

VAROLAN YAPILARIN GÜVENİLİRLİĞİNİN TAHMİN EDİLMESİYLE İLGİLİ YAKLAŞIMLAR ÜZERİNE BİR İRDELEME

A STUDY ON THE APPROACHES RELATED WITH THE RELIABILITY OF EXISTING STRUCTURES

Altay Gündüz¹

SUMMARY

The structural performance changes with time due to the effects of enviromental events. In view of the structural reliability (probability of survival) this variation must be diagnosed and assessed in the determined time intervals and if necessary the structure must be interfered. The actual reliability of structure is the dominant determinative of the above mentioned procesess, especially to decide the intervention and to select the intervention type. Also, redesigning process of the structure having different structural characteristics resulting from intervention involves the estimation of survival probability. In this context, if the actual actions and resistance related with an existing structure are identified in a realistic manner with a **posteriori** inspections, the survival or failure probability can be estimated as a function of these actions and resistance by different level probabilistic approaches. These approaches are studied in this paper.

ÖZET

Çevresel olayların etkisiyle yapısal performans zaman içerisinde değişir. Yapısal güvenilirlik/kalıcılık olasılığı ve kullanılabilirlik yönünden bu değişimin belirli zaman dilimlerinde tanınması, değerlendirilmesi ve gerekiyorsa yapıya müdahale edilmesi gerekir. Yapının güncel güvenilirliği anılan süreçlerin, özellikle müdahaleye karar sürecinin ve müdahale türü seçiminin baskın belirleyicisidir. Müdahale sonucu yapısal özellikleri değişmiş yapının yenidentasarım süreci de kalıcılık olasılığının tahminini içerir. Bu bağlamda, varolan bir yapıya ilişkin fiili etkiler ve mukavemetler a **posteriori** belirlemelerle gerçekçi şekilde tanımlanabiliyorsa, yapının kalıcılık ya da göçme olasılıkları bunların fonksiyonu olarak farklı düzeyde olasılıksal yaklaşımlarla tahmin edilebilir. Bildiride bu yaklaşımlar anahatlarıyla irdelenmiştir.

¹Prof.,Y.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Yıldız, İstanbul

GİRİŞ

Çevresel ve/veya içsel olayların etkisiyle yapıların işlevleriyle ilgili beklentilerin gerçekleşme düzeyi, **yapısal performansları** zaman içerisinde değişir. Yapısal güvenilirlik/kalıcılık olasılığı ve kullanılabilirlik yönünden bu değişimin belirli zaman dilimlerinde denetlenmesi; yapının tanınması ve değerlendirilmesi gerekir. Tanı ve değerlendirme performansın yetersiz olduğunu gösteriyorsa, yapıya müdahale edilir. Yapının güncel güvenilirliği anılan süreçlerin, özellikle müdahaleye karar ve müdahale türü seçimi süreçlerinin baskın belirleyicisidir [1, 2]. Müdahale sonucu yapısal özellikleri değişmiş bir yapının **yenidentasarı**m (redesign) [3, 4] süreci de kalıcılık olasılığının tahminini içerir.

Varolan yapıların göçme riskleri farklı duyarlılıkta olasılıksal yaklaşımlarla tahmin edilebilir. Bildiride bu yaklaşımlar ana hatlarıyla irdelenmiş, sayısal karşılaştırmalar yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

YAKLAŞIMLAR

Yapısal sistemlere ilişkin güvenilirlik kuramı henüz oldukça yavaş gelişmektedir. Bu, kısmen kuramın olasılıksal bölümünde karşılaşılan bazı güçlüklerden; ve kısmen de, çoğuzaman seri ve paralel sistemlerin birleşiminden oluşan bir yapısal sistem için çeşitli göçme mekanizmalarını tanımlayan karmaşık matematiksel modellere olan gereksinimden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, yapısal göçmenin kavramsal biçimde algılanabilmesi için **Yıkım (felâket) kuramı**'nı (Catastrophe theory) temel alan bir model oluşturulabilir [5, 6]. Gene, **Bulanık takım çözümlemesi**'yle (Fuzzy set analysis) yapısal güvenlik ve göçme çözümlemeleri yapılabilir, ne var ki bu yöntem uygulama için henüz gelişim aşamasındadır [5, 7, 8].

Bununla birlikte, betonarme yapısal sistemlerin monolitik davranışı nedeniyle; sistem içindeki konumları, önemleri ve göçmelerinin yolaçabileceği **zincirleme etkiler** gözönünde bulundurularak mühendislik yargısıyla sistemi oluşturan yapısal elemanların göçme risklerinden biri ya da ihtiyatlı yaklaşımla en büyüğü sistemin göçme riski kabul edilebilir.

Limit Durum ve Göçme Riski

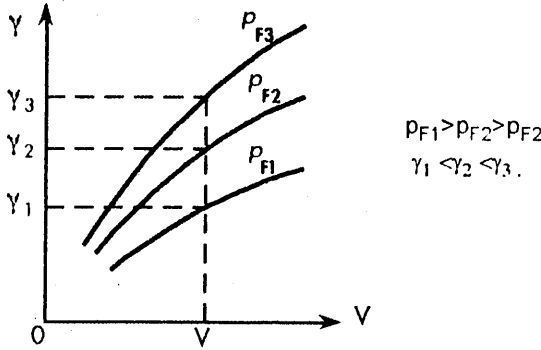
Varolan güncel performansın denetlenmesi bir yapının **limit durumlara** göre çözümlenmesini gerektirir. **Limit durum**, bir olasılıksal güvenilirlik kuramı terimidir. Ulaşılmaması istenmeyen bir olguyu belirtir. Olgu, en genel anlamda, **göçme (failure)** terimiyle; oluşma ihtimali **göçme riski/göçme olasılığı**, oluşmama ihtimali **güvenilirlik/kalıcılık olasılığı** terimleriyle adlandırılır [9-11]. Yapısal güvenlik, göçme risklerinin uluslararası kabul edilen düzeyleri aşmamasıyla sağlanır [12].

Kısmi Güvenlik Katsayısı Yaklaşımı

Günümüzün yapısal tasarım yönetmeliklerinde betonarme yapıların **limit durumlara** göre tasarlanması ve yapısal güvenliğin **kısmi güvenlik katsayısı yaklaşımı**'yla sağlanması istenilmektedir [13-15]. Katsayıların yönetmeliklerdeki değerleri **götürü (global)** olup uluslararası kabul gören risklere göre tespit edilmiştir. Tasarımda göçme riski hesaplanmamakta; riskin, anılan götürü değerlerle ilintili düzeyde olduğu varsayılmaktadır. Bu bakımdan yaklaşım **yarı-olasılıksal**'dır [16]. Kısmi güvenlik katsayılarının değeri, belirli bir göçme riski için, malzeme

mukavemetlerine ve yüklere ilişkin varyasyon katsayılarının fonksiyonu olarak olasılıksal yaklaşımla belirlenebilir (Şekil 1) [10, 11, 16-18]. Özetle, yeni yapıların tasarımda öngörülen güvenlik düzeyi, henüz üretilmemiş malzemelerin niteliklerine ve henüz inşa edilmemiş yapının işlevine göre a priori belirlenir. Bu belirlemeler işlemsel'dir (operational) [12-16].

Kısmi güvenlik katsayısı yaklaşımına benzer bir yaklaşımla varolan yapıların güvenlik düzeyleri hakkında yüzeysel fikir edinilebilir. Yaklaşım "varyasyon katsayısı-kısmi güvenlik katsayısı-göçme riski" üçlü ilişkisi esas alınarak geliştirilebilir (Şekil 1). Yapımdan sonra, güncel güvenlik düzeyinin belirlenmesi amacıyla, a posteriori irdellemelerle malzeme mukavemeti ve yük varyasyon katsayıları belirlenir. Stokastik model belirsizlikleri gözönünde bulundurularak varyasyon katsayıları artırılır [19-20]. Artırılmış varyasyon katsayıları ile denge denklemlerini gerçekleştiren kısmi güvenlik katsayıları karşılığı göçme riski "deneme-yanılma" yoluyla belirlenir. Ne var ki bu yaklaşım, belirli bir yüke ve belirli bir malzeme mukavemetine ilişkin farklı kısmi güvenlik katsayısı değerleriyle zaman-alıcı çözümlemeler yapılmasını gerektirebilir. Bu bakımdan, yalnızca yapısal eleman güvenlik düzeyleriyle ilgili bilgi edinilmesinde kullanılması salık verilir.



Şekil 1 Göçme riski-varyasyon katsayısı-kısmi güvenlik katsayısı üçlü ilişkisinin kavramsal gösterimi (p_F - V - γ).

İkinci-Moment Yaklaşımları

Bir yapısal sistemin ya da elemanın güvenilirliği, onun öngörülen performansı gösterme olasılığıyla tanımlanabilir. Sistemin davranışı, davranış fonksiyonu/performans fonksiyonu ya da durum fonksiyonu terimiyle adlandırılacak bir matematiksel modelle betimlenebilir. $Z=g(X)=g(X_1, X_2, \dots, X_n)$. X , sistemin $X_1, X_2, \dots, X_n$ rasgele değişkenlerini betimleyen vektör. $g(X)$, sistemin performansını belirten fonksiyon.

Sistemin durumunu belirgin şekilde algılayabilmek için performans istemi $Z=0$ ile sınırlandırılabilir. Bu durum sistemin limit durumu olur. $Z>0$ güvenli durumu, $Z<0$ göçme durumu' nu belirtir. Limit-durum denklemi ($Z=0$) geometri yönünden "n-boyutlu" bir yüzeyi betimler. Yüzey, limit-durum yüzeyi ya da göçme yüzeyi terimiyle adlandırılır.

Bir yapısal sisteme ya da elemana ilişkin performans fonksiyonu değişkenlerinin "ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu" belirlenebiliyorsa, sistemin ya da elemanın

göçme riski, $p_F=P(Z\leq 0)$, ya da güvenilirliği, $p_S=1-p_F=P(Z>0)$, ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun $Z<0$ ya da $Z>0$ uzayında entegre edilmesiyle belirlenebilir. Ne var ki bu konudaki çalışmalar henüz akademik evrededir. Bunun başlıca nedeni, performans fonksiyonu değişkenleriyle ilgili bilgilerin çoğuzaman, değişkenlerin ortalama değerleriyle (m_X , birinci-moment) ve varyanslarıyla ($VarX=\sigma_X^2$, ikinci-moment) sınırlı kalmasıdır [9-11].

Bu gibi durumlarda yapısal güvenilirlik, anılan momentleri esas alan **ikinci-moment yaklaşımları** ile tahmin edilebilir. Yaklaşımlarda, çoğuzaman doğrusal olmayan performans fonksiyonları Taylor serisine açılır. İstatistiksel verilerin kısıtlı olması nedeniyle, açılımın yalnızca doğrusal terimleri gözönüne alınarak fonksiyonlar doğrusallaştırılır. Fonksiyonların **birinci-aşama yaklaşım** ifadeleri elde edilir. Sonra, olasılık kuramındaki **beklenen değerler** ile ilgili teoremlere dayanılarak fonksiyonların ortalama değerleri, m_Z ve standart sapmaları, σ_Z , hesaplanır [9-11,21-25].

m_Z ve σ_Z değerleri belirlenen Z nin **olasılık dağılımı normal**, $N(m_Z, \sigma_Z)$, kabul edilebilir [9,21,22]. $Z=0$ için **standart normal dağılım**, $N(0, 1)$, değişkeninin değeri $-m_Z/\sigma_Z$ olur. Dolayısıyla $p_F=P(Z\leq 0)=\Phi(-m_Z/\sigma_Z)=1-\Phi(m_Z/\sigma_Z)$ ve $p_S=1-p_F=\Phi(m_Z/\sigma_Z)$ bulunur; $\Phi(\cdot)$ =standart normal dağılım fonksiyonu. Performans fonksiyonu varyasyon katsayısının evriği $1/V_Z = m_Z/\sigma_Z = \beta$, **güvenilirlik indeksi** terimiyle adlandırılabilir. Bu nedenle ikinci-moment yaklaşımlarına **güvenilirlik indeksi yaklaşımları** ya da **beta yaklaşımları** adı da verilebilir. Durum fonksiyonu değişkenlerinin dağılımları normal değilse belirlemeler, bu dağılımlar eşdeğer normal dağılıma dönüştürülerek yapılır. Bu bağlamda, malzeme mukavemetleri **lognormal**, zamanla-değişmeyen yükler **normal**, zamanla-değişen yükler **Tip I asimptotik** ve deprem yükleri **Tip I** ya da **Tip II asimptotik** dağılımlarla betimlenebilir [9-11,16-18,26].

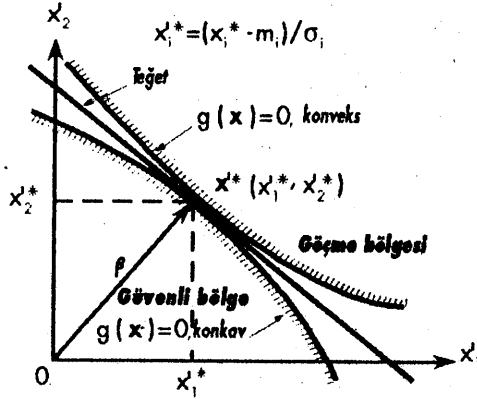
Güvenilirlik indeksi, Taylor serisinin performans fonksiyonu değişkenlerinin ortalama değerlerine (m_i) göre açılmasıyla **doğrudan** belirlenebilir. Ne var ki bu **doğrudan yaklaşım**, eşdeğer limit durumlar için farklı β değerleri ve dolayısıyla farklı göçme riskleri bulunmasına neden olur. Ayrıca performans fonksiyonlarının doğrusal olmama derecesi arttıkça yaklaşımın duyarlılığı azalır [9,11,23]. Bu farklılığın ortadan kaldırılmasıyla ilgili araştırmalar, **indirgenmiş değişkenler sistemi**'nde $[X_i' = (X_i - m_i) / \sigma_i]$, sistemin orijinine minimum uzaklıkta ve göçme yüzeyi üzerinde bulunan noktaların $[x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)]$ **en olası göçme noktası**'nı belirttiğini ve anılan uzaklığın güvenilirlik indeksine eşit olduğunu göstermiştir (Şekil 2) [9, 23-25].

Performans fonksiyonu doğrusalsa β nin, m_i lere göre değerlendirilen Taylor açılımıyla belirlenmesi duyarlı olur. Doğrusal değilse açılımın bilinmeyen x^* noktasına göre değerlendirilmesi; dolayısıyla bu noktanın ve β nin **iteratif** yolla belirlenmesi uygundur. **İterasyonlu yaklaşımda**, x_i^* ($i=1-n$) ların başlangıç değerlerinin m_i lere eşit alınması salık verilir. Bu bağlamda, gerçek göçme yüzeyinin indirgenmiş değişkenler sisteminin orijinine göre konveks ya da konkav olması, yaklaşımın güvenli ya da güvensiz bölgede kalmasına neden olur (Şekil 2) [9, 23-25].

Monte Carlo Yaklaşımı

Monte Carlo yaklaşımı bir **benzeşim** yöntemidir. Performans fonksiyonları ne denli karmaşık ve içerdikleri değişkenler ne kadar fazla olursa olsun bu yöntemle olasılıksal sorunlar çözülebilir. Yaklaşım, en genel çizgileriyle şöyle özetlenebilir: Bir yapısal sisteme ya da elemana ilişkin performans fonksiyonunun içerdiği rasgele

değişkenlerin olasılık dağılımları tanımlanabiliyor ve istatistikleri (ortalama değer ve standart sapma) belirlenebiliyorsa, bu değişkenlerin herbiri için kendi dağılımlarına özgü rasgele sayılar üretilebilir. Bu rasgele sayı takımları performans fonksiyonunda yerlerine konularak, fonksiyona ilişkin örnek oluşturulur. Örnek değerlendirilerek göçme riski ve güvenilirlik belirlenir. Kısaca yaklaşım, bilgisayarla sözde (pseudo) rasgele sayıların üretildiği ve örneklerin oluşturulduğu bir rasgele örnekleme yöntemidir [9, 27-29].



Şekil 2 Doğrusal olmayan iki değişkenli bir durum fonksiyonu için güvenilirlik indeksinin belirlenmesi

İKİNCİ-MOMENT VE MONTE CARLO YAKLAŞIMIYLA İLGİLİ BİR UYGULAMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Eksenel yük etkisinde kalan dikdörtgen kesitli, simetrik donatılı ve görünürde özdeş betonarme kolonların oluşturduğu bir toplumla (popülasyon) ilgili performans fonksiyonu ve fonksiyonun içerdiği rasgele değişkenlere ilişkin istatistikler şöyledir [30].

$$Z=g(X)=0,85bh f_c + A_s f_y - N$$

Rasgele değişken	X_i	m_i	σ_i	V_i
Kesit boyutu	b (mm)	300	3	0,01
Kesit boyutu	h (mm)	500	5	0,01
Betonun basınç mukavemeti	f_c (MPa)	25	3,5	0,14
Boyuna donatı alanı	A_s (mm ²)	2200	100	0,045
Çeliğin akma mukavemeti	f_y (MPa)	250	25	0,10
Eksenel yük	N (kN)	1500	450	0,30

Bu bilgilere dayanılarak ikinci-moment ve Monte Carlo yaklaşımlarıyla iki farklı olasılık dağılım grubu (ODG) için belirlenen göçme olasılıkları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Birinci ODG için tüm değişkenlerin **normal** dağılımlı; ikinci ODG için boyutların ve donatı alanının **normal**, malzeme mukavemetlerinin **lognormal**, ve yükün **Tip I asimptotik** dağılımlı oldukları kabul edilmiştir. Monte Carlo yöntemiyle çözümde büyüklükleri 100 000 olan örnekler; birinci ODG için 50 kez (eşdeğer örnek boyutu 5.0 E6), ikinci için 25 kez (eşdeğer boyut 2.5 E6) yineletilmiştir. $E(p_F)$, göçme olasılığının beklenen değeri. $<p_F>_{0,95}$, $1-\alpha = 0,95$ güven aralığına ilişkin göçme olasılıkları [22, 30].

İkinci-moment yaklaşımları			Monte Carlo yaklaşımı			
Doğrudan	İterasyonla					
1.ODG	1.ODG	2.ODG	1.ODG		2.ODG	
p_F	p_F	p_F	$E(p_F)$	$<p_F>_{0,95}$	$E(p_F)$	$<p_F>_{0,95}$
2.280E-4	2.230E-4	1.982E-3	2.196E-4	2.063E-4 2.239E-4	1.921E-3	1.866E-3 1.977E-3

Tablonun incelenmesinden görüleceği gibi, iterasyonlu ikinci-moment ve Monte Carlo yaklaşımlarıyla 2. ODG için belirlenen göçme olasılıkları, 1. ODG için belirlenenlerden ortalama 8.8 kat fazladır. Artış oranı performans fonksiyonunun yapısına ve değişkenlerinin olasılık dağılımı türlerine bağlı değişir. O halde sonuçların güvenilirliği yönünden göçme olasılıkları, değişkenlerin herbiri için kendi dağılımlarına özgü, gerçekçi dağılımlar kullanılarak belirlenmelidir. Öte yandan, iterasyonlu ikinci-moment yaklaşımı sonuçları, Monte Carlo yaklaşımı sonuçlarına kıyasla 1. ODG için %1.5, 2. ODG için %3 ihtiyatlı yöndedir. Ne var ki bu fark yüzdenin değeri ve ihtiyatlı yönde olup olmaması, ilgili göçme yüzeyinin orijine göre konveks ya da konkav olmasına ve doğrusallık derecesine, kısaca performans fonksiyonunun yapısına göre değişir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı düzeyde göçme riskleri için varolan yapılara ilişkin kısmi güvenlik katsayıları, **a posteriori** belirlenen varyasyon katsayılarının fonksiyonu olarak hesaplanabilir. İlgilenilen yapı için aşılmaması öngörülen göçme riski karşılığı katsayılarla çözümleme yapıldığı zaman denge denklemleri gerçekleşmiyorsa, daha önce açıklandığı gibi, deneme-yanılma yoluyla yapının güncel güvenilirliği hakkında fikir edinilebilir. Ne var ki kısmi güvenlik katsayısı yaklaşımı, katsayı değerlerinin hesaplanmasında kimi deterministik kabuller yapıldığı, yarı-olasılıksal bir yaklaşım olduğu; ayrıca belirli bir yüke ve malzeme mukavemetine ilişkin farklı katsayı değerleriyle çözümlemeler yapılmasını ve doğrusal olmayan yapısal davranışla ilgili bilgisayar programlarını gerektirebileceği için hiperstatik sistem güvenlik düzeylerinin

tahmin edilmesinde kullanılmaya elverişli değildir. Bu nedenle yapısal eleman güvenlik düzeyleriyle ilgili bilgi edinilmesinde kullanılması salık verilir.

Varolan yapıların güvenilirliği öngörülen duyarlılığa göre ikinci-moment ya da Monte Carlo yaklaşımlarıyla tahmin edilebilir. İkinci-moment yaklaşımları, çoğu zaman doğrusal olmayan performans fonksiyonlarının doğrusallaştırılması esasına dayanır. Göçme yüzeyinin, indirgenmiş değişkenler sisteminin orijinine göre konveks ya da konkav olması, doğrusallaştırmanın güvenli ya da güvensiz yönde yapılmış olması anlamına gelir. Performans fonksiyonlarının doğrusallığı arttıkça, tahminlerin duyarlılığı ve güvenilirliği de artar. Güvenilirlik indeksinin doğrudan yaklaşımla belirlenmesi, eşdeğer limit durumların tanımına göre farklı göçme olasılıkları bulunmasına yol açar. Bu bakımdan doğrudan yaklaşımın, göçme olasılığı hakkında yaklaşık bilgi edinilmesinde kullanılması önerilir.

Performans fonksiyonları ne denli karmaşık, değişkenleri ne kadar fazla ve doğrusal olmama dereceleri ne denli yüksek olursa olsun göçme olasılıkları Monte Carlo yaklaşımıyla duyarlı şekilde tahmin edilebilir. Ne var ki çözümsel yöntemlere kıyasla pahalı bir yöntemdir. Bu nedenle, göçme olasılıklarının iterasyonlu ikinci-moment yaklaşımıyla tahmin edilmesi; Monte Carlo yaklaşımının ise, iterasyonlu yaklaşımın yetersiz kaldığı karmaşık performans fonksiyonlarına ilişkin olasılıksal belirlemelerde ya da çok fazla duyarlılık gerektiren durumlarda kullanılması önerilir. Ayrıca bu bağlamda anılan yaklaşımların duyarlılığının ve güvenilirliğinin, yaklaşımlarda kullanılan matematiksel modellerin yapısal performansı olabildiğince gerçekçi biçimde yansıtmasına ve içerdikleri değişkenlerin kendi yapılarına özgü olasılık dağılımlarıyla betimlenmiş olmasına bağlı olduğu da unutulmamalıdır.

SEMBOLLER

E (.)	beklenen değer, ortalama değer
N	normal dağılım
P,p	olasılık
V	varyasyon katsayısı
Var	varyans (standart sapmanın karesi)
X	rasgele değişken
Z	performans fonksiyonu/davranış fonksiyonu/durum fonksiyonu
m	ortalama değer
P _F	göçme olasılığı/göçme riski
P _S	kalicılık olasılığı/güvenilirlik
x	X rasgele değişkeninin değeri
α	güven aralığıyla ilgili olasılık
β	güvenilirlik indeksi
γ	kısmi güvenlik katsayısı
σ	standart sapma

KAYNAKLAR

1. CEB (1989), "Beton yapıların tanılanması ve değerlendirilmesi," *Bulletin d'Information* 192, Lausanne, 120 pp., (İngilizce).
2. Baturay, D. (1992), "Varolan beton yapıların tanılanması ve değerlendirilmesiyle ilgili bir irdeleme," Lisansüstü tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 162 s.

3. CEB (1983), "Beton yapıların değerlendirilmesi ve yeniden tasarımı," *Bulletin d'Information* 162, Lausanne, 288 pp., (İngilizce).
4. Sarıakçalı, S. (1986), "Hasar görmüş ve/ya da düşük mukavemetli betonarme yapıların onarımı ve/ya da güçlendirilmesi (Yenidentasım)," Lisansüstü Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 297 s.
5. Blockley, D. I. (1980), *Yapısal Tasarımın ve Güvenliğin Doğası*, Ellis Horwood, Chichester, England, 365 pp., (İngilizce)
6. Woodcock, A., and Davis, M. (1980), *Felaket Teorisi*, Penguin, Middlesex, England, 171 pp., (İngilizce).
7. Blockley, D. I. (1979), "Bulanık takımların inşaat mühendisliğindeki rolü," *Fuzzy Sets and Systems*, V.2, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, pp. 267-278, (İngilizce).
8. Brown, C. B., and Yao, J. T. P. (1983), "Bulanık takımlar ve yapı mühendisliği," *Proceedings ASCE*, V.109, ST5, pp. 1211-1225, (İngilizce).
9. Ang, A.H-S., and Tang, W.H. (1984), *Mühendislik Planlamasında ve Tasarımında Olasılık kavramları*, V.II, Wiley, New York, 562 pp., (İngilizce).
10. Gündüz, A. (1988), "Yapısal risk çözümlemesi ve betonarme yapıların güvenilirliğe dayanan tasarımı," *Bulletin of Technical University of İstanbul*, V.41, No.3, pp. 387-389, (İngilizce).
11. Gündüz, A. (1991), "Yapısal güvenilirlik ve betonarme yapısal sistemlerin güvenilirliğe dayanan tasarımı," *Teknik Dergi*, Cilt 2, Sayı 3, Ankara, ss. 367-383.
12. CEB (1978), "Beton Yapılar için CEB-FIP Model Yönetmeliği," *Bulletin d'Information* 124/125, V.I, Paris, pp. 1-82, (İngilizce).
13. CEB (1988), "Yapıların güvenilirliğiyle ilgili genel ilkeler," *Bulletin d'Information* 191, Lausanne, 51 pp., (İngilizce).
14. CEB (1991), "Beton yapıların güvenilirliği," *Bulletin d'Information* 202, Lausanne, 163 pp., (İngilizce).
15. CEB (1991), "CEB-FIP 1990 Model Yönetmeliği," *Bulletin d'Information* 203, Lausanne, 154 pp., (İngilizce).
16. CEB (1982), "Gelecekteki yönetmeliklerle ilgili kavramsal hazırlık," *Bulletin d'Information* 147, Paris, 230 pp., (İngilizce).
17. Gündüz, A. (1986), "Yapısal tasarımda kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesiyle ilgili bir yaklaşım," *Yıldız Üniversitesi Dergisi*, Sayı 3, İstanbul, ss. 29-38.
18. Gündüz, A. (1986), "Yapısal tasarımda zamanla-değişen yüklere ilişkin kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesiyle ilgili bir algoritma," *Yıldız Üniversitesi Dergisi*, Sayı 4, İstanbul, ss. 51-60.
19. CEB (1985), "Model belirsizlikleri üzerine temel notlar," *Bulletin d'Information* 170, Lausanne, pp. 1-33, (İngilizce).
20. Gündüz, A. (1986), "Yapısal tasarımda model belirsizliklerinin değerlendirilmesi," *Yıldız Üniversitesi Dergisi*, Sayı 4, İstanbul, ss. 65-76.
21. Benjamin, J. R., and Cornell, C.A. (1970), *İnşaat Mühendisleri için Olasılık, İstatistik ve Karar*, McGraw-Hill, New York, 684 pp., (İngilizce).
22. Ang, A. H-S., and Tang, W.H. (1975), *Mühendislik Planlamasında ve Tasarımında Olasılık Kavramları*, V.I, Wiley, New York, 409 pp., (İngilizce).
23. Hasofer, A.M., and Lind, N.C. (1974), "Değişmez ikinci-moment yaklaşımı," *Proceedings ASCE*, V.100, EM1, pp. 111-121, (İngilizce).

24. Ditlevsen, O. (1979), "Genelleştirilmiş ikinci-moment güvenilirlik indeksi," **Journal Structural Mechanics**, V.7, No.4, pp. 435-451, (İngilizce).
25. Hohenbichler, M., and Rackwitz, R. (1981), "Yapısal güvenlikle ilgili normal olmayan vektörler," **Proceedings ASCE**, V.107, EM6, pp.1227-1238, (İngilizce).
26. Galambos, T. V., et. al. (1982), "Olasılığa dayanan yük ölçütleri," **Proceedings ASCE**, V.108, ST5, pp. 959-977, (İngilizce).
27. Hammersley, J. M., and Handscomb, D.C. (1965), **Monte Carlo Yöntemleri**, Methuen, London, 178 pp., (İngilizce).
28. Rubinstein, R. Y. (1981), **Benzeşim ve Monte Carlo Yöntemi**, Wiley, New York 278 pp., (İngilizce).
29. Sobol, I. M. (1984), **Monte Carlo Yöntemi**, Mir Publishers, Moscow, 73 pp., (İngilizce).
30. Vahidi, E.K. (1991), "Betonarme yapısal eleman göçme risklerinin tahmin edilmesiyle ilgili yaklaşımlar," **Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul**, 251 s.