

## Enine Donatısız Betonarme Kiriş Kesme Mukavemeti Bağlılarının Güvenilirliğinin İrdelenmesi

Güray ARSLAN\*

Aydoğan İBİŞ\*\*

Sema NOYAN ALACALI\*\*\*

### ÖZ

Yönetmelikler, betonarme elemanların yük taşıma kapasitelerine ani ve gevrek olan kesme kırılması ile ulaşmasını engellemek için kesme kırılması oluşması olasılığını azaltmıştır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, enine donatısız betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetlerinin tahmini için çok sayıda bağlantı önerilmiştir. Bu çalışmada, farklı geometri ve malzeme özelliklerine sahip kiriş toplumu gözönüne alınarak dört farklı yönetmelik ve yedi farklı araştırmada önerilen bağlantılara ilişkin performans fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu performans fonksiyonları esas alınarak enine donatısız betonarme kiriş kesme mukavemeti bağlantılarının güvenilirliği ikinci-moment yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu, farklı dağılımlar için belirlenen göçme olasılıklarına göre güvenilirliği en yüksek olan bağlantının EN92 olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme, kiriş, kesme mukavemeti, olasılık, güvenilirlik, göçme.

### ABSTRACT

#### Reliability Assessment of Existing Equations Predicting the Shear Strength of Reinforced Concrete Beams without Stirrups

Codes keep the probability of shear failure low in order to prevent a reinforced concrete member from reaching its ultimate strength through shear failure, which is sudden and brittle. Numerous equations for predicting the cracking shear strength of a reinforced concrete beam without stirrups have been proposed in the previous studies. In this study, performance functions related to the equations given by four codes and seven researches are developed considering beams with various geometrical and material properties. The reliability of these equations is assessed based on the performance functions by using second-moment approach. According to the failure probabilities based on different distributions, it is observed that the equation given by EN92 is the most reliable one.

**Keywords:** Reinforced concrete, beam, shear strength, probabilistic, reliability, failure.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 26.10.2011 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2014 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - aguray@yildiz.edu.tr

\*\* Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul - aydogan\_ibis@yahoo.com

\*\*\* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - noyan@yildiz.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Betonarme elemanlarda ani ve gevrek bir kırılma şekli olan kesme kırılmasını önlemek amacıyla elemanların kesme mukavemetleri yeterli olmalıdır. Betonarme kirişlerin kesme mukavemetlerinin tahmini ile ilgili literatürde çok sayıda bağıntı önerilmiştir. Kesme kırılması oluşumuna karşı betonarme kirişin güvenilirliği, kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği ile yakından ilgilidir. Literatürdeki çalışmalar ve yönetmeliklerde, betonarme kirişler için önerilmiş kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliğinin irdelenmesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, farklı geometri ve malzeme özelliklerine sahip kiriş toplumu gözönüne alınarak kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği irdelenmiştir.

Yapısal sistemlerde güvenilirlik, sistemi oluşturan elemanların mukavemetine veya yük taşıma kapasitesine bağlı değişir. Bir yapısal sistemin güvenilirliği ya da kullanılabilirliği, yapısal sistemin ve sistemi oluşturan elemanların kapasitelerinin (R), yapı ömrü süresince oluşabilecek maksimum yük etkilerini (S) karşılamada yeterli olduğunun gösterilmesi ile sağlanabilir. Kapasitenin istemden büyük olması durumu ( $R > S$ ) güvenilirliği, tersi olarak ( $R < S$ ) ise göçme olayını gösterir. Yapısal güvenliliğin amacı ( $R > S$ ) olayını gerçekleştirecek koşulların yerine getirilmesini sağlamak veya bunu güvence altına almaktır [1, 2].

Yapısal sistemlerin tasarımında göçme olasılığı her zaman vardır, yok edilemez. Göçme, tasarımda gözönüne alınan yük, malzeme mukavemetleri ve boyutlar gibi parametrelerin genellikle rastgele değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Yapısal sistemde güvenilirlik kabul edilebilir göçme olasılığını aşmayacak şekilde tasarlanarak sağlanabilir. Göçme olasılığının hesaplanması için rastgele değişkenlerin olasılık dağılımlarının bilinmesi gerekir. Performans fonksiyonunu oluşturan rastgele değişkenlere ilişkin istatistiksel bilgiler, genelde değişkenlerin ortalama değeri ve varyanslarıyla sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, rastgele değişkenlere ilişkin yoğunluk fonksiyonu ve ortak olasılık fonksiyonu tam anlamıyla belirlenemediğinden, göçme olasılığı ya da yapısal güvenliliğin tam olasılıksal yöntemlerle tahmin edilmesi oldukça zordur. Bu gibi durumlarda, yapısal güvenilirlik ya da yapısal göçme olasılığı; yaklaşık olasılıksal yöntemler olarak nitelendirilebilen ikinci-moment yaklaşımları ile tahmin edilebilir.

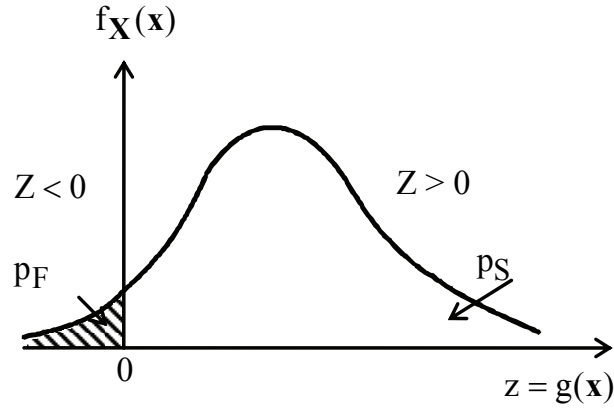
Bu çalışmanın amacı, ikinci-moment yaklaşımı kullanılarak enine donatısız betonarme kirişlerin kesme mukavemeti bağıntıları ile deneysel sonuçlar arasında  $Z = R - S$  şeklinde performans fonksiyonları oluşturularak, kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliğinin irdelenmesidir. Bu irdelenmede çözümlenmeler performans fonksiyonunu oluşturan rastgele değişkenlerin dağılımları değişken alınarak üç ayrı durum için yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Doğrudan normal ve iterasyonlu normal çözüme göre yapılan irdelenmelerde tüm değişkenler normal, iterasyonlu kendine özgü dağılımlarıyla çözümde ise uluslararası istatistiksel verilere göre [2-4]: malzeme mukavemetleri lognormal; diğer değişkenler ise normal dağılım ile tanımlanmış, lognormal dağılım eşdeğer normal dağılıma dönüştürülerek çözüm yapılmıştır [1]. Ayrıca tüm sayısal çözümlenmelerde rastgele değişkenlerin istatistiksel bağımsız oldukları kabul edilmiş, değişkenler arasındaki korelasyon etkisi ihmal edilmiştir.

## 2. GÖÇME VE GÜVENİLİRLİK OLASILIKLARININ BELİRLENMESİYLE İLGİLİ YAKLAŞIMLAR

Betonarme kirişlerin kesme mukavemeti yönünden göçme ve güvenilirlik olasılıkları performans fonksiyonunun yapısına ve fonksiyonu oluşturan değişkenlerin olasılık dağılımı türlerine bağlıdır. Bağlıların güvenilirliği veya göçme olasılıkları, doğrudan normal, iterasyonlu normal ve değişkenlerin her biri için kendi dağılımlarına özgü, gerçekçi dağılımlar kullanılarak farklı yaklaşımlarla belirlenebilir. Bu yaklaşımlara göre bulunacak göçme ve güvenilirlik olasılıkları, ilgili göçme yüzeyinin orijine göre konveks ya da konkav olmasına ve doğrusallık derecesine, kısaca performans fonksiyonunun yapısına göre değişir. Performans fonksiyonunu oluşturan rastgele değişkenlere ilişkin yoğunluk fonksiyonu ve ortak olasılık fonksiyonunun belirlenmesi durumunda, yapısal sistemin göçme olasılığı ya da güvenilirliği tam olasılıksal yaklaşımla belirlenebilir.

### 2.1 Tam Olasılıksal Yaklaşım

Bir yapısal sistemin performansı,  $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  sistem elemanlarının değişkenlerinin bileşkesi olmak üzere  $Z = g(\mathbf{X}) = g(X_1, X_2, \dots, X_n)$  performans fonksiyonu ile tanımlanabilir.  $X_1, X_2, \dots, X_n$  rastgele değişkenleri yapısal sistemde karşılaşılan yükler, malzeme mukavemetleri, boyutlar ve benzerleri olan temel değişkenlerdir.  $Z=0$  sistemin limit durumu,  $Z>0$  güvenli durumu ve  $Z<0$  göçme durumunu belirtir.  $p_F$  ve  $p_S$  göçme ve güvenilirlik olasılıkları  $f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x})$  ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun  $Z<0$  ya da  $Z>0$  uzayında integre edilmesiyle belirlenebilir (Şekil 1).



Şekil 1. Göçme ve güvenilirlik olasılıklarının tam-olasılıksal yaklaşımla belirlenmesi

$$f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) = f_{X_1, X_2, \dots, X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$p_F = \int_{Z < 0} \dots \int f_{X_1, X_2, \dots, X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n = \int_{Z < 0} f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad (2)$$

$$p_S = 1 - p_F = \int_{Z > 0} f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad (3)$$

Göçme ya da güvenilirlik olasılıklarının (2) ya da (3) bağıntılarıyla belirlenmesi tam olasılıksal yaklaşımlar sınıfına girer ve ideal çözümdür. Ancak bu yöntemle göçme ve güvenilirlik olasılıklarının belirlenmesi için  $Z = g(\mathbf{X})$  performans fonksiyonu değişkenlerinin  $f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x})$  ortak olasılık yoğunluk fonksiyonlarını ve bunları belirleyen istatistiksel bilgilerin sağlanmış olması gerekir. Pratikte ise değişkenlere ait istatistiksel veriler, bu değişkenlerin  $m_{\mathbf{X}}$  ortalama değerleri ve  $\sigma_{\mathbf{X}}$  standart sapmaları ile sınırlı kalmaktadır. Bu gibi durumlarda göçme ya da güvenilirlik olasılıkları ikinci-moment yaklaşımları ile belirlenebilir [1, 2].

## 2.2 İkinci-Moment Yaklaşımı

İkinci moment yaklaşımında doğrusal olmayan  $Z$  performans fonksiyonu Taylor serisine açılır ve yalnız doğrusal terimler gözönüne alınarak fonksiyon doğrusallaştırılır. Daha sonra doğrusal fonksiyonun  $m_Z$  ortalama değeri ve  $\sigma_Z$  standart sapması hesaplanır. Performans fonksiyonu değişkenleri normal dağılımlı ise fonksiyonun dağılımı da normal olur. Normal dağılımlı olmayan bireysel değişkenlerin dağılımları da eşdeğer normal dağılıma dönüştürülerek performans fonksiyonunun dağılımı normal dağılım olarak gözönüne alınır  $N(m_Z, \sigma_Z)$ .  $Z = 0$  limit durumu için standart normal dağılım değişkeninin değeri  $s = (0 - m_Z) / \sigma_Z = -m_Z / \sigma_Z$  olur. Performans fonksiyonu ortalama değerinin standart sapma değerine oranı  $\beta = m_Z / \sigma_Z$ , güvenilirlik indeksi terimiyle adlandırılabilir. Buna göre göçme ve güvenilirlik olasılıkları, sırasıyla;  $p_F = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta)$  ve  $p_S = 1 - p_F = \Phi(\beta)$  ile hesaplanır. Burada  $\Phi(\cdot)$  = standart normal dağılım fonksiyonunu ifade eder [1, 2].

### 2.2.1 Güvenilirlik indeksinin doğrudan belirlenmesi

$Z = g(\mathbf{X}) = g(X_1, X_2, \dots, X_n)$  performans fonksiyonu, değişkenlerin ortalama değerlerine göre Taylor serisine açılarak kısmi türevler  $m_{X_i}$  lere göre değerlendirilir.  $Z$  nin birinci-aşama yaklaşık ortalama değeri aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir.

$$Z = g(m_{X_1}, m_{X_2}, \dots, m_{X_n}) + \sum_{i=1}^n (X_i - m_{X_i}) \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \quad (4)$$

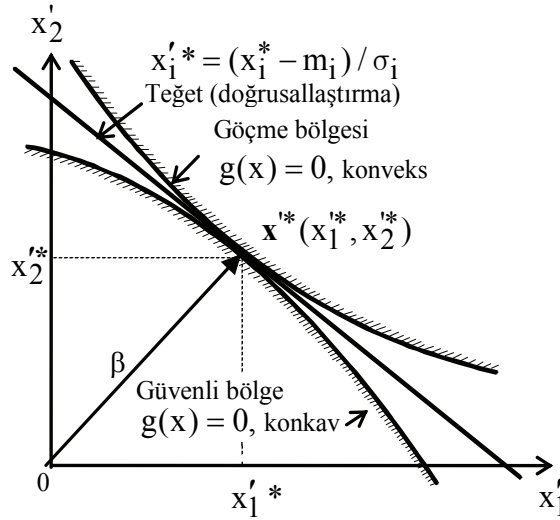
$$m_Z = g(m_{X_1}, m_{X_2}, \dots, m_{X_n}) \quad (5)$$

Z nin birinci aşama yaklaşık varyansı ise (6) bağıntısı ile hesaplanarak  $\beta$  güvenilirlik indeksi elde edilir.

$$\sigma_Z^2 = \text{Var}(Z) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \text{Var}(X_i) \quad (6)$$

### 2.2.2 Güvenilirlik indeksinin iterasyonla belirlenmesi

Güvenilirlik indeksinin doğrudan belirlenmesi, eşdeğer limit durumlar için farklı güvenilirlik indeksleri ve dolayısıyla farklı göçme olasılıkları bulunmasına yol açar. Bu farklılığın ortadan kaldırılması için yapılan araştırmalar, indirgenmiş değişkenler sisteminde  $X'_i = (X_i - m_{X_i}) / \sigma_{X_i}$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ , sistemin orijininin minimum uzaklıkta ve göçme yüzeyi üzerinde bulunan noktanın  $\mathbf{x}'^* = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$  en olası göçme noktasını belirttiğini ve bu uzaklığın güvenilirlik indeksi  $d_{\min} = \beta$  olduğunu göstermiştir [1, 2].



Şekil 2. İki değişkenli doğrusal olmayan bir performans fonksiyonu için güvenilirlik indeksinin belirlenmesi

Güvenilirlik indeksi,  $Z = g(\mathbf{X})$  performans fonksiyonunun, göçme yüzeyi üzerinde bulunan  $\mathbf{x}^*$  noktasına göre Taylor serisine açılması, ve bu açılımın yalnızca doğrusal terimlerinin gözönüne alınmasıyla belirlenebilir.

$$Z \cong \sum_{i=1}^n (X_i - x_i^*) \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_* \quad (7)$$

Performans fonksiyonunun içerdiği her bir  $X_i$  rastgele değişkenindeki belirsizliğin fonksiyonun toplam belirsizlik üzerindeki bağıl etkisi boyutsuz bir duyarlılık katsayısı ( $\alpha_i$ ) ile tanımlanabilir.

$$\alpha_i = \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \left( \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_Z} \right) \quad (8)$$

$Z$  nin ortalama değeri ve varyansı da sırasıyla (9) ve (10) bağıntılarıyla hesaplanarak  $\beta$  güvenilirlik indeksi elde edilir.

$$m_Z \cong - \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_* x_i^* \quad (9)$$

$$\text{Var}(Z) = \sigma_Z^2 \cong \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_*^2 \quad (10)$$

Ortalaması  $m_{X_i}$ , standart sapması  $\sigma_{X_i}$  ve duyarlılık katsayısı  $\alpha_i$  olan bir  $X_i$  rastgele değişkeninin olasılık dağılımı normalse, belirli bir göçme olasılığı ve dolayısıyla  $\beta$  güvenilirlik indeksi için standart normal değişkeninin değeri  $s = -\alpha_i \beta$  olur ve değişkenin  $x_{id}$  tasarım değeri  $s = -\alpha_i \beta = (x_{id} - m_{X_i}) / \sigma_{X_i}$  ilişkisinden yararlanılarak belirlenebilir.

$$x_{id} = m_{X_i} - \alpha_i \beta \sigma_{X_i} \quad (11)$$

### 2.2.3 Eşdeğer Normal Dağılımlar

Bu çalışmada, beton basınç dayanımı ve kiriş çatlama kesme mukavemetinin dağılımları logaritmik normal dağılım olarak gözönüne alındığından bu dağılım öncelikle eşdeğer normal dağılıma dönüştürülür. Bu amaçla lognormal dağılıma ilişkin ortalama değer  $\lambda_X$  ve standart sapma  $\zeta_X$  parametreleri hesaplanır.

$$\lambda_X = \ln m_X - 0.5\zeta_X^2 \quad (12)$$

$$\zeta_X^2 = \ln(1 + \sigma_X^2 / m_X^2) \quad (13)$$

Daha sonra lognormal dağılıma eşdeğer ortalama değer ve standart sapma aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır [1, 2].

$$m_X^N = x * (1 - \ln x * + \lambda_X) \quad (14)$$

$$\sigma_X^N = x * \zeta_X \quad (15)$$

### 3. KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ VE İRDELENECEK BAĞINTILAR

#### 3.1 Kirişlerin Özellikleri

$a/d \geq 2.5$  olan enine donatısız betonarme kirişlerin [5-13] malzeme ve geometrik özellikleri Çizelge 1’de özetlenmiştir. Çizelgede,  $f_c$  beton basınç dayanımı,  $\rho$  çekme donatısı oranı,  $a/d$  kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı,  $d$  kiriş etkili yüksekliği,  $d_a$  maksimum agrega çapı,  $v_c$  kirişin çatlama kesme mukavemetini göstermektedir.

Çizelge 1. Kirişlerin özellikleri

Kaynak	Kiriş	$f_c$ (MPa)	$\rho$ (%)	$a/d$	$d$ (mm)	$d_a$ (mm)	$v_c^*$ (MPa)
Taylor [5]	I-42	18.64	2.00	3.82	279	19	1.10
Taylor [5]	I-54	17.87	2.00	4.91	279	19	0.94
Taylor [5]	II-2A	23.99	0.90	6.16	222	19	0.92
Taylor [5]	II-2B	22.95	0.90	6.16	223	19	0.99
Taylor [5]	II-2C	22.62	1.19	6.16	223	19	1.05
Taylor [5]	II-2D	26.04	1.19	6.16	223	19	0.95
Taylor [5]	II-2E	25.15	1.49	6.16	223	19	1.08
Taylor [5]	II-2F	22.67	1.49	6.16	223	19	1.08

Çizelge 1. Kirişlerin özellikleri (devam)

Kaynak	Kiriş	$f_c$ (MPa)	$\rho$ (%)	a/d	d (mm)	$d_a$ (mm)	$v_c^*$ (MPa)
Taylor [5]	II-2G	22.34	1.49	6.16	223	19	0.98
Taylor [5]	II-2H	22.39	1.49	6.16	223	19	1.03
Taylor [5]	II-2I	24.44	1.80	6.16	223	19	1.08
Taylor [5]	II-2J	23.66	1.80	6.16	223	19	1.08
Taylor [5]	II-2K	20.96	2.33	6.16	223	19	1.10
Taylor [5]	II-2L	24.66	2.33	6.16	223	19	1.25
Taylor [5]	II-2M	24.55	2.33	6.16	223	19	1.17
Taylor [5]	II-2N	24.33	2.26	5.24	262	19	1.15
Taylor [5]	II-2P	21.57	2.26	5.24	262	19	1.20
Taylor [5]	III-2A	18.53	1.79	6.16	223	19	1.05
Taylor [5]	III-2B	17.54	1.87	6.16	223	19	1.12
Taylor [5]	III-2C	21.13	1.81	6.16	223	19	1.05
Taylor [5]	III-2E	27.58	1.87	6.16	223	19	1.10
Taylor [5]	III-2F	25.15	1.81	6.16	223	19	1.17
Taylor [5]	III-2G	28.57	1.79	6.16	223	19	1.19
Taylor [5]	III-2H	29.46	1.87	6.16	223	19	1.34
Taylor [5]	III-2J	35.08	1.79	6.16	223	19	1.25
Taylor [5]	III-2K	33.15	1.87	6.16	223	19	1.30
Krefeld [6]	4AAC	29.20	2.63	3.60	245	25	1.44
Krefeld [6]	3AAC	12.55	1.99	3.58	256	25	1.03
Shah [7]	B4-1	56.50	1.50	3.00	250	19	1.86
Shah [7]	B4-2	56.50	1.50	3.50	254	19	1.68
Shah [7]	B4-3	56.50	1.50	4.00	254	19	1.62
* Deneysel çatlama kesme mukavemeti							

### 3.2 İrdelenecek Kesme Mukavemeti Bağıntıları

2.bölümde açıklanan ikinci-moment yaklaşımı ile güvenilirlikleri irdelenecek enine donatısız betonarme kirişlerin kesme mukavemetlerini [14-24] belirleyen bağıntılar Çizelge 2'de verilmiştir. Bağıntılarda;  $v_c$  kiriş çatlama kesme mukavemeti (MPa);  $v_{rd,c}$  kiriş kesme mukavemeti (MPa),  $f_c$  betonun silindir basınç dayanımı (MPa),  $V_u$  ve  $M_u$  sırasıyla, kirişin kesme kuvveti ve eğilme momenti taşıma gücü olarak tanımlanmıştır.



Çizelge 2. Enine donatısız betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntıları

Kaynak	Bağıntılar
ACI318 [14]	$v_c = 0.16\sqrt{f_c} + 17\rho(V_u d / M_u) \leq 0.29\sqrt{f_c}$ veya $v_c = 0.17\sqrt{f_c}$
TS500 [15]	$v_{cr} = 0.65f_{ct}$ ; $f_{ct} = 0.35\sqrt{f_c}$ ; $v_c = 0.80v_{cr}$
EN92 [16]	$v_{rd,c} = 0.12k(100\rho f_c)^{1/3} \geq 0.035k^{3/2}\sqrt{f_c}$ $k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0$ , $\rho \leq 0.02$
CEB-FIP [17]	$v_{cr} = 0.15(1 + \sqrt{200/d})(100\rho f_c)^{1/3} [3/(a/d)]^{1/3}$
Zsutty [18]	$v_u = 2.2(f_c \rho d / a)^{1/3}$ ( $a/d \geq 2.5$ )
Okamura [19]	$v_c = 0.2 \frac{(100\rho f_c)^{1/3}}{(d/1000)^{1/4}} \left(0.75 + \frac{1.40}{a/d}\right)$
Bazant [20]	$v_u = 0.54 \sqrt[3]{\rho} \left( \sqrt{f_c} + 249 \sqrt{\frac{\rho}{(a/d)^5}} \right) \left( \frac{1 + \sqrt{5.08/d_a}}{\sqrt{1 + d/(25d_a)}} \right)$
Kim [21]	$v_u = 3.5f_c^{\alpha/3} \rho^{3/8} (0.4 + d/a) \left(1 / \sqrt{1 + 0.008d} + 0.18\right)$ $1.0 \leq (a/d) < 3.0$ için $\alpha = 2 - (a/d)/3$ , ( $a/d \geq 3.0$ için $\alpha = 1$ )
Collins [22]	$v_c = \frac{245}{1275 + [25S_X / (d_a + 16)]} \sqrt{f_c}$ ; $S_X \approx 0.9d$
Rebeiz [23]	$v_c = 0.4 + \sqrt{f_c \rho (d/a)} (2.7 - 0.4A_d)$ , ( $a/d \geq 2.5$ için $A_d = 2.5$ )
Khuntia [24]	$v_c = 0.54 \sqrt[3]{(0.01\rho)(f_c V_u d / M_u)^{0.5}}$ , $M_u / (V_u d) = a/d - 1$

#### 4. İKİNCİ- MOMENT YAKLAŞIMI İLE GÜVENİLİRLİK VE GÖÇME OLASILIKLARININ BELİRLENMESİ

Enine donatısız betonarme kirişlerin çatlama kesme mukavemetlerini veren bağıntıların güvenilirliklerinin ya da göçme olasılıklarının belirlenmesinde yapılan olasılıksal değerlendirmede öncelikle  $Z = R - S$  performans fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu fonksiyonda R kapasite değeri kirişin taşıyabileceği değer, S değeri ise taşıma gücünün tahmin edilmesinde kullanılan bağıntılardan elde edilen değer olduğundan, yalnız  $R - S > 0$  olayını gerçekleştirecek deney kirişleri gözönüne alınmıştır. Yapılan

değerlendirmede  $R - S$  farkının en büyük olduğu bağıntı en güvenilir olacaktır. Başka bir ifade ile göçme olasılığı en küçük olan en güvenilir bağıntı olacaktır.

Dolayısıyla  $Z = R - S$  performans fonksiyonunun içerdiği rastgele değişkenler dört farklı yönetmelik [14-17] ve yedi farklı araştırmadan [18-24] alınan kesme mukavemeti bağıntılarındaki  $f_c$ ,  $\rho$ ,  $a/d$ ,  $d$ ,  $d_a$ ,  $v_c$  değerleridir.

#### 4.1 Değişkenlerin Standart Sapmaları

Olasılık temelli çözümlene yapabilmek için hem deneylerde ölçülen çatlama kesme mukavemetleri hem de deneylerle ilgili veriler rastgele değişkenler olarak modellenmiştir.

Modellemede standart sapma değerleri için literatürdeki çalışmalardan ve yönetmeliklerden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmalar ve yönetmeliklerde, beton basınç dayanımı için kabul edilebilecek standart sapma değerleri 2.3 MPa ile beton basınç dayanımına bağlı olarak 6.34 MPa'dan büyük bir değer arasında değişmektedir. TS500 [25]'e göre standart sapma değerleri C14-16 için 3.1 MPa, C20-30 için 4.7 MPa, 30 MPa'dan büyük karakteristik basınç dayanımları için ise 6.25 MPa alınmalıdır. Ersoy ve Özcebe [26] tarafından yapılan çalışmada, standart sapma değerleri C16-20 için 3.91 MPa, C25-35 için 4.88 MPa ve C35-50 için ise 5.10 MPa alınması önerilmektedir. ACI 318 [14]'e göre 30'dan az deney datası bulunması durumunda beton basınç dayanımındaki standart sapma değerinin arttırılması önerilmektedir ve standart sapmanın yaklaşık değerleri  $f_c < 21$  MPa için 5.2 MPa,  $21 \text{ MPa} \leq f_c \leq 35$  MPa için 6.34 MPa ve  $f_c > 35$  MPa için beton basınç dayanımına bağlı olarak 6.34 MPa'dan büyük bir değer bulunmaktadır.

Beton için kabul edilen standart sapma değeri, deneydeki ölçüm hassasiyeti ile ilgili bir bilgi olmadığından, mevcut kaynaklar [14, 25, 26] ve Çizelge 3 değerlendirilerek 5 MPa alınmıştır.

*Çizelge 3. Beton basınç dayanımı ve kiriş etkili yüksekliğine ilişkin istatistiksel veriler*

Kaynak	Beton basınç dayanımı			Kiriş etkili yüksekliği		
	Dayanım (MPa)	Standart sapma (MPa)	Olasılık dağılımı	Yükseklik (mm)	Standart sapma (mm)	Olasılık dağılımı
Hosseinnezhad [27]	32.2	5.0	---	---	5	---
Enright [28]	20.7	3.7	---	68.73	2.06	---
Neves [29]	30.0	3.6	Lognormal	---	---	---
Neves [29]	25.0	3.8	Lognormal	---	---	---
He [30]	28.0	2.9	Normal	---	12.7	Normal
Soares [31]	$25 < f_c < 50$	$4.0 < f_c < 5.5$	---	---	---	---
Biadini [32]	---	5.0	Lognormal	---	5	Lognormal

Yapılan çalışmalardan görüleceği gibi, beton basınç dayanımı ve kiriş etkili yüksekliği rastgele değişkenlerinin olasılık dağılımları ve standart sapma değerleri değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca hesaplarda gözönüne alınan tüm değişkenlerin standart sapmaları [33] Çizelge 4’de özetlendiği gibi kabul edilmiştir.

Çizelge 4. Değişkenlerin standart sapmaları

Değişkenler	Standart sapmalar
$f_c$	5 MPa
$f_y$	$0.01f_y$
$d$	$0.01d$
$a/d$	$0.01(a/d)$
$\rho$	$0.01\rho$
$d_a$	$0.01d_a$
$v_c$	$0.01v_c$

#### 4.2 Göçme Olasılıklarının İrdelenmesi

Çizelge 1’de her bir kiriş için  $f_c$ ,  $\rho$ ,  $a/d$ ,  $d$ ,  $d_a$ ,  $v_c$  değişkenleri, Çizelge 4’ de ise bu değişkenlere ilişkin standart sapma değerleri gözönüne alınarak her bir kesme mukavemeti bağıntısı [14-24] için ayrı ayrı Z performans fonksiyonu oluşturulmuş, fonksiyona ilişkin  $m_Z$  ortalama değeri ve  $\sigma_Z$  standart sapma, dolayısıyla  $\beta$  güvenilirlik indeksi ve göçme olasılıkları hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan sayısal çözümler, doğrudan normal çözüm, iterasyonlu normal çözüm ve iterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm olmak üzere üç farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Doğrudan normal ve iterasyonlu normal çözümlerde tüm değişkenlerin normal, iterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözümde ise  $f_c$  ve  $v_c$  lognormal diğer tüm değişkenlerin ise normal dağılım oldukları kabul edilmiştir. Lognormal dağılımlar Bölüm 2.2.3’de verilen bağıntılarla eşdeğer normal dağılıma dönüştürülmüştür. Ayrıca daha önce de belirtildiği gibi, tüm değişkenlerin istatistiksel bağımsız oldukları kabul edilmiştir [33]. Seçilen kiriş toplumunda elde edilen göçme olasılığı sonuçları Ek Çizelge 1-3’de, minimum (Min) ve maksimum (Mak) göçme olasılıkları sonuçları ise Çizelge 5’de özetlenmiştir.

Görüldüğü gibi seçilen her bir kiriş için elde edilen göçme olasılığı sonuçları, üç yöntem için ayrı ayrı değerlendirildiğinde; en güvenilirlerden en az güvenilirliğe doğru yapılan sıralama, Çizelge 6’da verilmiştir. Her üç çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre yapılan sıralamalarda birkaç değişiklik dışında benzerlik görülmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi her üç yöntemin de sağladığı ortak görüş, güvenilirlik sıralamasında EN92 [16] bağıntısının göçme olasılığı en düşük, Okamura [19] ve Kim [21] bağıntılarının ise göçme olasılığı en yüksek bağıntı olduğu yönündedir (Ek Çizelge 1-3).

Çizelge 5. Göçme olasılıkları sonuçlarının karşılaştırılması

Bağıntı	Doğrudan normal çözüm		İterasyonlu normal çözüm		İterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm	
	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak
ACI 318 [14]	<1.50E-15	1.58E-01	<1.50E-15	1.52E-01	<1.50E-15	1.49E-01
TS500 [15]	4.22E-15	4.06E-01	<1.50E-15	4.05E-01	2.55E-14	3.70E-01
EN 92 [16]	<1.50E-15	1.14E-03	<1.50E-15	3.84E-05	<1.50E-15	1.98E-03
CEB-FIB [17]	<1.50E-15	1.15E-02	<1.50E-15	2.88E-03	<1.50E-15	1.25E-02
Zsutty [18]	<1.50E-15	4.02E-01	<1.50E-15	3.99E-01	<1.50E-15	3.50E-01
Okamura [19]	6.21E-13	4.92E-01	<1.50E-15	4.92E-01	1.94E-11	4.39E-01
Bazant [20]	4.61E-08	3.00E-01	<1.50E-15	3.39E-03	<1.50E-15	1.38E-02
Kim [21]	1.61E-10	4.90E-01	1.09E-12	4.05E-01	2.01E-09	4.36E-01
Collins [22]	<1.50E-15	2.10E-01	<1.50E-15	2.02E-01	<1.50E-15	1.90E-01
Rebeiz [23]	<1.50E-15	1.24E-01	<1.50E-15	8.74E-02	<1.50E-15	9.44E-02
Khuntia [24]	<1.50E-15	6.55E-02	<1.50E-15	3.90E-02	<1.50E-15	5.24E-02

Çizelge 6. Hesaplanan göçme olasılığı ortalama değerlerine göre güvenilirlik sıralaması

Sıralama	Bağıntı		
	Doğrudan normal çözüm	İterasyonlu normal çözüm	İterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm
1	EN92 [16]	EN92 [16]	EN92 [16]
2	CEB-FIB [17]	CEB-FIB [17]	CEB-FIB [17]
3	Khuntia [24]	Bazant [20]	Bazant [20]
4	Rebeiz [23]	Khuntia [24]	Khuntia [24]
5	ACI 318 [14]	Rebeiz [23]	Rebeiz [23]
6	Collins [22]	Collins [22]	ACI 318 [14]
7	Zsutty [18]	ACI 318 [14]	Collins [22]
8	TS500 [15]	Zsutty [18]	Zsutty [18]
9	Bazant [20]	TS500 [15]	TS500 [15]
10	Kim [21]	Kim [21]	Kim [21]
11	Okamura [19]	Okamura [19]	Okamura [19]

Kiriş toplumu, giriş kesme mukavemeti ile ilgili yapılan deneysel çalışmalardan oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarda, kesme mukavemetini etkileyen değişkenlerin standart sapmaları ile ilintili herhangi bir bilgi verilmediğinden, bu çalışmada gözönüne alınan standart sapma değerleri literatürdeki farklı çalışmalardan faydalanılarak gerçeği olabildiğince doğru yansıtacak biçimde tahmin edilmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla giriş toplumundaki seçilen her giriş için standart sapma değerlerinin değişimine göre kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliğinde değişkenlik görülebilir.

#### 4.3 Sayısal Örnek

Bu örnekte Çizelge 7’de verilen istatistiksel veriler gözönüne alınarak ikinci-moment yaklaşımı ile, seçilen enine donatısız bir betonarme girişte (I-42 girişi [5]), ACI 318 [14]’de verilen kesme mukavemeti hesap bağıntısının güvenilirliği irdelenmiştir.

Çizelge 7. İstatistiksel veriler

Değişkenler	Ortalama değer	Standart sapma
Beton basınç dayanımı, $f_c$ (MPa)	18.64	5
Kiriş çatlama kesme mukavemeti, $v_c$ (MPa)	1.10	0.011

##### 4.3.1 Tüm değişkenlerin normal dağılımlı olduğu kabulüne göre doğrudan çözüm

$$Z = g(\mathbf{X}) = R - S$$

$R = v_c$ ,  $S = 0.17\sqrt{f_c}$  olduğundan (5) bağıntısına göre ortalama değer;

$$m_Z = m_R - m_S = 1.10 - 0.17\sqrt{18.64} = 0.366041 \text{ MPa ve (6) bağıntısına göre varyans,}$$

$$\sigma_Z^2 = (1)^2 \text{Var}(v_c) + \left(-\frac{0.17}{2\sqrt{f_c}}\right)^2 \text{Var}(f_c) = (1)^2 (0.011)^2 + \left(-\frac{0.17}{2\sqrt{18.64}}\right)^2 (5)^2 = 0.009811$$

ve standart sapma  $\sigma_Z = 0.099050$  MPa elde edilir.

Güvenilirlik indeksi  $\beta = \frac{m_Z}{\sigma_Z} = 3.696$  ve sırasıyla güvenilirlik ve göçme olasılıkları da;

$$p_S = \Phi(\beta) = \Phi(3.696) = 0.999890 \text{ ve } p_F = 1 - p_S = 1 - 0.999890 = 1.10E - 04 \text{ bulunur.}$$

#### 4.3.2 Tüm değişkenlerin normal dağılımlı olduğu kabulüne göre iterasyonla çözüm

(8) bağıntısına göre  $\alpha_{v_c}$  ve  $\alpha_{f_c}$  duyarlılık katsayıları hesaplanır.

$$\alpha_{v_c} = \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_Z} = \frac{(1)0.011}{0.099050} = 0.111055$$

$$\alpha_{f_c} = \frac{(-0.019688)5}{0.099050} = -0.993841$$

Limit duruma göre,  $Z=0$  yazılarak güvenilirlik indeksi hesaplanır.

$$Z = \left\{ v_c - \alpha_{v_c} (\beta) \sigma_{v_c} \right\} - 0.17 \sqrt{f_c - \alpha_{f_c} (\beta) \sigma_{f_c}} = 0$$

$$\{1.10 - 0.111055 (\beta) 0.011\} - 0.17 \sqrt{18.64 + 0.993841 (\beta) 5} = 0$$

$$\beta_1 = 4.589$$

Elde edilen güvenilirlik indeksi esas alınarak (11) bağıntısına göre yeni göçme noktaları (tasarım değerleri) elde edilir.

$$v_c^* = 1.10 - 0.111054(4.589)0.011 = 1.094 \text{ MPa}$$

$$f_c^* = 18.64 + 0.993841(4.589)5 = 41.443 \text{ MPa}$$

Bu yeni göçme noktalarına göre 1.iterasyonda izlenen algoritma esas alınarak 2.iterasyon ile güvenilirlik indeksi yeniden hesaplanır. Yakınsaklık sağlanıncaya kadar iterasyona devam edilir. 2.iterasyon sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. 2.İterasyon sonuçları

$X_i$	$x_i^*$	$m_i$	$\sigma_i$	$\left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^*$	$\alpha_i^*$
$v_c$	1.094	1.10	0.011	0.011000	0.164355
$f_c$	41.443	18.64	5	-0.066018	-0.986401

2. iterasyon sonunda  $\beta_2 = 4.582$  bulunmuştur. Bu değeri 1. iterasyonda hesaplanan  $\beta_1 = 4.589$  değerine yakın olduğundan iterasyona son verilir. Böylece göçme olasılığı  $p_F = 1 - \Phi(\beta) = 1 - \Phi(4.582) = 2.32E - 06$  bulunmuştur.

#### 4.3.3 $v_c$ ve $f_c$ 'nin lognormal dağılımlı olduğu kabulüne göre iterasyonla çözüm

Lognormal dağılıma ilişkin parametreler (12) ve (13) bağıntıları ile hesaplanır.

$$\zeta_{v_c}^2 = \ln(1 + \sigma_{v_c}^2 / m_{v_c}^2) = \ln(1 + 0.011^2 / 1.10^2) = 1.0E - 4 \rightarrow \zeta_{v_c} = 0.01$$

$$\zeta_{f_c}^2 = \ln(1 + \sigma_{f_c}^2 / m_{f_c}^2) = \ln(1 + 5^2 / 18.64^2) = 0.069482 \rightarrow \zeta_{f_c} = 0.263595$$

$$\lambda_{v_c} = \ln m_{v_c} - 0.5\zeta_{v_c}^2 = \ln 1.10 - 0.5(0.0001) = 0.095260$$

$$\lambda_{f_c} = \ln m_{f_c} - 0.5\zeta_{f_c}^2 = \ln 18.64 - 0.5(0.069482) = 2.890569$$

$v_c$  ve  $f_c$  lognormal dağılımlı değişkenlerin dağılımları (14) ve (15) bağıntıları ile eşdeğer normal dağılıma dönüştürülür.

$$\sigma_{v_c}^N = \zeta_{v_c} v_c^* = 0.01(1.10) = 0.011$$

$$\sigma_{f_c}^N = \zeta_{f_c} f_c^* = 0.263595(18.64) = 4.913400$$

$$m_{v_c}^N = v_c^*(1 - \ln v_c^* + \lambda_{v_c}) = 1.10[1 - \ln(1.10) + 0.095260] = 1.099945$$

$$m_{f_c}^N = f_c^*(1 - \ln f_c^* + \lambda_{f_c}) = 18.64[1 - \ln(18.64) + 2.890569] = 17.992427$$

1. iterasyon sonuçları Çizelge 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 9. 1. İterasyon sonuçları

$X_i$	$x_i^*$	$m_i$	$\sigma_i$	$\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)^*$	$\alpha_i^*$
$v_c$	1.10	1.099945	0.011000	0.011000	0.112986
$f_c$	18.64	17.992427	4.913400	-0.096734	-0.993597

$$\{1.099945 - 0.112986(\beta)0.011000\} - 0.17\sqrt{17.992427 + 0.993597(\beta)4.913400} = 0$$

$$\beta_1 = 4.797$$

1.iterasyonda uygulanan algoritma esas alınarak 2. iterasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 10'de gösterilmiştir.

Çizelge 10. 2.İterasyon sonuçları

$X_i$	$x_i^*$	$m_i$	$\sigma_i$	$\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)^*$	$\alpha_i^*$
$v_c$	1.093983	1.099929	0.010940	0.010940	0.075658
$f_c$	41.411091	6.916491	10.915757	-0.144183	-0.997134

$$Z = \{1.099929 - 0.075658(\beta)0.010940\} - 0.17\sqrt{6.916491 + 0.997134(\beta)10.915757} = 0$$

$$\beta_2 = 3.192$$

Yakınsaklık sağlanmadığı için 3. iterasyon yapılmış ve sonuçlar Çizelge 11'de özetlenmiştir.

Çizelge 11. 3.İterasyon sonuçları

$X_i$	$x_i^*$	$m_i$	$\sigma_i$	$\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)^*$	$\alpha_i^*$
$v_c$	1.097287	1.099942	0.010973	0.010973	0.075660
$f_c$	41.659727	6.708637	10.981296	-0.144615	-0.997134

$$Z = \{1.099942 - 0.075660(\beta)0.010973\} - 0.17\sqrt{6.708637 + 0.997134(\beta)10.981296} = 0$$

$$\beta_3 = 3.192$$

Hesaplanan bu değer bir önceki iterasyonda bulunan  $\beta_2 = 3.192$  değerine eşit olduğundan iterasyona son verilir. Göçme olasılığı  $p_F = 1 - \Phi(\beta) = 1 - \Phi(3.192) = 7.06E - 04$  bulunur.



## 5. SONUÇLAR

Kirişlerin deneysel sonuçları gözönüne alınarak, söz konusu kiriş toplumu için kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği irdelenmiştir. İrdelenme sonucu:

- Doğrudan normal çözüm, iterasyonlu normal çözüm ve iterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm için belirlenen göçme olasılıklarına göre güvenilirliği en yüksek olan bağıntının EN92, en düşük ise Okamura tarafından önerilen bağıntı olduğu görülmüştür.
- EN92 bağıntısının göçme olasılığı bakımından doğrudan normal çözümde; yaklaşık olarak, CEB-FIB'den 9 kat, Khuntia'ten 50 kat, Rebeiz'den 95 kat, ACI318'den 180 kat, Collins'den 395 kat, Zsutty'den 575 kat, TS500'den 940 kat, Bazant'dan 1190 kat, Kim ve Okamura'dan ise 2000 kat daha küçük sonuç verdiği gözlenmiştir.
- EN92 bağıntısının iterasyonlu normal çözümde, yaklaşık olarak CEB-FIB'dan 70 kat ve Çizelge 6'da verilen sıralamaya göre, Okamura'dan ise göçme olasılığı bakımından yaklaşık 67000 kat daha küçük sonuç verdiği görülmüştür.
- İterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözümde ise, EN92 bağıntısının göçme olasılığı bakımından CEB-FIB'dan yaklaşık 5 kat, Okamura bağıntısından yaklaşık 940 kat daha küçük sonuç verdiği gözlenmiştir.
- Normal dayanımlı betondan üretilen farklı malzeme dayanımları ve geometrik özelliklere sahip betonarme kirişler için, yeterli sayıda göçme olasılığı hesaplandığı düşünülmeye karşın, yüksek dayanımlı betondan üretilmiş yeterli sayıda kiriş için kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği irdelenmemiştir. Ancak bu çalışmada yüksek dayanımlı betondan üretilmiş sadece üç kirişte (B4-1, B4-2, B4-3) olasılıksal değerlendirmeler yapılmış ve güvenilirliği en yüksek bağıntının EN92 olduğu anlaşılmıştır. Daha güvenilir bir değerlendirme yapabilmek amacıyla, farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip daha fazla sayıda kiriş için göçme olasılıkları belirlenmelidir.
- Ayrıca sonuçların güvenilirliği yönünden göçme olasılıklarının, performans fonksiyonunu oluşturan değişkenlerin kendilerine özgü dağılımları esas alınarak iterasyonlu ikinci-moment yaklaşımı ile tahmin edilmesi, doğrudan yaklaşımın ise göçme olasılığı hakkında yaklaşık bilgi edinilmesi için kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir.

### Semboller

- a : Kesme açıklığı  
d : Kiriş etkili yüksekliği  
 $d_a$  : Maksimum agrega çapı  
 $f_c$  : Beton basınç dayanımı  
 $f_y$  : Donatı akma dayanımı

*Enine Donatısız Betonarme Kiriş Kesme Mukavemeti Bağıntılarının ...*

- $f_Z(z)$  : Z performans fonksiyonunun olasılık yoğunluk fonksiyonu  
 $f_X(\mathbf{x})$  : Ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu  
 $g(\mathbf{X})$  : = Z = Performans fonksiyonu  
 $m_X$  : X rastgele değişkeninin ortalama değeri  
 $m_R, m_S$  : Kapasite, istem ortalama değeri  
 $m_Z$  : Z performans fonksiyonunun ortalama değeri  
 $M_u$  : Kirişin taşıyabileceği nihai moment taşıma kapasitesi  
 $p_F$  : Göçme olasılığı  
 $p_S$  : Güvenilirlik olasılığı  
R, S : Kapasite (mukavemet), istem (yük ya da yük etkisi bileşeni)  
s : Standart normal rastgele değişkeninin değeri  
 $V_u$  : Kirişin taşıyabileceği nihai kesme kuvveti taşıma kapasitesi  
 $v_c$  : Kiriş çatlama kesme mukavemeti  
 $v_{rd,c}$  : Kiriş kesme mukavemeti  
 $\text{Var}(X_i)$  :  $X_i$  rastgele değişkeninin varyansı  
 $\text{Var}(Z)$  : Z performans fonksiyonunun varyansı  
X : Rastgele değişken  
 $X'_i$  : İndirgenmiş değişken  
 $\mathbf{x}^*$  : En olası göçme noktası  
 $\alpha_i$  : Duyarlılık katsayısı  
 $\beta$  : Güvenilirlik indeksi  
 $\Phi(\cdot)$  : Standart normal dağılım fonksiyonu  
 $\lambda_R, \lambda_S$  : Kapasite, istem lognormal dağılım ortalama değer parametresi  
 $\sigma_R, \sigma_S$  : Kapasite, istem standart sapması  
 $\sigma_Z$  : Z performans fonksiyonunun standart sapması  
 $\rho$  : Donatı oranı  
 $\zeta_R, \zeta_S$  : Kapasite, istem lognormal dağılım standart sapma parametresi

### Kaynaklar

- [1] Gündüz, A., Mühendislikte Olasılık, İstatistik, Risk ve Güvenilirlik, Birinci Baskı, Küre Basım Yayım, İstanbul, 1996.
- [2] Ang, A. H-S., Tang, W. H., Probability concepts in engineering planning and design, V.II, Decision, risk, and reliability, Wiley, New York, 1984.
- [3] Ranganathan, R., Reliability analysis and design of structures, tata McGraw-Hill offices, New Delhi, 1990.
- [4] Nowak, A.S., Collins, K.R., Reliability of structures, The McGraw-Hill Companies, 2000.
- [5] Taylor, R., Some Shear Tests On Reinforced Concrete Beams Without Shear Reinforcement, Mag Conc Res, 12(36): 145-154, 1960.
- [6] Krefeld, W.J., Thurston, C. W., Studies of the shear and Diagonal Tension Strength of Simply Supported Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, 63(4): 451-476, 1966.
- [7] Shah, A., Ahmad, S., An Experimental Investigation into Shear Capacity of High Strength Concrete, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 8(15): 549-562, 2007.
- [8] Moody, K.G., Viest, I. M., Elstner, R. C., Hognestad, E., Shear strength of reinforced concrete beams, part I-tests of simple beams, ACI J Proceed, 51(3): 317-332, 1954.
- [9] Mattock, A. H., Diagonal tension cracking in concrete beams with axial forces, Proceed ASCE, 95(ST9): 1887-1900, 1969.
- [10] Diaz de Cossio, R., Siess, C. P., Behavior and strength in shear of beams and frames without web reinforcement, ACI J Proceed, 56(8): 695-735, 1960.
- [11] Van den Berg, F. J., Shear strength of reinforced concrete beams without web reinforcement. Part2-Factors affecting load at diagonal cracking, ACI J Proceed, 59(11): 1587-1600, 1962.
- [12] Ahmad, S. H., Khaloo, A. R., Poveda, A., Shear capacity of reinforced high-strength concrete beams, ACI J 83(2): 297-305, 1986.
- [13] Sneed, L. H., Ramirez, J. A., Influence of effective depth on shear strength of concrete beams-Experimental study, ACI Struct J, 107(5), 554-562, 2010.
- [14] ACI Committee 318, Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary, ACI, Farmington Hills, 2008.
- [15] TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [16] Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1, General Rules and Rules For Buildings, CEN, Brussels, EN 1992-1-1:2004.
- [17] Comité Euro-International du Béton (CEB): CEB-FIP Model Code,; Bulletin d'Information, Thomas Telford Services, London, 213-214, 1990.

- [18] Zsutty, T. C., Shear Strength Prediction For Separate Categories of Simple Beam Tests, ACI J Proceed, 68(2): 138-143, 1971.
- [19] Okamura, H., Higai, T., Proposed Design Equation For Shear Strength of RC Beams Without Web Reinforcement, Proc Japan Soc Civil Eng, 300:131–141, 1980.
- [20] Bazant, Z. P., Kim, J. K., Size Effect In Shear Failure Of Longitudinally Reinforced Beams, ACI Struct J, 81(5): 456-468, 1984.
- [21] Kim, J. K., Park, Y. D., Prediction of shear strength of reinforced concrete beams without web reinforcement, ACI Mater J, 93(3): 213-222, 1996.
- [22] Collins, M.P., Kuchma, D.A., How Safe Are Our Large, Lightly Reinforced Concrete Beams, Slabs and Footings, ACI Struct J, 96(4): 482–490, 1999.
- [23] Rebeiz, K. S., Shear Strength Prediction For Concrete Member, J Struct Eng ASCE, 125(3): 301-308, 1999
- [24] Khuntia, M., Stojadinovic, B., Shear Strength Of Reinforced Concrete Beams Without Transverse Reinforcement, ACI Struct J, 98(5):648–656, 2001.
- [25] TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 1984.
- [26] Ersoy, U., Özcebe, G., Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2001.
- [27] Hosseinneshad, A., Pourzeynali, S., Razzaghi, J., Application of First- Order Second-Moment Level 2 Reliability Analysis of Prestressed Concrete Bridges, 7th International Congress On Civil Engineering, 2000.
- [28] Enright, M. P., Frangopol, D.M., Probabilistic Analysis of Resistance Degradation of Reinforced Concrete Bridge Beams Under Corrosion, Engineering Structures , 20: 960-971, 1998.
- [29] Neves, R. A., Chateaufneuf, A.M., Venturini W.S., Component and System Reliability Analysis Of Nonlinear Reinforced Concrete Grids With Multiple Failure Modes, Structural Safety, 30: 183-189, 2008.
- [30] He, Z., Qiu, F., Probabilistic Assesment On Flexural Capacity of GFRP- Reinforced Concrete Beams Designed By Guideline, Construction and Building Materials, 25: 1663-1670, 2011.
- [31] Soares, R.C., Mohammed, A., Venturini, W.S., Lemaire, M., Reliability Analysis of Nonlinear Reinforced Concrete Frames Using The Response Surface Method, Reliability Engineering and System Safety, 75: 1-16, 2002.
- [32] Biandini, F., Bantempi, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G., Reliability of Material and Geometrically Non-linear Reinforced and Prestressed Concrete Structure, Computers and Structure, 82: 1021-1031, 2004.
- [33] İbiş A., Literatürde önerilen enine donatısız betonarme kiriş çatlama kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliğinin olasılıksal yöntemlerle irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2011.

**Ekler:**

*Ek Çizelge 1. Doğrudan normal çözüm göçme olasılıkları*

Kiriş	ACI318	TS500	EN92	CEB-FIP	Zsutty	Okamura	Bazant	Kim	Collins	Rebeiz	Khuntia
I-42	1.10E-04	1.51E-03	4.51E-08	7.14E-04	1.70E-01	2.13E-01	4.85E-02	2.71E-01	7.32E-05	9.61E-03	5.16E-05
I-54	1.46E-02	5.70E-02	1.14E-03	1.15E-02	4.02E-01	4.92E-01	2.30E-01	4.90E-01	1.14E-02	1.24E-01	6.55E-02
II-2A	1.58E-01	3.80E-01	1.97E-07	4.44E-10	4.32E-05	1.16E-02	3.47E-03	1.17E-03	2.04E-01	2.60E-09	<1.50E-15
II-2B	2.46E-02	1.08E-01	1.41E-13	1.03E-14	4.88E-08	1.39E-04	7.32E-05	4.52E-06	3.66E-02	1.89E-15	<1.50E-15
II-2C	3.64E-03	2.77E-02	1.85E-11	1.82E-12	1.13E-06	9.78E-04	4.52E-04	1.21E-04	6.23E-03	2.49E-13	<1.50E-15
II-2D	1.10E-04	4.06E-01	3.59E-06	6.98E-07	4.63E-03	1.65E-01	6.07E-02	6.08E-02	2.10E-01	4.29E-05	6.00E-15
II-2E	3.88E-03	3.36E-02	1.03E-08	1.35E-09	1.20E-04	2.29E-02	1.08E-02	7.63E-03	6.89E-03	8.00E-10	<1.50E-15
II-2F	1.31E-03	1.32E-02	5.446E-09	7.81E-10	4.68E-05	9.62E-03	3.87E-03	3.063E-03	2.40E-03	2.50E-10	<1.50E-15
II-2G	2.55E-02	1.08E-01	3.18E-05	8.93E-06	9.24E-03	1.73E-01	5.66E-02	9.63E-02	3.75E-02	2.33E-05	3.07E-10
II-2H	6.30E-03	4.04E-02	5.79E-07	1.20E-07	8.42E-04	4.89E-02	1.62E-02	2.09E-02	1.03E-02	1.30E-07	4.55E-15
II-2I	2.85E-03	2.59E-02	4.58E-06	9.81E-07	4.13E-03	1.37E-01	5.86E-02	8.63E-02	5.12E-03	1.19E-06	1.11E-13
II-2J	2.02E-03	1.93E-02	3.43E-06	7.51E-07	3.13E-03	1.11E-01	4.49E-02	6.44E-02	3.67E-03	7.98E-07	1.30E-13
II-2K	2.90E-04	3.82E-03	1.83E-04	5.78E-05	2.09E-02	2.35E-01	9.60E-02	2.02E-01	5.65E-04	7.20E-05	1.12E-07
II-2L	1.36E-06	9.04E-05	1.25E-08	1.65E-09	1.21E-04	2.16E-02	1.47E-02	1.66E-02	4.40E-06	5.30E-10	<1.50E-15
II-2M	7.65E-05	1.88E-03	7.95E-06	1.78E-06	5.77E-03	1.63E-01	8.35E-02	1.39E-01	1.78E-04	1.65E-06	4.79E-13
II-2N	1.70E-04	3.32E-03	4.21E-07	1.15E-05	5.99E-02	1.80E-01	9.96E-02	1.85E-01	1.57E-04	2.87E-04	2.96E-09
II-2P	4.34E-06	1.63E-04	2.60E-09	1.14E-07	4.65E-03	2.37E-02	1.27E-02	2.48E-02	3.99E-06	2.28E-06	5.69E-13
III-2A	6.76E-04	6.05E-03	6.28E-06	1.84E-06	1.85E-03	5.04E-02	1.42E-02	3.12E-02	1.19E-03	1.28E-06	1.98E-10
III-2B	3.22E-05	4.55E-04	1.27E-07	2.97E-08	1.19E-04	8.22E-03	2.39E-03	4.63E-03	6.61E-05	4.92E-09	2.89E-14
III-2C	1.95E-03	1.60E-02	1.60E-05	4.45E-06	5.10E-03	1.15E-01	3.90E-02	7.55E-02	3.39E-03	5.10E-06	1.68E-10
III-2E	5.59E-03	4.94E-02	1.00E-05	1.97E-06	1.03E-02	2.63E-01	1.40E-01	1.84E-01	1.01E-02	3.14E-06	1.45E-14
III-2F	1.04E-04	2.46E-03	1.69E-09	1.76E-11	3.86E-05	1.21E-02	7.57E-03	5.42E-03	2.38E-04	4.80E-11	<1.50E-15
III-2G	2.34E-04	5.75E-03	3.44E-10	2.70E-11	3.05E-05	1.65E-02	1.46E-02	6.83E-03	5.46E-04	8.97E-12	<1.50E-15
III-2H	7.75E-08	1.68E-05	<1.50E-15	<1.15E-15	2.81E-10	2.08E-05	1.61E-04	4.72E-06	3.07E-07	<1.50E-15	<1.50E-15
III-2J	4.22E-04	1.36E-02	1.95E-12	6.07E-14	5.69E-06	1.55E-02	3.21E-02	5.36E-03	1.08E-03	2.79E-14	<1.50E-15
III-2K	9.14E-06	8.22E-04	6.33E-15	<1.50E-15	1.05E-07	1.40E-03	5.30E-03	4.22E-04	3.02E-05	<1.50E-15	<1.50E-15
4AAC	3.60E-11	4.71E-08	<1.50E-15	4.36E-06	5.08E-02	2.13E-01	3.00E-01	4.10E-01	4.61E-10	1.10E-04	<1.50E-15
3AAC	2.41E-07	6.70E-05	<1.50E-15	1.73E-07	5.49E-02	1.97E-01	2.79E-01	3.36E-01	1.24E-06	2.82E-05	<1.50E-15
B4-1	<1.50E-15	4.22E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	6.21E-13	4.61E-08	1.61E-10	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15
B4-2	4.76E-12	3.44E-07	<1.50E-15	<1.50E-15	1.62E-12	1.07E-08	1.76E-05	9.84E-08	7.31E-12	<1.50E-15	<1.50E-15
B4-3	3.05E-09	1.91E-05	<1.50E-15	<1.50E-15	1.82E-13	1.86E-09	1.45E-05	3.00E-09	4.36E-09	<1.50E-15	<1.50E-15
Ortalama	<8.14E-03	4.27E-02	<4.54E-05	<3.97E-04	<2.61E-02	9.36E-02	5.40E-02	8.80E-02	<1.78E-02	<4.33E-03	<2.11E-03

Ek Çizelge 2. İterasyonlu normal çözüm göçme olasılıkları

Kiriş	ACI318	TS500	EN92	CEB-FIP	Zsutty	Okamura	Bazant	Kim	Collins	Rebeiz	Khuntia
I-42	2.32E-06	2.00E-04	<1.50E-15	1.99E-05	1.50E-01	1.97E-01	4.92E-04	2.61E-01	1.12E-06	3.64E-03	2.84E-08
I-54	5.89E-03	4.00E-02	3.84E-05	2.88E-03	3.99E-01	4.92E-01	3.39E-03	4.05E-01	4.23E-03	8.74E-02	3.90E-02
II-2A	1.47E-01	3.78E-01	<1.50E-15	<1.50E-15	3.59E-07	4.42E-03	9.99E-14	1.24E-04	1.93E-01	2.27E-13	<1.50E-15
II-2B	1.49E-02	9.36E-02	<1.50E-15	<1.50E-15	1.28E-13	2.44E-06	<1.50E-15	3.06E-09	2.49E-02	<1.50E-15	<1.50E-15
II-2C	1.06E-03	1.73E-02	<1.50E-15	<1.50E-15	1.30E-10	3.19E-05	<1.50E-15	1.80E-06	2.29E-03	<1.50E-15	<1.50E-15
II-2E	1.52E-01	4.05E-01	5.11E-09	2.45E-10	1.28E-03	1.51E-01	2.82E-08	4.51E-02	2.02E-01	6.77E-08	<1.50E-15
II-2F	1.31E-03	2.31E-02	9.66E-15	<1.50E-15	3.01E-06	1.21E-02	1.22E-11	2.56E-03	2.93E-03	3.49E-14	<1.50E-15
II-2G	2.34E-04	6.50E-03	<1.50E-15	<1.50E-15	2.85E-07	3.11E-03	4.20E-13	5.21E-04	5.87E-04	<1.50E-15	<1.50E-15
II-2H	1.54E-02	9.31E-02	1.16E-07	9.16E-09	2.88E-03	1.57E-01	2.37E-07	7.69E-02	2.54E-02	5.54E-07	<1.50E-15
II-2I	2.29E-03	2.79E-02	1.86E-11	6.50E-13	5.67E-05	3.17E-02	4.01E-10	9.75E-03	3.98E-03	7.84E-11	<1.50E-15
II-2J	8.19E-04	1.64E-02	3.69E-09	1.39E-09	9.61E-04	1.21E-01	5.57E-08	6.06E-02	1.55E-03	6.84E-09	<1.50E-15
II-2K	4.77E-04	1.11E-02	1.53E-09	9.62E-11	5.73E-04	9.28E-02	2.46E-08	5.07E-02	1.15E-03	2.88E-09	<1.50E-15
II-2L	1.78E-05	1.03E-03	2.04E-06	2.99E-07	9.09E-03	2.23E-01	3.34E-06	1.95E-01	5.46E-05	2.50E-05	5.83E-14
II-2M	3.30E-09	4.85E-06	3.89E-15	<1.50E-15	2.74E-06	1.10E-02	7.28E-11	7.66E-03	3.00E-08	1.13E-14	<1.50E-15
II-2N	3.30E-06	4.65E-04	9.58E-09	8.50E-10	1.62E-03	2.05E-01	2.97E-07	1.23E-01	1.37E-05	1.13E-08	<1.50E-15
II-2P	1.15E-05	1.04E-03	1.83E-11	3.15E-08	4.30E-02	2.20E-01	8.54E-06	1.72E-01	1.11E-05	3.37E-05	<1.50E-15
III-2A	1.25E-08	7.98E-06	<1.50E-15	3.04E-13	9.13E-04	1.12E-02	5.78E-09	1.20E-02	1.31E-08	8.45E-09	<1.50E-15
III-2B	5.14E-05	1.72E-03	4.09E-10	2.51E-11	1.22E-04	2.98E-02	1.55E-09	1.47E-02	1.34E-04	9.64E-10	<1.50E-15
III-2C	1.48E-01	2.92E-05	6.47E-14	<1.50E-15	3.07E-07	1.56E-03	5.21E-13	5.69E-04	6.81E-07	5.44E-15	<1.50E-15
III-2D	3.77E-04	7.98E-03	7.67E-08	1.22E-09	1.02E-03	9.49E-02	4.73E-08	5.52E-02	8.74E-04	3.15E-08	<1.50E-15
III-2E	2.36E-03	3.83E-02	4.17E-08	3.12E-09	4.21E-03	2.56E-01	8.34E-07	1.72E-01	5.22E-03	6.14E-08	<1.50E-15
III-2F	5.75E-06	7.06E-04	<1.50E-15	<1.50E-15	3.27E-07	4.95E-03	2.34E-12	1.54E-03	2.29E-05	<1.50E-15	<1.50E-15
III-2G	2.75E-05	2.59E-03	<1.50E-15	<1.50E-15	4.36E-07	8.56E-03	6.63E-12	2.58E-03	1.04E-04	<1.50E-15	<1.50E-15
III-2H	6.79E-11	6.42E-07	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	3.32E-07	<1.50E-15	2.77E-08	1.21E-09	<1.50E-15	<1.50E-15
III-2J	9.00E-5	8.75E-03	<1.50E-15	<1.50E-15	8.13E-08	9.37E-03	5.05E-12	2.35E-03	3.58E-04	<1.50E-15	<1.50E-15
III-2K	3.04E-07	2.29E-04	<1.50E-15	<1.50E-15	5.67E-11	3.41E-04	2.78E-15	6.22E-05	2.33E-06	<1.50E-15	<1.50E-15
4AAC	<1.50E-15	4.28E-11	<1.50E-15	2.10E-08	3.71E-02	2.03E-01	1.29E-04	2.87E-01	1.15E-14	1.32E-05	<1.50E-15
3AAC	7.95E-06	7.98E-06	<1.50E-15	4.16E-10	4.35E-02	1.88E-01	1.33E-04	3.33E-01	2.57E-08	2.40E-06	<1.50E-15
B4-1	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	1.09E-12	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15
B4-2	3.26E-14	2.69E-08	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	2.42E-10	<1.50E-15	5.05E-09	1.45E-14	<1.50E-15	<1.50E-15
B4-3	2.30E-13	7.19E-06	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	2.15E-11	<1.50E-15	4.73E-11	8.76E-11	<1.50E-15	<1.50E-15
Ortalama	<1.59E-02	<3.79E-02	<1.31E-06	<9.36E-05	<2.24E-02	<8.80E-02	<1.34E-04	7.39E-02	<1.51E-02	<2.94E-03	<1.26E-03

Ek Çizelge 3. İterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm göçme olasılıkları

Kiriş	ACI318	TS500	EN92	CEB-FIP	Zsutty	Okamura	Bazant	Kim	Collins	Rebeiz	Khuntia
I-42	7.06E-04	3.83E-03	2.08E-06	1.38E-03	1.44E-01	1.81E-01	4.21E-03	2.31E-01	5.55E-04	1.36E-02	7.44E-05
I-54	1.84E-02	5.57E-02	1.98E-03	1.25E-02	3.50E-01	4.39E-01	1.38E-02	4.36E-01	1.56E-02	9.44E-02	5.24E-02
II-2A	1.43E-01	3.42E-01	3.59E-08	6.04E-08	1.50E-04	1.26E-02	1.41E-06	1.87E-03	1.82E-01	8.69E-07	<1.50E-15
II-2B	2.79E-02	9.97E-02	6.27E-10	1.35E-10	1.34E-06	2.97E-04	3.25E-08	2.96E-05	3.88E-02	1.31E-09	<1.50E-15
II-2C	6.37E-03	3.07E-02	1.01E-08	2.76E-09	1.15E-05	1.40E-03	2.60E-07	3.29E-04	9.49E-03	7.22E-09	<1.50E-15
II-2D	1.49E-01	3.70E-01	2.02E-05	6.44E-06	5.72E-03	1.47E-01	4.86E-05	5.65E-02	1.90E-01	5.36E-05	3.66E-13
II-2E	6.42E-03	3.60E-02	3.64E-07	9.88E-08	3.03E-04	2.30E-02	4.15E-06	8.80E-03	1.00E-02	4.06E-07	<1.50E-15
II-2F	3.04E-03	1.70E-02	3.24E-07	9.88E-08	1.62E-04	1.08E-02	3.03E-06	4.15E-03	4.70E-03	3.54E-07	<1.50E-15
II-2G	2.88E-02	9.96E-02	1.20E-04	4.92E-05	1.04E-02	1.51E-01	1.54E-04	8.55E-02	3.96E-02	2.05E-04	3.15E-09
II-2H	9.59E-03	4.22E-02	7.19E-06	2.56E-06	1.47E-03	4.53E-02	2.26E-05	2.12E-02	1.34E-02	9.74E-06	5.82E-13
II-2I	5.15E-03	2.90E-02	2.63E-05	9.14E-06	5.23E-03	1.22E-01	8.00E-05	7.80E-02	7.55E-03	2.85E-05	4.63E-12
II-2J	4.05E-03	2.29E-02	2.26E-05	1.84E-11	4.13E-03	9.85E-02	6.72E-05	6.28E-02	6.30E-03	2.43E-05	6.11E-12
II-2K	1.15E-03	6.76E-03	4.57E-04	2.14E-04	2.10E-02	2.04E-01	5.83E-04	1.81E-01	1.80E-03	4.60E-04	4.04E-07
II-2L	3.23E-05	4.58E-04	4.36E-07	1.25E-07	3.10E-04	2.18E-02	7.85E-06	1.73E-02	6.34E-05	3.75E-07	<1.50E-15
II-2M	4.13E-04	3.78E-03	3.90E-05	1.38E-05	6.95E-03	1.88E-01	1.47E-04	1.24E-01	7.18E-04	3.44E-05	1.47E-11
II-2N	7.01E-04	5.80E-03	4.99E-06	5.32E-05	5.51E-02	2.02E-01	5.83E-04	1.64E-01	6.71E-04	9.78E-04	1.68E-08
II-2P	8.44E-05	7.73E-04	2.46E-07	2.68E-05	5.87E-03	2.35E-02	5.99E-05	2.45E-02	8.08E-05	5.55E-05	2.72E-11
III-2A	2.207E-03	9.77E-03	4.78E-05	2.19E-05	2.88E-03	4.54E-02	7.92E-05	2.95E-02	3.18E-03	5.52E-05	3.30E-09
III-2B	3.71E-04	1.95E-03	4.43E-06	1.92E-06	3.86E-04	9.49E-03	1.58E-05	5.97E-03	4.25E-04	4.26E-06	6.89E-12
III-2C	4.17E-03	1.99E-02	7.71E-05	3.25E-05	6.35E-03	1.00E-01	1.28E-04	6.73E-02	6.18E-03	9.08E-05	2.27E-09
III-2E	8.29E-03	5.02E-02	3.96E-05	1.24E-05	5.19E-03	2.37E-01	1.55E-04	1.65E-01	1.32E-02	4.06E-05	5.82E-13
III-2F	4.91E-04	4.77E-03	1.21E-07	2.87E-08	1.24E-04	1.31E-02	2.50E-06	6.57E-03	8.60E-04	9.59E-08	<1.50E-15
III-2G	7.54E-04	8.38E-03	2.47E-08	4.95E-09	9.08E-05	1.72E-02	1.54E-06	7.91E-03	1.40E-03	2.03E-08	<1.50E-15
III-2H	3.70E-06	1.18E-04	2.08E-13	2.49E-14	1.97E-08	6.80E-05	1.82E-09	2.2E-05	8.84E-06	2.21E-13	<1.50E-15
III-2J	9.91E-14	1.63E-02	2.80E-10	3.33E-11	1.92E-05	1.62E-02	3.69E-07	6.24E-03	2.07E-03	2.36E-10	<1.50E-15
III-2K	6.49E-05	1.73E-03	8.50E-12	1.78E-10	9.54E-07	1.96E-03	3.43E-08	7.11E-04	1.51E-04	7.77E-12	<1.50E-15
4AAC	4.78E-08	2.81E-06	2.36E-12	2.08E-04	4.80E-02	1.93E-01	1.39E-03	2.66E-01	1.97E-07	4.25E-04	<1.50E-15
3AAC	2.55E-04	2.55E-14	<1.50E-15	1.39E-06	5.24E-02	1.81E-01	1.00E-07	3.11E-01	1.56E-05	1.30E-04	<1.50E-15
B4-1	<1.50E-15	4.44E-12	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15	1.94E-11	<1.50E-15	2.01E-09	<1.50E-15	<1.50E-15	<1.50E-15
B4-2	6.08E-10	2.32E-06	<1.50E-15	<1.50E-15	2.64E-11	5.69E-08	<1.50E-15	3.86E-07	8.00E-10	<1.50E-15	<1.50E-15
B4-3	6.37E-08	7.88E-05	<1.50E-15	<1.50E-15	4.39E-12	1.35E-08	<1.50E-15	1.94E-08	8.38E-08	<1.50E-15	<1.50E-15
Ortalama	<1.36E-02	4.13E-02	<9.19E-05	<4.69E-04	<2.34E-02	8.66E-02	<6.95E-04	7.62E-02	<1.77E-02	<3.57E-03	<1.69E-03

