BETON MUKAVEMETİNDEKİ DEĞİŞKENLİĞİN BETONARME YAPISAL ELEMANLARIN GÖÇME RİSKİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Altay GÜNDÜZ

Profesör
Yıldız Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bir yapısal sisteme ilişkin durum fonksiyonunun içerdiği stokastik değişkenlerin ortalama değerleri ve varyansları biliniyorsa, sistemin göçme riski ve dolayısıyla güvenilirliği "ikinci-moment yaklaşımı"yla belirlenebilir. Belirli bir ortalama değere ve varyansa sahip bir rasgele değişken çeşitli durum fonksiyonlarında bulunabilir. Anılan değişkenin bu fonksiyonların varyanslarına katkısı, onların yapısına bağlı değişir. Katkı, öteki değişkenlerin durum fonksiyonu varyansına katkılarına oranla küçükse gözönüne alınmayabilir -sözkonusu değişken "deterministik değişken" kabul edilebilir. Bu bağlamda, ortalama mukavemeti ve varyansı belirli bir betonun, çeşitli durum fonksiyonlarının varyanslarına -farklı- katkısı ve dolayısıyla ilgili elemanların göçme risklerine etkisi, durum fonksiyonlarının içerdiği öteki değişkenlerin ortalama değerleri ve varyansları sabit tutularak irdelenebilir ve belirlenebilir.

1. GİRİŞ

Yapısal tasarım temel değişkenleri olan yükler, malzeme mukavemetleri, boyutlar vb. stokastik büyüklüklerdir. Belirli aralıklarda değer alabilmeleri, ancak belirli olasılıklarla mümkündür. En az iki istatistikle tanımlanabilirler; ortalama değer ve varyans (standart sapmanın karesi). Bu yüzden yapıların mukavemeti ve güvenliği rasgele olgulardır. Daha açık anlatımla bir yapıda, "istenmeyen bir durum"un (tehlike) ortaya çıkma ihtimali (risk) herzaman vardır -yokedilemez. Yapısal tasarımda anılan durum limit durum, gerçekleşme ihtimali göçme riski yada göçme olasılığı; gerçekleşmeme ihtimali güvenilirlik yada kalıcılık olasılığı terimleriyle adlandırılır. Burada "göçme" (tükenme, failure) terimi -en genel anlamdaherhangi bir limit duruma ulaşılmayı belirtir. O halde sorun, yapısal tasarımda ve gerçekleştirilen yapıda, potansiyel göçme riskinin kabul edilen düzeyi [1, 2] aşmamasının sağlanmasıdır. Betonarme yapıların limit durumlara göre tasarımında bu sorun, malzeme mukavemetleriyle ve yüklerle ilgili kısmi güvenlik katsayıları kullanılarak çözülür.

Öte yandan, betonarme yapısal elemanların davranışını yada durumunu belirleyen matematiksel modellerin içerdiği rasgele değişkenlerin ortalama değerleri ve varyansları biliniyorsa, bu elemanların göçme riskleri -dolayısıyla güvenilirliği- "ikinci-moment yaklaşımı"yla tahmin edilebilir. Bu makalede beton mukavemetindeki istatistiksel değişkenliğin kirişlerin ve kolonların göçme risklerini nasıl ve ne ölçüde etkilediği anılan yaklaşımla irdelenecektir.

2. İKİNCİ - MOMENT YAKLAŞIMIYLA YAPISAL GÜVENİLİRLİĞİN TAHMİNİ

Bir yapısal sistemin davranışı, davranış fonksiyonu yada durum fonksiyonu terimiyle adlandırılan bir matematiksel modelle betimlenebilir [3]:

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \tag{1}$$

Z, sistemin davranışını yada durumunu belirleyen fonksiyon;
$X_1, X_2, \dots, X_n$ sistemin tasarım değişkenleri.

Davranış istemini sınırlayan Z=0 durumu, sistemin limit durumu olur. $Z > 0$ güvenli durumu, $Z < 0$ göçme durumunu belirtir. Geometri bakımından limit durum denklemi, Z=0, n-boyutlu bir yüzeyi betimler. Bu yüzeye göçme yüzeyi yada limit durum yüzeyi denir. Sorun, göçme olasılığının, $p_F = p(Z \leq 0)$, belirlenmesidir. Göçme olasılığı bilinen bir yapısal sistemin güvenilirliği $p_S = p(Z > 0) = 1 - p(Z < 0) = 1 - p_F$ olur.

Bir yapısal sisteme ilişkin (1) bağıntısıyla belirli durum fonksiyonunun içerdiği rasgele değişkenlerin, X_i, ortalama değerleri, m_i, ve varyansları, $Var(X_i)$ biliniyorsa; Z nin ortalama değeri, m_Z, ve varyansı, $Var(Z)$, olasılık teorisine göre belirlenebilir [4]. Ortalama değeri ve varyansı bilinen durum fonksiyonu olasılık dağılımı normal (N) kabul edilebilir. Göçme ve kalıcılık olasılıkları "ikinci-moment" (varyans) yaklaşımıyla belirlenebilir (Şekil 1) [4, 5] :

$$m_Z \approx g(m_1, m_2, \dots, m_n) \tag{2}$$

$$\mathrm{Var}\ (Z) = \sigma_Z^2 \approx \sum_{i=1}^{n} (\partial g/\partial X_i)^2\ \mathrm{Var}\ (X_i) \tag{3}$$

$$p_F = p(Z < 0) = \Phi(-m_Z/\sigma_Z) = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \tag{4}$$

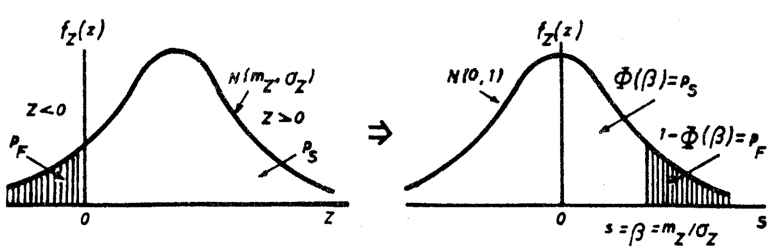
$$p_S = p(Z > 0) = 1 - p_F = \Phi(\beta) \tag{5}$$

Kısmi türevler ortalama değerlere göre hesaplanır. (1) ve (2) bağıntıları, durum fonksiyonu değişkenleri arasında korelasyon olmadığı varsayımına göre çıkarılmıştır. $\Phi(.)$= standart normal dağılım fonksiyonu.
$s = \beta = m_Z / \sigma_Z = 1/V_Z$ standart değişkeninin değeri, güvenilirlik indeksi olarak tanımlanır; $V_Z = \sigma_Z/m_Z$, durum fonksiyonu varyasyon katsayısı. Standart normal dağılım eğrisinin $s = \beta$ nın solunda kapattığı alan (fractile, p_S) kalıcılık olasılığını, sağında kapattığı alan (fractile, p_F) göçme olasılığını verir (Şekil 1) [3, 4, 5].

(3) bağıntısı sonucu, durum fonksiyonunun içerdiği herhangi bir değişkenin fonksiyonun varyansına bağıl etkisi, boyutsuz bir duyarlılık katsayısıyla (α) ifade edilebilir [1, 2, 3, 5-8] :

$$\alpha_i = [(\partial g/\partial X_i)^2\ \mathrm{Var}\ (X_i)/\mathrm{Var}\ (Z)]^{1/2} \tag{6}$$

$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 = 1$ olur.



Şekil 1 Göçme ve kalıcılık olasılıklarının ikinci-moment yaklaşımıyla belirlenmesi.

Ortalama değeri m_i, standart sapması σ_i, duyarlılık katsayısı α_i, ve olasılık dağılımı normal olan bir X_i durum fonksiyonu değişkeninin tasarım değeri şöyle belirlenebilir:

$$\partial_g/\partial X_i > 0 \quad \text{ise} \quad X_{id} = m_i - \alpha_i \beta \sigma_i \tag{7a}$$

$$\partial_g/\partial X_i < 0 \quad \text{ise} \quad X_{id} = m_i + \alpha_i \beta \sigma_i \tag{7b}$$

Durum fonksiyonu değişkenlerinin tasarım değerleri, fonksiyonun limit durumunu, Z=0, belirler. Ortalama değeri ve varyansı belirli bir değişkenin duyarlılık katsayısı, bir olgudan ötekine ve durum fonksiyonunun yapısına bağlı değişir. Belirli bir durum fonksiyonu ve olgu için duyarlılık katsayıları -öteki değişkenlerinkine kıyasla- çok küçük olan değişkenler, deterministik değişken kabul edilebilir ve bunların tasarım değerleri ortalama değerlerine eşit alınabilir; $X_{id} \approx m_i$.

3. BETON MUKAVEMETİNDEKİ İSTATİSTİKSEL DEĞİŞKENLİĞİN YAPISAL ELEMANLARIN GÖÇME RİSKİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bu bölümde beton mukavemeti dağılımının ölçüsü olan varyansla yapısal eleman göçme riski arasındaki ilişki irdelenecektir. İrdelemeyi somutlaştırmak için bir basit kiriş, eksenel yüklü bir kolon ve iki olgudan oluşan bir senaryo tasarlanmıştır. Anılan yapısal elemanların eğilme momenti ve eksenel yük kapasiteleriyle ilgili durum fonksiyonları şöyle kabul edilmiştir:

$$Z = A_s f_y \left[d - (0.59\, A_s f_y / b f_c)\right] - M = g(A_s, f_y, d, b, f_c, M) \tag{8}$$

$$Z = 0.85\, bhf_c + A_s f_y - N = g(b, h, f_c, A_s, f_y, N) \tag{9}$$

Olgularda, durum fonksiyonu değişkenleriyle ilintili istatistik değerler -betona ilişkin varyasyon katsayısı dışında- aynı kabul edilmiştir (Tablo I). Birinci olgular, $V_c = 0.15$ için, kabul edilebilir bir göçme riski $(10^{-6})^{(+)}$ oluşacak şekilde tasarlanmış ve bu risk referans alınmıştır. İkinci olgularda, $V_c = 0.25$ için göçme riskleri hesaplanmış

(+) Uluslararası kabullere göre, son limitler için tasarımda göçme riski 10^{-6} alınabilir [1, 2].

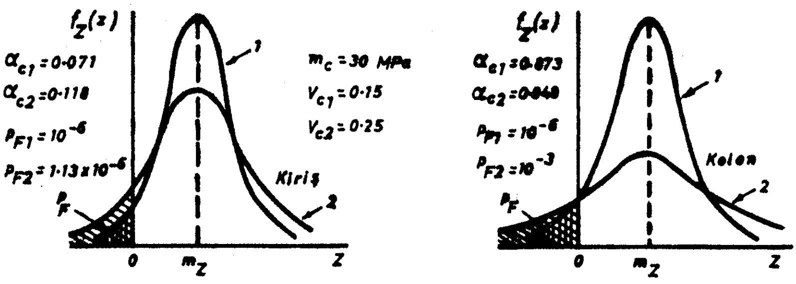
ve referans riskle karşılaştırılmıştır (Tablo II). Belirlemeler 2. Bölüm'de özetlenen ikinci-moment yaklaşımıyla yapılmış, olgulara ilişkin betimsel olasılık dağılımları Şekil 2 de gösterilmiştir.

Tablo I Durum fonksiyonu değişkenlerine ilişkin istatistik değerler

Olgu	X_i	m_i	V_i	σ_i
1-2, Kiriş, Z (8)	A_s (mm^2)	2000	0.03	60
	f_y (MPa)	230	0.08	18.4
	d (mm)	500	0.01	5
	b (mm)	300	0.01	3
	M (kNm)	77.6	0.30	23.28
1-2, Kolon, Z (9)	b (mm)	500	0.01	5
	h (mm)	500	0.01	5
	A_s (mm^2)	2500	0.03	75
	f_y (MPa)	230	0.08	18.4
	N (kN)	1750	0.30	525
1	f_c (MPa)	30	0.15	4.5
2	f_c (MPa)	30	0.25	7.5

Tablo II Olgulara ilişkin göçme risklerinin karşılaştırılması

Yapısal eleman	Olgu	V_c	α_c	β	p_F	p_{F2}/p_{F1}
Kiriş	1	0.15	0.071	4.75	10^{-6}	-
	2	0.25	0.118	4.73	1.13×10^{-6}	1.13
Kolon	1	0.15	0.873	4.75	10^{-6}	-
	2	0.25	0.948	3.09	10^{-3}	1000



Şekil 2 Olgulara ilişkin betimsel olasılık dağılımları

İrdeleme ve belirlemeler

Tablo II ve Şekil 2 den görüleceği gibi, yalnızca betona ilişkin varyasyon katsayısının 0.15 ten 0.25 e yükselmesi, göçme riskinin; kirişte referans riskin 1.13 katına, kolonda 1000 katına ulaşmasına yolaçmıştır. İlgili durum fonksiyonlarının yapısından kaynaklanan bu farklı risk artışları, güvenilirlik yönünden; beton mukavemetindeki değişimlere karşı kolonun çok duyarlı, kirişin ise hemen hemen duyarsız olduğunu belirtir. Bu bağlamda, örnekse, birinci kiriş olgusu için beton mukavemeti -duyarlılık katsayısı 0.071 olduğundan- deterministik değişken kabul edilebilir. Bu kabulle ilgili göçme riski 0.97×10^{-6} olur. Dolayısıyla güvenilirliğin tahmininde önemli bir hata oluşmaz. Birinci kolon olgusunda ise sözkonusu katsayı 0.873 olduğu için beton mukavemeti deterministik değişken kabul edilemez.

Malzeme mukavemetlerine ilişkin olasılık dağılımları genellikle lognormal kabul edilebilir ve $V_c \leqslant 0.30$ olan betonların tasarım mukavemetleri şu bağıntıyla belirlenebilir [2, 4, 9, 10] :

$$f_{cd} = m_c \exp\left[-\alpha\beta \; V_c - 0.5\, V_c^2\right] \qquad (10)$$

Bağıntıya göre, birinci kiriş ve kolon olguları için betonun tasarım mukavemetleri, sırayla, 28.20 MPa ve 15.93 MPa olur. Limit durumlara göre tasarımda ise anılan mukavemet, karakteristik mukavemetin ilgili kısmi güvenlik katsayısına bölünmesiyle bulunur; $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$.
CEB MC 78 de, CEB MC 90 da (taslak) ve TS 500-84 standartında anılan katsayının genelde 1.5 alınması önerilmektedir [1, 11, 12] . Öte yandan,

betona ilişkin kısmi güvenlik katsayısı, karakteristik mukavemetle ilgili belirli bir risk için (% 5, CEB. % 10, TS 500) göçme riskinin (p_F) ve varyasyon katsayısının (V_c) fonksiyonu olarak hesaplanabilir; $\gamma_c = g(p_F, V_c) = g(\beta, V_c)$ [2, 9, 10] . Dolayısıyla karakteristik mukavemete ilişkin riskin % 10 ve göçme riskinin 10^{-6} kabul edilmesi durumunda $\gamma_c = 1.5$ alınabilmesi için, varyasyon katsayısının aktuel değerinin 0.15 i aşmaması gerekir. Bu konu ilerde daha yakından irdelenecektir.

Limit durumlara göre tasarımda, yapımda kullanılacak beton için hedef ortalama mukavemet (altına inilmemesi gereken mukavemet), ilgili olasılık dağılımı normal kabul edilerek $m_c = f_{ck}/(1 - s\ V_c)$ bağıntısıyla hesaplanabilir. % 5 ve % 10 risk için standart normal dağılım değişkeninin değerleri, sırayla, 1.64 ve 1.28 olur [4]. Şimdi, tasarımın $f_{ck} = 20$ MPa (C20) ve $V_c = 0.15$ için yapıldığını ve karakteristik mukavemetle ilgili riskin % 5 ve göçme riskinin 10^{-6} kabul edildiğini varsayalım. Kısmi güvenlik katsayısı 1.5 alınabilir. Tasarım mukavemeti 13.33 MPa ve hedef ortalama mukavemet 26.53 MPa bulunur. İkinci-moment yaklaşımında, kiriş ve kolonla ilgili birinci olgularda, betonun ortalama mukavemeti 30 MPa, varyasyon katsayısı 0.15 kabul edilmiş ve göçme riski 10^{-6} bulunmuştur. Bu bakımdan betonun bu olgularla ilgili tasarım mukavemetleri, anılan limit durum tasarımındakilerle karşılaştırılabilir:

Betonun tasarım mukavemetleri (MPa)

Yapısal eleman	İkinci-moment yaklaşımında	Son limite göre tasarımda
Kiriş	28.20	13.33
Kolon	15.93	13.33

O halde, bir yapısal sistemin limit durumlara göre tasarımında betonun tasarım mukavemetinin tüm yapısal elemanlar için aynı alınması, eleman göçme risklerinin farklı bulunmasına neden olur. Öte yandan, birinci kiriş ve kolon olgularında donatı çeliği akma mukavemetiyle ilgili duyarlılık katsayıları, sırayla, 0.555 ve 0.042 bulunmuştur. Bu da, çeliğin akma mukavemetindeki değişimlerin; kirişin göçme riskini büyük ölçüde etkilediğini, kolonunkini ise hemen hemen etkilemediğini gösterir. Özetle, beton mukavemetindeki değişimler; eksenel yükü baskın kolonların göçme risklerini önemli ölçüde, kiriş risklerini ise önemsiz ölçüde etkiler.

Betona ilişkin kısmi güvenlik katsayıları aşağıdaki bağıntılarla belirlenebilir [2, 9, 10, 13] :

$$\gamma_c = (1 - s\, V'_c)/\exp(-\alpha\beta\, V'_c - 0.5\, V'^2_c) \tag{11}$$

$$V'_c = (V_c^2 + V_{ce}^2)^{1/2} \tag{12}$$

V'_c = stokastik model belirsizliği gözönünde bulundurularak artırılmış varyasyon katsayısı, $V_c = \sigma_c/m_c$ = aktuel varyasyon katsayısı, V_{ce} = stokastik model belirsizliği (0.1 e eşit alınabilir) [13, 14] . Bu bağıntılarla $\alpha = 0.70$-0.75 kabul edilerek çeşitli β ve V_c değerleri için hesaplanan kısmi güvenlik katsayılarının ortalama değerleri, CEB MC 78 de, MC 90 da (taslak) ve TS 500-84 te verilen götürü değerlerle uyuşmaktadır [2, 9, 10] . Örnekse; $s = 1.28$ (% 10 risk), $\beta = 4.75$ ($p_F = 10^{-6}$), $V_c = 0.15$, $V_{ce} = 0.1$, $\alpha = 0.75$ için $\gamma_c = 1.49$ olur. İrdelemeler, eksenel basıncın baskın olduğu kolonlarda, betona ilişkin duyarlılık katsayısının 0.90 a ulaştığını, hatta kimizaman 1.0 e yaklaştığını göstermektedir. Bu değerlere ve örnekteki öteki kabullere göre hesap yapılırsa; $\alpha = 0.90$ ve 1.0 için kısmi güvenlik katsayıları, sırayla, 1.69 ve 1.84 bulunur.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Beton mukavemetindeki istatistiksel değişimler, betonarme yapısal sistem elemanlarının göçme risklerini ve dolayısıyla güvenilirliklerini farklı boyutlarda etkiler. Eksenel basıncın hakim olduğu kolonlar, anılan değişimlere karşı son derece duyarlı yapısal elemanlardır. Makalede irdelenen olgular, yalnızca betona ilişkin varyasyon katsayısının 0.15 ten 0.25 e yükselmesinin, eksenel yüklü bir kolonun göçme riskini 1000 kat artırdığını göstermiştir. Olgudan olguya değişen bu artış, daha büyük boyutlara da ulaşabilir [15]. Buna karşılık kirişler, göçme riskleri sözkonusu değişimlerden çok az etkilenen elemanlardır.

Son limite göre tasarımda, yapısal sistemin tüm elemanları için betona ilişkin kısmi güvenlik katsayısının aynı alınması -tasarım mukavemetlerinin eşit kabul edilmesi- yapısal elemanların farklı güvenilirliklere sahip olması anlamına gelir. Özellikle bu kabul, eksenel yükü baskın kolonların göçme risklerinin, kiriş risklerinden büyük olmasına neden olur. Oysa, çoğuzaman -seri ve paralel- karma sistemlerden oluşan hiperstatik yapısal sistemlerde; düşey yükler altında, eksenel yükünün baskın olması beklenen bir bodrum kat orta kolonunun göçmesi, yapının bütünüyle göçmesine yolaçabilir.

Betona ilişkin kısmi güvenlik katsayıları, karakteristik mukavemetle ilgili belirli bir risk için, kabul edilen göçme riskinin ve varyasyon katsayısının fonksiyonu olarak belirlenebilir. Belirlemede, varyasyon katsayısının aktuel değeri yerine, stokastik model belirsizliğini içeren artırılmış değeri kullanılmalıdır. "Göçme riski-varyasyon katsayısı-kısmi güvenlik katsayısı" üçlü ilişkisi, hedef ortalama mukavemetin hesaplanmasında da gözönünde bulundurulmalıdır. Örnekse, tasarımda karakteristik mukavemet için risk % 10, göçme riski 10^{-6} kabul edilmiş ve kısmi güvenlik katsayısı 1.5 alınmış ise; varyasyon katsayısının aktuel değeri 0.15 ten büyük olmamalıdır. Aktuel değer 0.15 ten büyükse ve anılan göçme riskinin aşılmaması isteniyorsa, kısmi güvenlik katsayısı büyültülmelidir. Ne var ki bu çözüm; yapısal sistemdeki mukavemet dağılımının değişkenliğini artırır, boyutların büyültülmesini gerektirir, hedef ortalama mukavemetin gerçekleştirilmesinde sorun yaratabilir, ayrıca ekonomik de değildir. O halde hedef, varyasyon katsayısı 0.15 ten küçük beton üretilmesi olmalıdır.

Bununla birlikte, son limitlerine basınç kırılmasıyla ulaşan kolonların tasarımında, özel olarak ihtiyatlı davranılmalıdır: Karakteristik mukavemete ilişkin riskin % 10 ve göçme riskinin 10^{-6} kabul edildiği durumlarda ve aktuel varyasyon katsayısının 0.15 i aşmaması halinde; bu kolonlar için betonun tasarım mukavemeti, kısmi güvenlik katsayısı 1.7 alınarak belirlenmeli, minimum eksantrisite sözkonusu olduğu zaman katsayı 1.8 e yükseltilmelidir. Bu bağlamda, tüm kolonlar için önboyutlandırmanın; eksenel tasarım yüküne ve kısmi güvenlik katsayısı en az 1.8 alınarak belirlenen beton tasarım mukavemetine göre yapılması uygun yaklaşım olur.

Tasarımın güvenilirliği bakımından, beton mukavemetindeki değişimlere karşı duyarlı olması beklenen yapısal elemanlarla ilgili göçme risklerinin "ikinci-moment yaklaşımı"yla tahmin edilmesi; riskin fazla görülmesi halinde, betonun tasarım mukavemetinin küçültülmesi önerilir.

Son olarak, tasarımın yalnızca bir tahmin olduğunu; öngörülen yapısal davranışın gerçekleşmesinin, tasarımdaki kabullerin ve varsayımların, olasılıksal belirlemeler sonucu yapılmış olmasına büyük ölçüde bağlı bulunduğunu belirtmek isteriz.

KAYNAKLAR

1. CEB, "CEB-FIP Model Code for Concrete Structures," Bulletin d'Information 124/125, 75-90, Paris, April 1978.

2. CEB, "Conceptional preparation of future codes," Progress Report, Bulletin d'Information 147, 1-230, Paris, January 1982.

3. ANG, A. H-S., and TANG, W. H., Probability Concepts in Engineering Planning and Design, V.II, Decision, Risk and Reliability, 333-392, New York, Wiley, 1984.

4. ANG, A.H-S., and TANG, W.H., Probability Concepts in Engineering Planning and Design, V.I, Basic Principles, 81-100, 171-200, 380-382, New York, Wiley, 1975.

5. GÜNDÜZ, A., "Yapısal göçme olasılığının belirlenmesiyle ilgili bir yaklaşım," Yıldız Üniversitesi Dergisi, 1984/3-4, 23-32, İstanbul, 1983.

6. LIND, N. C., "Consistent partial safety factors, "Proceedings ASCE, V.97, ST6, 1651-1669, June 1971.

7. PALOHEIMO, E., and HANNUS, M., "Structural design based on weighted fractiles," Proceedings ASCE, V.100, ST7, 1367-1377, July 1974.

8. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., General Principles on the Specification on Safety Requirements for Structures, 25-30, Berlin (West), Beuth Verlag, 1981.

9. GÜNDÜZ, A., "Yapısal tasarımda kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesiyle ilgili bir yaklaşım," Yıldız Üniversitesi Dergisi, 1986/1, 29-38, İstanbul, 1986.

10. GÜNDÜZ, A., "Structural risk analysis and reliabilty-based design of reinforced concrete structures," Bulletin of the Technical University of Istanbul, V.41, No.3, 387-399, İstanbul, 1988.

11. CEB, "CEB-FIP Model Code 1990," (First Predraft 1988), Bulletin d'Information 190a, 1.26, Lausanne, July 1988.

12. TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ (TSE), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500-1984), 28-29, Ankara, 1985.

13. CEB, "Basic notes on model uncertainties," (State-of-the Art Report), Bulletin d'Information 170, 1-29, Appendix: 1-33, Lausanne, February 1985.

14. GÜNDÜZ, A., "Assessment of model uncertainties in structural design," Yıldız Üniversitesi Dergisi, 1986/4, 65-76, İstanbul, 1986.

15. GÜNDÜZ, A., "Beton mukavemetinin betonarme yapıların göçme riski üzerindeki etkisi," Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Sempozyumu, Sempozyum Kitabı, 151-161, İstanbul, Haziran 1988.

İŞARETLER

A_s	donatı alanı
M	eğilme momenti
N	eksenel yük, normal dağılım
V	varyasyon katsayısı (= σ/m)
Var	varyans (standart sapmanın karesi)
Z	durum fonksiyonu /davranış fonksiyonu
X	rasgele değişken
b,h	enkesit boyutları
c	betona ilişkin alt notasyon
d	etkili derinlik, tasarım değerini belirten alt notasyon
f_c	betonun basınç mukavemeti
f_{ck}	betonun karakteristik basınç mukavemeti
f_{cm}	betonun ortalama basınç mukavemeti, hedef ortalama mukavemet
f_y	donatı çeliğinin akma mukavemeti
m	ortalama değer
p_F	göçme olasılığı (göçme riski)
p_S	kalıcılık olasılığı (güvenilirlik)
s	standart değişken değeri
α	duyarlılık katsayısı
β	güvenilirlik indeksi
γ	kısmi güvenlik katsayısı
$\Phi(.)$	standart normal dağılım fonksiyonu
σ	standart sapma