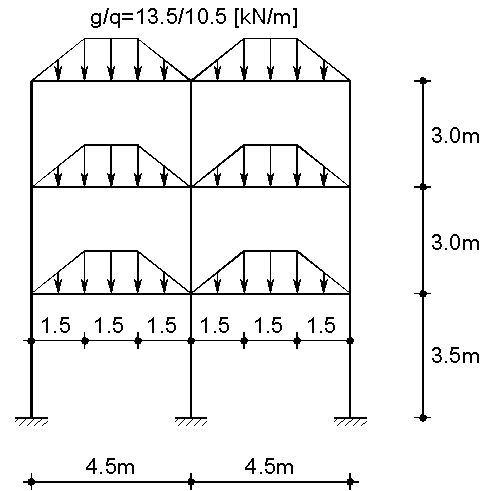
Düşey yükler altında kolonlarda oluşan normal kuvvet değerleri Tablo 1’de verilmektedir.  $N_D$  değerleri, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı (G+nQ) yük birleşiminin ve çatlamamış kesit özelliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabından elde edilmiştir.



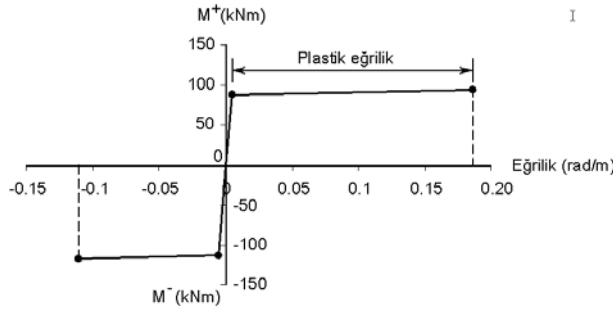
Şekil 1. Şematik düşey kesit ve kiriş, kolon kesitleri

	$N_D$ (kN)	b (m)	h (m)	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$N_D/(A_c \cdot f_{cm})$
S101	154.4	0.45	0.45	0.2025	0.030
S102	101.3	0.45	0.45	0.2025	0.020
S103	49.3	0.45	0.45	0.2025	0.010
S201	294.8	0.45	0.45	0.2025	0.058
S202	194.7	0.45	0.45	0.2025	0.038
S203	100.0	0.45	0.45	0.2025	0.020

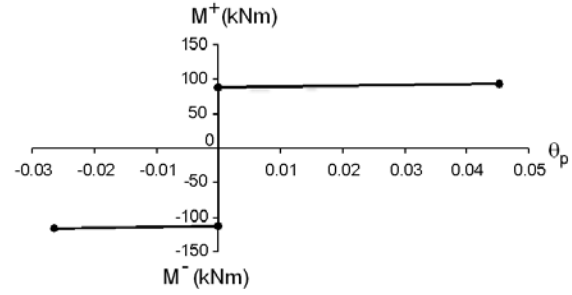
Tablo 1. Kolon normal kuvvetleri



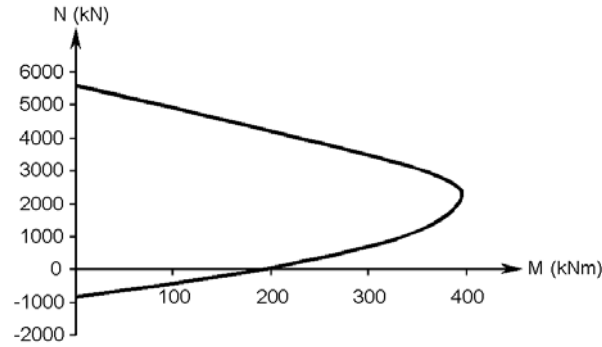
Şekil 2. Düşey yükler (g:sabit, q:hareketli yükü göstermektedir)



Şekil 3. Kiriş plastik kesitleri için moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 4. Kiriş plastik kesitleri için moment-plastik dönme ilişkisi



Şekil 5. Kolon karşılıklı etkileşim diyagramı

Tüm kolonlarda  $N_D/(A_c f_{cm}) < 0.10$  olduğundan dolayı etkin eğilme rijitliği  $(EI)_e = 0.40(EI)_o$  olarak kullanılmıştır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabında ve daha sonraki deprem hesabında elde edilen etkin eğilme rijitlikleri kullanılmaktadır.

#### 4. Kesit Davranışlarının Belirlenmesi

Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacak değerler olarak mevcut beton dayanımı  $f_{cm} = 25 \text{ MPa}$ , mevcut çelik dayanımı  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$  varsayılmıştır. Bilgi düzeyi katsayısı kapsamlı bilgi düzeyi varsayıldığından 1.0 olarak alınmıştır.

Kiriş plastik kesitleri için pozitif ve negatif moment-eğrilik ilişkileri Şekil 3'de verilmektedir.

Moment-eğrilik ilişkisinin elastik bölgesi dışındaki bölüm plastik eğrilik olarak adlandırılmaktadır. Plastik eğrilik değerleri ile plastik mafsalsal boyu ( $L_p = 0.5h$ ) çarpılarak

Moment-plastik dönme ilişkisi elde edilmektedir. Burada  $h$  ilgili moment ile uyumlu kesit yüksekliğidir. Kiriş plastik kesitleri için moment-plastik dönme ilişkisi Şekil 4'de verilmektedir.

Kolonlar içinde moment-plastik dönme ilişkisine ek olarak karşılıklı etkileşim diyagramı elde edilmektedir. Örnek sistemdeki kolon kesiti için karşılıklı etkileşim diyagramı Şekil 5'de verilmektedir.

Belirlenen bu plastik mafsalsal özellikleri deprem etkileri altında en çok zorlanan kiriş ve kolonların uçlarına yerleştirilmektedir.

#### 5. Analiz

Analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu  $T_1 = 0.43 \text{ s}$  olarak ve bu moda ilişkin etkin kütle oranı 0.90 olarak hesaplanmıştır. Yöntemin uygulanabilme koşullarından bir tanesi olan etkin kütle oranının en az 0.70 olması koşulunun sağlandığı görülmektedir.

Kat	$\Phi_{i1}$	$m_i$	$m_i \Phi_{i1}$	$m_i \Phi_{i1}^2$
3	0.1685	20.245	3.411	0.575
2	0.1302	20.255	2.636	0.343
1	0.0712	21.030	1.496	0.106
$\Sigma =$		61.529	7.543	1.024

Tablo 2.

$$M_{x1} = \frac{\left( \sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1}^2} = \frac{7.543^2}{1.024} = 55.56$$

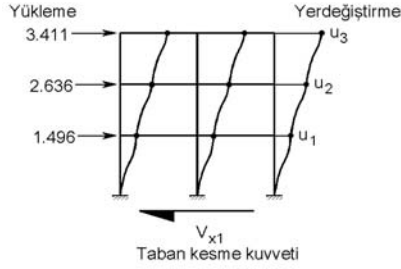
$$\Gamma_{x1} = \frac{\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1}}{\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1}^2} = \frac{7.543}{1.024} = 7.365$$

$$\text{Etkin kütle oranı} = 55.56/61.53 = 0.903 > 0.70$$

$$\Phi_{x31} \Gamma_{x1} = 0.1685 \cdot 7.365 = 1.241$$

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı (G+nQ) bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmaktadır. Bu analizin sonuçlarının, artımsal itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturduğu varsayılmaktadır.

Artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı,



**Şekil 6. Eşdeğer deprem yükü dağılımı**

her katta deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle ( $m_i \Phi_{i1}$ ) orantılı olacak şekilde tanımlanmaktadır.

Çözümleme sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi, koordinatları modal yerdeğiştirme-modal ivme olan hakim moda ilişkin modal kapasite diyagramına dönüştürülmektedir (**Tablo 3 ve Şekil 7**).

Bu dönüşüm aşağıdaki bağıntılar kullanılarak yapılmaktadır.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad d_1^{(i)} = \frac{u^{(i)}_{xN1}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (1)$$

$u_{x1}$	$V_{x1}$	$d_1$	$a_1$	$a_1/g$
0.000	0.0	0.000	0.00	0.000
0.003	27.0	0.002	0.49	0.050
0.011	108.1	0.009	1.95	0.198
0.013	129.3	0.011	2.33	0.237
0.016	149.6	0.013	2.69	0.274
0.019	166.4	0.016	3.00	0.305
0.026	191.3	0.021	3.44	0.351
0.036	216.7	0.029	3.90	0.398
0.039	222.3	0.031	4.00	0.408
0.044	233.5	0.036	4.20	0.429
0.052	247.5	0.042	4.46	0.454
0.055	251.4	0.044	4.52	0.461
0.059	255.5	0.048	4.60	0.469
0.067	260.3	0.054	4.68	0.478
0.078	265.7	0.063	4.78	0.488
0.081	267.1	0.065	4.81	0.490
0.088	270.2	0.071	4.86	0.496
0.099	272.5	0.080	4.90	0.500
0.102	273.0	0.082	4.91	0.501
0.110	274.7	0.089	4.94	0.504
0.116	275.8	0.093	4.96	0.506
0.121	277.0	0.098	4.99	0.508
0.127	278.1	0.102	5.01	0.510
0.135	279.8	0.109	5.04	0.513

**Tablo 3.**

Spektral ivme-spektral yerdeğiştirme diyagramı elde edilirken (2) bağıntısı kullanılmaktadır.

$$S_d^{(i)} = \frac{S_a^{(i)}}{\omega^2} = S_a^{(i)} = \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (2)$$

Örnek sistem için deprem performansının belirlenmesinde aşıma olasılığı 50 yılda %10 olan deprem düzeyi esas alınmıştır.

### 6. Performans Noktasının Belirlenmesi

Hakim moda ait modal yerdeğiştirme istemi ( $d_1$ ), hakim moddaki doğal titreşim periyodu  $T_1=0.43s$ , ilgili yerel zemin sınıfına ilişkin spektrum karakteristik periyodu  $T_B=0.40s$ 'den daha büyük olduğundan dolayı, eşit yerdeğiştirme ilkesi uyarınca  $T_1$  periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye ( $S_{de1}$ ) eşit alınarak  $d_1=0.043m$  olarak hesaplanmıştır.  $T_1$  değerinin  $T_B$  değerinden daha küçük olduğu durumda  $d_1$  ardışık bir yaklaşım işlemi ile belirlenmektedir.

Deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi

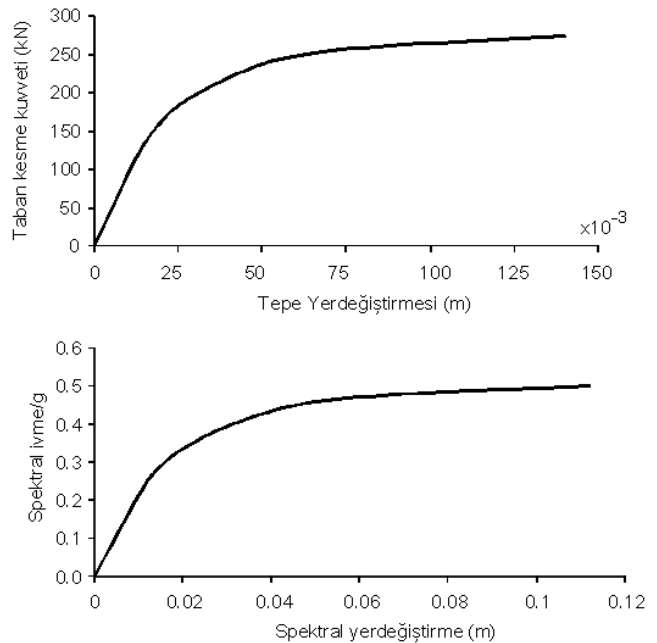
$$u_{xN} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1 = 0.043 \cdot 1.241 = 0.0534m \quad (3)$$

olarak hesaplanır.

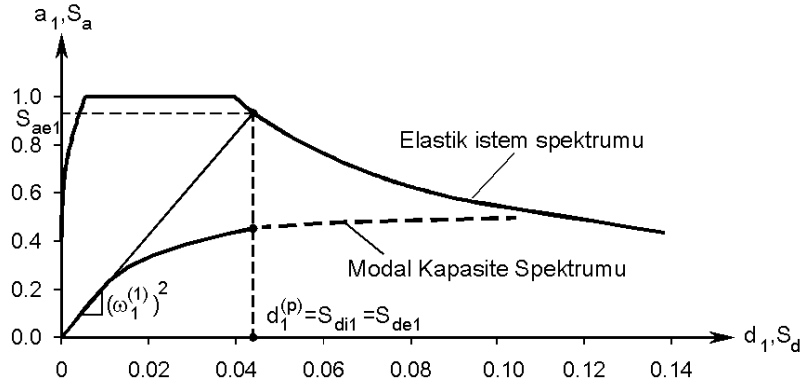
Tepe yerdeğiştirme istemine karşı gelen durumda sistem üzerinde oluşmuş olan plastik mafsallar ve oluşma sırası **Şekil 9**'da gösterilmektedir.

Tepe yerdeğiştirme istemine karşı gelen adımdaki iç kuvvet değerleri **Şekil 10**'da verilmektedir.

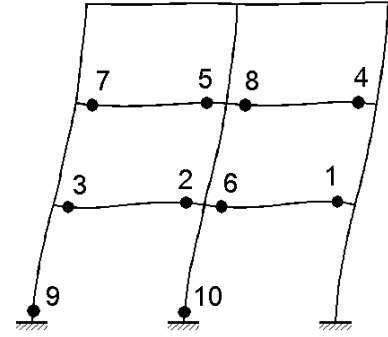
Gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin, iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla doğrusal olmayan itme analizinde hesaplanan tepe yerdeğiştirme istemine karşı gelen itme adımıdaki eleman kesme kuvvetleri değerleri TS500'e göre belirlenen kesme kuvveti dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Kesme kuvvetinin karşılanmasında betonun kesme



**Şekil 7. Taban kesme kuvveti - Tepe Yerdeğiştirme ve Spektral ivme - Spektral Yerdeğiştirme Grafikleri**



Şekil 8. Performans Noktasının Belirlenmesi



Şekil 9. Mafsallaşma durumu ve oluşma sırası

kuvveti taşımadığı varsayılmıştır ( $V_c=0$ ).

Kesme kuvveti dayanımları kirişler için,

$$V_r = V_w = A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot \frac{d}{s}$$

$$= 2 \cdot 50 \cdot 420 \cdot \frac{470}{200}$$

$$= 99224N$$

$$= 99.2kN$$

Kolonlar için,

$$V_r = \left( 2 \cdot 50 + 2 \cdot \frac{50}{\sqrt{2}} \right) 420 \cdot \frac{420}{150}$$

$$= 200755N$$

$$= 200.7kN$$

olarak hesaplanmıştır.

Örnek olmak üzere aşağıdaki kesme kuvveti kontrolleri yapılırsa;

K101 kirişinde,

$$V = 83.3kN < V_r = 99.2 kN$$

S102 kolonunda,

$$V = 96.5kN < V_r = 200.7 kN$$

olduğu görülmektedir. Benzer işlemler diğer elemanlar için yinele-nirse sistemdeki tüm elemanların gevrek olarak hasar görmeyen ele-man olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir.

Kolon kiriş birleşimleri için hesaplanacak  $V_e$  kesme kuvveti isteminin kesme dayanımını aşmaması gerekmektedir. Birleşim bölgelerinin kontrolüne örnek olarak S101-S201 kolonları ile K101 kirişinin birleştiği birleşim bölgesi esas alınırsa  $V_e$  değeri,

$$V_e = 1.25 \cdot f_{ym} \cdot A_s \cdot V_{kol}$$

$$V_e = 1.25 \cdot 420 \cdot 616 - 52300$$

$$= 271100N$$

$$= 271kN$$

olarak hesaplanır.

$V_e$  kesme kuvveti isteminin hesa-

bında kullanılan  $V_{kol}$  değeri doğrusal olmayan analizde ilgili kolon için hesaplanan kesme kuvveti istemi değeridir.

Bu birleşim bölgesi kuşatılmamış birleşim olduğundan,

$$V_e \leq 0.45 \cdot b_j \cdot h \cdot f_{cm}$$

koşulunun sağlanması gerekmektedir.

$$V_e = 271kN < 0.45 \cdot 0.45 \cdot 25000$$

$$= 2278kN$$

Sistemdeki tüm kolon-kiriş birleşim bölgelerinin gevrek olarak hasar görmeyen elemanlar olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir.

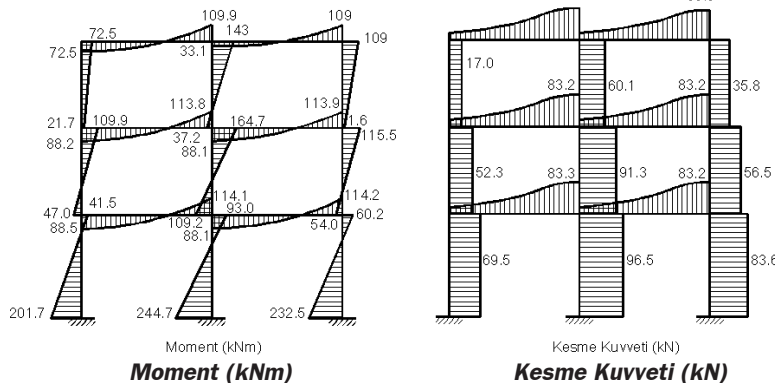
Elemanlardaki plastik dönme değerleri ve bunlara karşı gelen şekil-değiştirme durumları **Tablo 4'**de verilmektedir. Örnek olmak üzere K102 kirişi seçilirse, bu kirişin sağ ucunda hesap sonucunda plastik dönme değeri 0.00682 rad olarak hesaplanmıştır.

Bu kesitte elde edilen  $\theta_p$  plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi,

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.00682}{0.5/2} = 0.0273 \text{ rad/m}$$

olarak hesaplanır.

Aynı kesitteki eşdeğer akma eğriliği moment-eğrilik diyagramından 0.00535 rad/m olarak belirlenir. Kesitteki toplam eğrilik istemi de-



Şekil 10. İç Kuvvet Durumu

Eleman	Mafsal No	$\theta_p$	$\phi_p$	$\phi_e$	$\phi_t$	$\epsilon_c$	$\epsilon_s$
K101	3	0.00544	0.0218	0.00476	0.0265	0.0013	0.0133
K101	2	0.00602	0.0241	0.00535	0.0294	0.0015	0.0141
K102	6	0.00463	0.0185	0.00476	0.0233	0.0012	0.0117
K102	1	0.00682	0.0273	0.00535	0.0326	0.0017	0.0155
K201	7	0.00313	0.0125	0.00476	0.0173	0.0010	0.0085
K201	5	0.00397	0.0159	0.00535	0.0212	0.0014	0.0086
K202	8	0.00260	0.0104	0.00476	0.0152	0.0009	0.0071
K202	4	0.00458	0.0183	0.00535	0.0237	0.0014	0.0091
S101	9	0.00062	0.0028	0.00662	0.0094	0.0011	0.0044
S102	10	0.00011	0.0005	0.00756	0.0080	0.0010	0.0032

**Tablo 4. Elemanlarda şekildeğiştirme durumu**

geri elastik eğrilik ile plastik eğrilik'in toplamı olarak hesaplanır.

$$\begin{aligned}\phi_t &= \phi_e + \phi_p \\ &= 0.00535 + 0.0273 \\ &= 0.03265 \text{ rad/m}\end{aligned}$$

Bu toplam eğrilik istemi kullanılarak betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi daha önceden belirlenen moment-eğrilik analizinden geri dönülerek hesaplanabilir. İlgili değerler söz konusu kesit için  $\epsilon_c = 0.0017$  ve  $\epsilon_s = 0.0155$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan

değerler kesit hasar sınırları ile karşılaştırılır.

$$\begin{aligned}\epsilon_c &= 0.0017 < \epsilon_{c,GV} = 0.0135 \\ \epsilon_s &= 0.0155 < \epsilon_{s,GV} = 0.04\end{aligned}$$

olduğundan söz konusu kesitte güvenlik sınırı sağlanmaktadır. Benzer işlemler plastikleşmenin olduğu tüm kesitlerde yapılmalıdır.

### 7. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Yapının deprem performansının belirlenmesi, kesitlerde oluşan hasarın durumu ile ilişkilidir. Örnek sis-

tem için "Can Güvenliği Performans Düzeyi" minimum performans hedefi olarak seçilirse yönetmeliğin 7.7.3 maddesinde belirtilen koşulların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Sistemdeki tüm kesitler yönetmeliğin 7.6.9.2.(b) maddesinde tanımlanan "Kesit Güvenlik Sınırı" koşullarını sağladığından "Bina Deprem Performansı", "Can Güvenliği Performans Düzeyi" koşullarını sağlamaktadır.

### Kaynaklar

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007.
- [2] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Örnekler Kitabı, N. Aydınoglu, Z. Celep, E. Özer, H. Sucuoğlu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara 2007.
- [3] Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi, Prof. Dr. Z. Celep, İMO İstanbul, Mesleki Eğitim Kursu, 2007.
- [4] Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Z. Celep., İstanbul 2007.

## Beton Silindir Yarışması'08

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi bünyesinde 1990 yılından beri faaliyetlerine devam eden Mühendisliğe Hazırlık Kulübü bu yıl ikincisini düzenlediği beton silindir yarışmasını, geçen sene İstanbul bölgesindeki üniversitelerin katılımıyla organize etmiş olduğu ilk yarışmanın kazandırdığı bilgi ve deneyimin ışığında, ulusal bir kimliğe taşımaya hazırlanıyor. ACI rehberliğinde MHK, bu sene yarışmayı Türkiye genelinde üniversitelerin katılacağı, dereceye giren takımları ödülleri beklediği dev bir öğrenci şenliğine dönüştürmek için gereken adımları atmaya başladı bile... Bütün genç mühendis adaylarını 31 Mayıs'da İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarlarına, bu organizasyonda bizlerle olma ve teoriyi uygulamaya dökmenin keyfine vana güzel bir gün geçirmeye davet ediyoruz. Son başvuru tarihi 30 Nisan 2008.



## Resmî Gazeteden...

		Tarih	Sayı
Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği	Yönetmelik	05.02.2008	26778
Yapı, Tesis ve Onarım İşleri İhalelerinde Kullanılan Müteahhitlik Karneleri ve İş Bitirme Belgelerinin 2008 Yılına Ait Değerlendirme Katsayıları Hakkında Tebliğ	Tebliğ	19.02.2008	26792
Proje ve Kontrollük İşlerinde Uygulanacak Fiyat Artış Oranları Hakkında Tebliğ	Tebliğ	29.02.2008	26802

Ayrıntılı Bilgi: <http://rega.basbakanlik.gov.tr>