

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİTERATÜRDE ÖNERİLEN BETONARME KİRİŞ KESME MUKAVEMETİ
BAĞINTILARININ GÜVENİLİRLİĞİNİN OLASILIKSAL YÖNTEMLERLE
İRDELENMESİ**

ALİ OSMAN KACEMER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. GÜRAY ARSLAN**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİTERATÜRDE ÖNERİLEN BETONARME KİRİŞ KESME MUKAVEMETİ
BAĞINTILARININ GÜVENİLİRLİĞİNİN OLASILIKSAL YÖNTEMLERLE
İRDELENMESİ

Ali Osman KACEMER tarafından hazırlanan tez çalışması .0 .2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yapı tasarımında öngörülen olası en elverişsiz yüklerin etkimesi durumunda, yapı tamamen veya kısmen göçmeden ayakta kalabilmeli, işletme yükleri etkisinde yapı elemanlarında aşırı yerdeğiştirme, çatlama ve titreşim oluşmamalıdır. Bu koşulların sağlanması öngörülen yapı güvenliği ile ilgilidir. Olasılık teorisinin gelişiminden sonra yapısal güvenilirlik, olasılıksal yöntemlerle açıklanmaya çalışılmış ve yapı mühendisliğinde, risk ve yapısal güvenlik konuları üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada; enine donatılı betonarme kirişler için önerilmiş kesme mukavemeti bağıntıları ve deneysel sonuçlar arasında performans fonksiyonu oluşturularak, kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği literatürden alınan deneysel kiriş verileri için belirlenmiştir.

Tez çalışmam süresince desteğini, bilgi ve birikimini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Güray ARSLAN' a, tez çalışmamda bana destek olan Sayın Yrd. Doç.Dr. Sema Noyan Alacalı'ya, tez çalışmamda bana yardımcı olan arkadaşım İnş. Yük. Müh. Aydoğan İBİŞ' e, hiçbir zaman emeklerini ödeyemeyeceğim, hayatım boyunca bana destek olan sevgili aileme ve nişanlım Meltem US'a teşekkür ederim.

Haziran, 2012

Ali Osman KACEMER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2.....	5
OLASILIK VE YAPISAL GÜVENİLİRLİK.....	5
2.1 Olasılık	5
2.1.1 Yapısal Güvenilirlik	5
2.1.2 Risk, Riskin Değerlendirilmesi ve Kabul Edilebilirliği	6
2.1.3 Güvenlik Payı	6
2.1.4 Değişkenlerin Dağılımları.....	7
2.2 Dağılımlar.....	7
2.2.1 Normal Dağılım.....	8
2.2.2 Logaritmik Normal Dağılım	11
2.3 Mukavemetin, Yükün ve Diğer Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olması Durumu	12
2.4 Mukavemetin ve Yükün Logaritmik Normal Dağılımlı, Diğer Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olması Durumu	13

2.5	Göçme Olasılığının Tahmin Edilmesine İlişkin Yöntemlerin Sınıflandırılması.....	14
2.5.1	Birinci Düzey veya Yarı Olasılıksal Yöntemler.....	14
2.5.2	İkinci Düzey veya Yaklaşık Olasılıksal Yöntemler.....	14
2.5.3	Üçüncü Düzey veya Tam Olasılıksal Yöntemler.....	15
2.6	Duyarlılık Katsayıları	15
2.7	Performans Fonksiyonunun Değişkenlerinin Tasarım Değerleri.....	16
BÖLÜM 3		17
KESME KUVVETİ, KIRIŞLARIN ÖZELLİKLERİ VE İRDELENECEK BAĞINTILAR		17
3.1	Kesme Kuvveti Etkisi	17
3.2	Kesme (Enine) Donatılı Kirişin Davranışı	19
3.3	Kesme Mukavemeti Bağıntılarının Güvenilirliğinin İrdeleneceği Kirişlerin Özellikleri	20
3.4	İrdelenecek Kesme Mukavemeti Bağıntıları.....	22
BÖLÜM 4		24
KESME KUVVETİ BAĞINTILARININ GÖÇME OLASILIKLARININ VE GÜVENİLİRLİKLERİNİN İRDELENMESİ		24
4.1	Değişkenlerin Standart Sapmaları	25
4.2	Güvenilirlik İndeksleri ve Göçme Olasılıkları	26
4.3	Göçme Olasılıklarının İrdelenmesi.....	27
4.4	Sayısal Örnek	29
4.4.1	Tüm Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olduğu Kabulüne Göre Doğrudan Çözüm	29
4.4.2	Tüm Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olduğu Kabulüne Göre İterasyonlu Çözüm	30
4.4.3	f_c ve v_c Lognormal Dağılımlı, Diğer Değişkenler Normal Dağılımlı Olduğu Kabulüne Göre İterasyonlu Çözüm	33
BÖLÜM 5		37
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		37
KAYNAKLAR		39
EKLER		42
ÖZGEÇMİŞ		59

SİMGE LİSTESİ

R	Kapasite (mukavemet)
S	İstem, yük ya da yük etkisi bileşeni
Z	Güvenlik payı
$g(X)$	Performans fonksiyonu
$f_Z(Z)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
p_F	Göçme olasılığı
F_Z	Olasılık yoğunluk fonksiyonunun altında kalan alan
m_R	Kapasite ortalama değeri
m_S	İstem ortalama değeri
m_Z	Performans denkleminin veya sistemin ortalama değeri
σ_R	Kapasite standart sapması
σ_S	İstem standart sapması
m_Z	Performans denkleminin veya sistemin standart sapması
β	Güvenilirlik indeksi
V_Z	Sistemin performans denkleminin varyasyon katsayısı
Φ	Standart normal dağılım fonksiyonu
λ_R	Kapasite lognormal dağılım ortalama değer parametresi
λ_S	İstem lognormal dağılım ortalama değer parametresi
ξ_R	Kapasite lognormal dağılım standart sapma parametresi
ξ_S	İstem lognormal dağılım standart sapma parametresi
f_R	Kapasitede dönüştürülecek değer
f_S	İstemde dönüştürülecek değer
X	Rastgele değişken
α_i	Duyarlılık katsayısı
x_i	Herhangi bir değişkene ait nominal veya tasarım değeri

V	Kesme kuvveti
a	Kesme açıklığı
d	Kiriş etkili yüksekliği
b_w	Kiriş gövde genişliği
f_c	Beton basınç dayanımı
ρ	Donatı oranı
f_y	Donatı akma dayanımı
v_c	Kesme mukavemetine betonun katkısı
ρ_w	Enine donatı oranı

KISALTMA LİSTESİ

Lognormal	Logaritmik normal
Var	Varyans
ACI	American Concrete Institute (ABD Beton Enstitüsü)
TS	Türk Standardı
EN	European Standart (Avrupa Standardı)
CEB	Comite Euro-International du Beton (Uluslararası Avrupa Beton Komitesi)
FIB	Federation Internationale de la Precontrainte (Uluslararası Öngerilme Federasyonu)
MPa	Mega pascal
mm	milimetre
NZS	Standards New Zealand (Yeni Zelanda Standartları)
Min	Minimum
Mak	Maksimum

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Normal dağılım ve normal dağılım eğrisi (Gündüz [1]).....	8
Şekil 2. 2 $m_1 < m_2$ ve $\sigma_1 = \sigma_2$ olan normal dağılımlar (Gündüz [1])	8
Şekil 2. 3 $m_1 = m_2$ ve $\sigma_1 < \sigma_2$ olan normal dağılımlar (Gündüz [1]).....	9
Şekil 2. 4 $m_1 < m_2$ ve $\sigma_1 < \sigma_2$ olan normal dağılımlar (Gündüz [1])	9
Şekil 2. 5 Standart normal dağılım yoğunluk fonksiyonu (Gündüz [1]).....	10
Şekil 2. 6 Standart normal dağılım	13
Şekil 3. 1 Homojen malzemeli kiriş eksenine dik kesit üzerinde asal gerilme doğrultularının değişimi	18

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Hesap verileri	17
Çizelge 2. 2 2. İterasyon hesapları	19
Çizelge 2. 3 3. İterasyon hesapları	20
Çizelge 2. 4 1. İterasyon hesapları	22
Çizelge 2. 5 Tasarım değerleri	22
Çizelge 2. 6 2. İterasyon hesapları	23
Çizelge 2. 7 3. İterasyon hesapları	24
Çizelge 3. 1 Kirişlerin özellikleri	20
Çizelge 3. 2 İrdelenecek bağıntılar	22
Çizelge 4. 1 Hesaplamalarda kullanılan değişkenlerin standart sapmaları	26
Çizelge 4. 2 Göçme olasılıkları sonuçlarının karşılaştırılması	27
Çizelge 4. 3 Normal çözüm yöntemiyle hesaplanan göçme olasılığı değerlerine göre güvenilirlik sıralaması	28
Çizelge 4. 4 İterasyonlu çözüm yöntemiyle hesaplanan göçme olasılığı değerlerine göre güvenilirlik sıralaması	28
Çizelge 4. 5 İterasyonlu (değişkenlerin kendi dağılımlarına göre) çözüm yöntemiyle hesaplanan göçme olasılığı değerlerine göre güvenilirlik sıralaması	28
Çizelge 4. 6 Genel güvenilirlik sıralaması	29
Çizelge 4. 7 Hesap verileri	29
Çizelge 4. 8 2. İterasyon hesapları	32
Çizelge 4. 9 3. İterasyon hesapları	32
Çizelge 4. 10 1. İterasyon hesapları	34
Çizelge 4. 11 Tasarım değerleri	35
Çizelge 4. 12 2. İterasyon hesapları	35
Çizelge 4. 13 3. İterasyon hesapları	36
Ek Çizelge- A ACI318 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	42
Ek Çizelge- B TS500 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	44
Ek Çizelge- C NZS için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	46
Ek Çizelge- D EN1992:2004 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	48
Ek Çizelge- E EN1992 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	50
Ek Çizelge- F ENV1992 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	52
Ek Çizelge- G Zsutty için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları	54
Ek Çizelge- H Standart normal dağılım olasılık değerleri	56

**LİTERATÜRDE ÖNERİLEN BETONARME KİRİŞ KESME MUKAVEMETİ
BAĞINTILARININ GÜVENİLİRLİĞİNİN OLASILIKSAL YÖNTEMLERLE
İRDELENMESİ**

Ali Osman KACEMER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Güray ARSLAN

Yapısal sistemlerde güvenilirlik, 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. Bu gibi durumlarda, yapısal güvenilirlik; yaklaşık olasılıksal yöntemler olarak nitelendirilebilen ikinci moment yaklaşımları ile tahmin edilebilir.

Bu çalışmada, enine donatılı betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntılarının güvenliliğine ilişkin performans fonksiyonlarının tanımlanmasında, literatürden alınan betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntıları kullanılmıştır. Performans fonksiyonu rastgele değişkenlerinin istatistiksel bağımsız olduğu kabulüne göre, kiriş toplumuna ilişkin kesme kırılması olasılığı ve kesme güvenliliği değerlendirilmiştir. Değerlendirmede, deneysel sonuçları literatürden alınan, geometrik ve malzeme özellikleri değişken kirişler seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, kiriş, kesme mukavemeti, olasılıksal yöntemler, güvenilirlik.

**ASSESSMENT OF RELIABILITY OF EXISTING EQUATIONS PREDICTING THE
SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BY USING
PROBABILISTIC METHODS**

Ali Osman KACEMER

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Güray ARSLAN

The reliability of a structural system can be provided by ensuring that the capacities of the structural system and the members constituting the structural system (R) are adequate for resisting the maximum load effects that can occur in its lifetime. While capacity being larger than demand ($R>S$) corresponds to a reliable system, demand being larger than capacity ($S>R$) means collapse. The objective of reliability analysis is to meet the requirements essential for providing ($R>S$). In those cases, structural reliability can be predicted by second moment approaches that can be approximate probabilistic methods.

In this study, the equations predicting the shear strength of a reinforced concrete beam with stirrups available in the literature are used in defining a performance function related to the reliability of those equations. Assuming that random variables of the performance function are statistically independent, the probability of shear failure and the shear reliability of reinforced concrete beams are assessed. The beams with various geometrical and material properties, whose experimental results are available in the literature, are used in this assessment.

Keywords: Reinforced concrete, beam, shear strength, probabilistic methods, reliability.

1.1 Literatür Özeti

Yapılar; öngörülen ömrü boyunca etkimesi beklenen olası en elverişsiz yük etkilerine karşı tamamen veya kısmen göçmeden ayakta kalabilmeli ve kullanım yükleri altında yapı elemanlarında aşırı yerdeğiştirme, çatlama ve titreşim oluşmamalıdır. Bu koşulların sağlanması öngörülen yapı güvenliği ile ilgilidir. Yapı güvenliğinde temel amaç, mukavemetin en az yük etkisine eşit veya ondan daha büyük olmasının sağlanmasıdır. Yapı güvenliği kavramı, yapı veya yapı elemanlarını etkileyen tesirleri fark eden ve bunu bilimsel çalışmalar, deneysel veriler ve kabul edilen teorik bilgiler doğrultusunda açıklamaya çalışan yapı mühendisleri veya ilgili mühendisler tarafından tesirlerin oluşturacağı risklerin anlamlandırılmasında ve ifade edilmesinde kullanılmıştır.

Olasılık teorisinin gelişiminden sonra yapısal güvenilirlik, olasılıksal yöntemlerle açıklanmaya çalışılmıştır. Yapı mühendisliğinde, risk ve yapısal güvenlik konuları üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları özetlenecek olursa; Freudenthal tarafından yapılan çalışmada, tasarım parametrelerinin istatistiksel değişkenliği göz önünde bulundurularak, minimum güvenlik katsayısı elde edilmeye çalışılmış, kabul edilebilir göçme kriterleri belirlenmiş; göçme ve kalıcılık olasılıklarının tahmin edilmesine ilişkin bir yaklaşım geliştirilmiştir. Pugsley'un çalışmasında, yapısal riskin özellikleri belirtilmiş; çeşitli tehlikelere ilişkin risk istatistikleri verilmiş ve bu bağlamda değerlendirmeler yapılmıştır (Gündüz [1]).

Shinozuka, çalışmasında rastgele yüklemeye ilgili göçme olasılığı, dinamik yüklere karşı güvenlik ve yapısal güvenlik çözümlemesi konularını incelemiştir. Freudenthal, Garrelts ve Shinozuka, göçme olasılığı, güvenlik katsayıları ve güvenilirlik fonksiyonlarına ilişkin bağıntıları türetmişler. Ang ve Amin, yapısal elemanların ve sistemlerin güvenilirliğiyle ilgili bağıntıları türetmişler, yapısal tasarımda kullanılan güvenlik katsayılarını belirlemişlerdir. Lind ise, yapı güvenliği ve maliyeti dengelemek için yapısal tasarım yönetmeliğinde kısmi güvenlik katsayılarının nasıl seçilmesi gerektiğini açıklamıştır (Gündüz [1]).

Farklı nitelikte yüklere özgü dağılımlar için yük kombinasyonları Borges ve Castenheta'nun çalışmalarıyla geliştirilmiştir. Ang tarafından yapılan çalışmada, riskin hesabı için pratik bir yaklaşım önerilmiş; yapıyı etkileyen yüklerin ve yapının dayanımının bileşke varyasyon katsayısının ve göçme riskinin çeşitli değerleri için güvenlik katsayısı tanımlayan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca, "İkinci moment yaklaşımı" ile yapısal göçme riskinin nasıl tahmin edilebileceğini açıklamıştır (Gündüz [1]).

Postacioğlu [2], yapılarda güvenlik ve ekonominin sağlanması konularını malzeme yönünden incelemiştir. Kocataşkın [3], güvenlik katsayılarının tanımlanmasına ilişkin bir yöntem geliştirmiştir. Akman [4], İstanbul'da iki şantiyeden alınan beton numunelere ilişkin deneysel sonuçlarına göre, beton yapılarının dayanımlarını değerlendirmiştir. Keskinel [5] tarafından yapılan çalışmada, yapısal güvenlik kavramı açıklanmış; yüklerin ve malzeme dayanımlarının istatistiksel dağılımları incelenmiş; güvenlik katsayısı düşüncesine dayanan güvenlik anlayışının sakıncaları belirtilmiş; yüklerin ve dayanımların normal dağılımlı olması durumu için göçme olasılığını belirleyen yaklaşım açıklanmıştır.

Gündüz [1] tarafından yapılan çalışmada, güvenilirlik ve limit durum kavramları açıklanmış; yapısal göçme riskinin belirlenmesine ilişkin yöntemler incelenmiştir. Ayrıca, yapısal eleman göçme olasılıklarının tahmin edilmesi için bir yaklaşım önerilmiş; çeşitli yapısal yüklere ve malzeme dayanımlarına ilişkin kısmi güvenlik katsayılarının olasılıksal yaklaşımla tahmin edilmesini sağlayan bağıntılar türetilmiştir; beton dayanımdaki istatistiksel değişkenliğin, betonarme yapısal elemanların göçme riski

üzerindeki etkisini ve varolan yapıların güvenilirliğinin tahmin edilmesiyle ilgili yaklaşımlar irdelenmiştir.

CEB tarafından hazırlanan kabul edilebilir göçme olasılığı çizelgesine göre, yapının göçmesi ile yaşamını yitiren kişi sayısının, bu göçme ile tehlikeye düşebileceklerin ortalama sayısına oranı, bir yıl veya yapı ömrü süresince, 10^{-5} (yüzbinde bir)'i aşmaması istenir. Kabul edilen göçme olasılığının çok küçük olması, yapı ve/veya yapı elemanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonunun gerçeğe daha yakın tahminini gerektirir. Bu da ancak daha fazla örnekleme yapılmasına bağlıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu tahmininde yapılabilecek küçük bir hata büyük sapmalara yol açabilmektedir.

Çakıroğlu ve Özer [6], betonarme yapısal elemanlarda ve sistemlerde göçme yüklerinin bulunması bağlamında bir yöntem geliştirmişlerdir. Vahidi [7] tarafından yapılan tez çalışmasında, yapısal eleman göçme risklerinin tahminiyle ilgili yaklaşımları irdelenmiş ve göçme olasılığının Monte Carlo benzeşimiyle belirlenmesine ilişkin bir yaklaşım önerilmiştir.

Ayrıca son yıllarda, hasar olasılık analizleri üzerindeki çalışmalar da yoğunlaşmıştır. Deprem etkileri altında yapısal hasar oluşma olasılığını ifade eden hasar potansiyeli eğrilerindeki herhangi bir nokta, verilen büyüklükteki deprem şiddetinde yapı üzerinde oluşması muhtemel hasar görülebilirliğini göstermektedir.

Korkmaz ve Aktaş [34] tarafından betonarme çerçeve yapıların sismik davranışlarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda olasılıksal değerlendirmeler de dikkate alınmıştır. Bu bağlamda betonarme çerçeve yapıların olasılıksal sismik davranışını ortaya koymak amacı ile kırılma analizleri ile kırılma eğrileri elde edilmiştir.

İbiş [33] tarafından yapılan tez çalışmasında, enine donatısız betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği irdelenmiştir. Söz konusu çalışmanın devamı niteliğindeki bu çalışmada ise, enine donatılı betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği irdelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Yapılar, taşıyıcı sistemleri üzerlerine etkiyen yükleri taşıırken ve bu yükleri diğer taşıyıcı elemanlara iletirken zorlanmaya maruz kalırlar ve bu zorlanma yapı elemanlarının davranışlarını etkiler. Bu çalışmada olasılıksal yöntemlerle enine donatılı betonarme kirişlerin kesme mukavemetleri ve güvenilirlikleri incelenecektir. Deneysel olarak literatürde hesaplanan betona ait dayanım parametreleri, kiriş boyutları, donatı özellikleri yönetmeliklerdeki formüllerde yerlerine konularak betonarme kirişlerin kesme mukavemet bakımından güvenilirliklerinin olasılıksal yöntemlerle irdelenmesi bu tezin amacını oluşturmaktadır.

1.3 Hipotez

Performans fonksiyonu rastgele değişkenlerine ilişkin istatistiksel bilgiler, genelde değişkenlerin ortalama değeri ve varyanslarıyla sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, rastgele değişkenlere ilişkin yoğunluk fonksiyonu ve ortak olasılık fonksiyonu tam olarak belirlenemediğinden, göçme olasılığı ya da yapısal güvenilirliğin tam olasılıksal yöntemle 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. İkinci moment yaklaşımı ile ACI318 [8]' de, TS500 [9]' da, EN1992:2004 [10]' da, NZS [11]' de, Zsutty [12]' de, EN1992 [13]' te, ENV1992 [14]' te, önerilen kesme mukavemeti bağıntılarının, seçilen kiriş toplumu için sağladıkları güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları hesaplanmıştır.

OLASILIK VE YAPISAL GÜVENİLİRLİK

2.1 Olasılık

Dil bilimi, belirsizliği "imkansızdan kesin'e kadar" ifade etmek için yeterlidir, fakat bazı olayların belirsizliği konusunda yetersiz kalabilmektedir. Burada kullanılan dil "olasılık" olmaktadır.

Diğer yandan, istatistiğin incelediği olaylar gelişigüzel (rasgele, random) olaylar olduğundan deney ya da gözlemlerden elde edilen sonuçlar kesin şekilde değil de ihtimal olarak ifade edilir. Şöyle ki istatistiğin verdiği sonuçların değerlendirilmesi olasılık teorisinin ilkelerine göre yapılır. Genel ve kaba bir ifade ile olasılık teorisi, herhangi bir olayın meydana gelme ihtimalini inceler. Bu ihtimal 0 ile 1 veya yüzde olarak 0 ile 100 arasında değişen bir sayı ile ifade edilir.

2.1.1 Yapısal Güvenilirlik

Yapısal güvenilirlik, bir sistemin taşıyabileceği veya dayanım göstereceği kapasitesi (R) ile sisteme etki eden kesit zorlarının meydana getirmiş olduğu tesire yani isteme (S) göre yapılır. Kapasitenin istemden büyük olması durumu ($R > S$) güvenilirlik veya yapısal güvenilirlik, tersi ise ($R < S$) göçme olayını ifade eder.

Bir riskin gerçekleşmesi için, oluşan koşullar veya durum, "limit durum" ($R - S = 0$); limit duruma ulaşılma olasılığı ise "göçme riski" ya da "göçme olasılığı" olarak adlandırılır.

Göçme, herhangi bir limit durumun gerçekleşmesi olayıdır. Mevcut durumlara göre, risk analiz edilir ve kabul edilir olup olmama durumuna karar verilir.

Yapısal güvenilirliğin amacı ise, $R>S$ olayını gerçekleştirecek koşulların yerine getirilmesini sağlamak veya bunu güvence altına almaktır.

Kısaca yapısal güvenilirlik; bir yapısal sisteme veya yapı elemanına etkiyen yük veya yüklerin vektöryel bileşeni “S” (istem) ve sistemin ya da elemanın mukavemetini oluşturan öğelerin vektöryel bileşkesi “R” (kapasite) ile gösterildiğinde; sistemin ya da elemanın kullanım ömrü ya da belirlenen ömrü boyunca ($R>S$) olayının gerçekleşeceğinin güvence altına alınması olarak tanımlanabilir (Gündüz [1]).

2.1.2 Risk, Riskin Değerlendirilmesi ve Kabul Edilebilirliği

Her eylemin sonucu, gelecekle ilgilidir ki bu nedenle de ortaya çıkacak risk ya da tehlike bilinemez ve sadece tahmin edilebilir. Bu yüzden risk ya da tehlikenin; bahsedilen belirsizliğin doğal bir ürünü olması ve tüm insani faaliyetlerin veya eylemlerin, planlamaların, tasarımların içinde gizli bir şekilde var olmasından dolayı, tamamen göreceli olduğu da söylenebilir. Olabilir yani gerçekleşmesi mümkün olan eylemlerden birinin seçilmesi ya da gerçekleştirilmesine karar verilmesi, o eylemle ilgili olan ve var olan riskin gözönüne alınması anlamına gelir.

2.1.3 Güvenlik Payı

Mukavemet ile yük, yani kapasite ile istem problemi arasındaki fark, güvenlik payı ile ifade edilebilir.

$$Z=R-S \quad (2.1)$$

Güvenlik payında (Z), R ve S’nin rastgele değişken olduğu düşünülürse, $Z=g(x)=R-S$ veya $f(z)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunun, güvenlik payının fonksiyonu olduğunu söyleyebiliriz. Göçme durumu ise, $Z<0$ olayının gerçekleşme halidir. Buradan hareketle göçme olasılığı (2.2) bağıntısıyla tanımlanabilir.

$$p_F = \int_{-\infty}^0 f_Z(z)dz = F_Z(0) \quad (2.2)$$

(2.2) bağıntısından da görülebileceği gibi göçme olasılığı, olasılık yoğunluk fonksiyonunun göçme bölgesi ile sınırlı noktalara göre integre edilmesi ile bulunabilir.

2.1.4 Değişkenlerin Dağılımları

Olasılık hesaplarında birçok istatistiksel hesap yöntemi kullanılır. Bu hesap yöntemleri doğrudan (tüm değişkenler normal dağılımlı) ve iterasyonlu (tüm değişkenler normal dağılımlı ve tüm değişkenler kendine özgü dağılımlı) yaklaşımlardır. Her bir değişken rastgele değişken olarak seçildiğinden ve bu değişkenlerin birbirinden tamamen bağımsız, yani korelasyonsuz olup olmaması durumlarına göre hesaplar gerçekleştirilir. Genellikle, yapılan hesaplarda değişkenlerin kendine özgü nitelikteki dağılımlara göre incelenmesi tercih edilir. Herbir değişkenin kendine özgü dağılımı ile göz önüne alınması, sonuçların daha duyarlı olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, beton basınç dayanımı, enine donatı akma dayanımı ve kiriş kesme mukavemetinin logaritmik normal dağılıma ve diğer değişkenlerin normal dağılıma sahip olduğu varsayılarak, kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirlikleri irdelenmiştir.

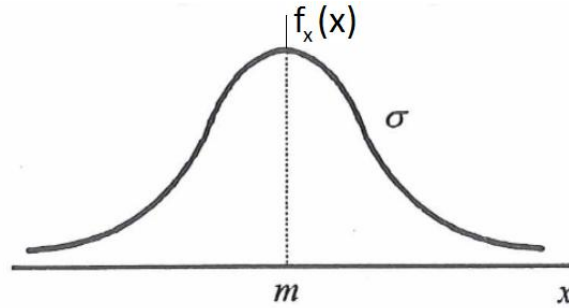
2.2 Dağılımlar

Rastgele değişkenlerin sahip oldukları birçok dağılım sözkonusudur. Bunlardan bazıları; standart normal dağılım, logaritmik (lognormal) normal dağılım, binom dağılımı, negatif binom dağılımı, geometrik dağılım, poisson dağılımı, üssel dağılım, gamma dağılımı, Khi-kare dağılımı, hipergeometrik dağılım, F dağılımı, üniform dağılım, beta dağılımı, tip I asimtotik dağılım sayılabilir.

Bu çalışmada beton basınç dayanımı, enine donatı akma dayanımı ve kiriş kesme mukavemetinin logaritmik normal dağılıma ve diğer değişkenlerin normal dağılıma sahip olduğu kabul edildiğinden, yalnızca standart normal dağılım ve logaritmik normal dağılım hakkında kısa bilgi verilecektir.

2.2.1 Normal Dağılım

İstatistiğin tüm alanlarında rastlanan, geniş ölçüde kullanılan en önemli sürekli olasılık dağılımı, normal dağılımdır. İnşaat mühendisliği alanında; örnekte malzeme dayanımları, zamanla-değişmeyen yükler ve yapısal eleman boyutları için teorik model kabul edilebilir. Dağılımın “Normal eğri” terimiyle adlandırılan grafiği, Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi “çan” biçimindedir. Eğrinin matematiksel ifadesini 1733’ te Moivre geliştirmiş; ve bu bağıntı istatistik teorisi temelini oluşturmasını büyük ölçüde sağlamıştır. Daha sonra, aynı büyüklüğün tekrarlanan ölçmelerinde, ortaya çıkan hataları inceleyen Gauss, söz konusu bağıntıyı ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, kimi zaman normal dağılım ya da Gauss dağılımı adıyla anılmaktadır. (Gündüz [1])

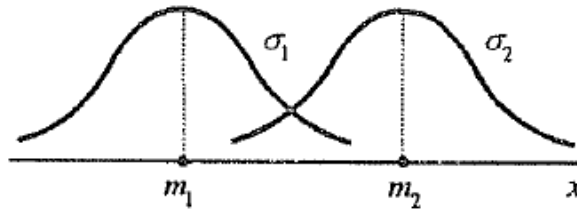


Şekil 2. 1 Normal dağılım ve normal dağılım eğrisi (Gündüz [1])

Şekil 2.1’ de gösterilen ve dağılımı standart normal dağılımdaki gibi olan her bir rastgele X değişkeni, normal rastgele değişken olarak tanımlanmaktadır. Normal değişken iki parametre ile tanımlanır: Ortalama değeri “ m ” ve standart sapması “ σ ”. Buradan hareketle rastgele X değişkenine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu; kısaca, $N(m, \sigma)$ şeklinde gösterilir. Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu (2.3)’ te tanımlanmıştır.

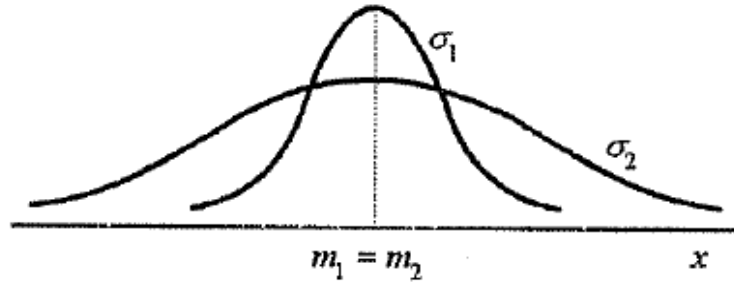
$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.3)$$

Şekil 2.2’ de standart sapmaları aynı, fakat ortalama değerleri farklı olan iki normal dağılımlı olasılık yoğunluk fonksiyonunun eğrisi gösterilmiştir.



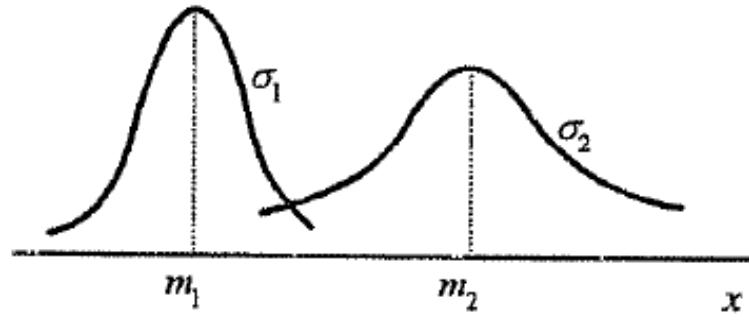
Şekil 2. 2 $m_1 < m_2$ ve $\sigma_1 = \sigma_2$ olan normal dağılımlar (Gündüz [1])

Şekil 2.3' te ortalama değerleri aynı, fakat standart sapmaları birbirinden farklı iki normal dağılımlı olasılık yoğunluk fonksiyonunun eğrisi gösterilmiştir. Burada eğrilerin merkezleri (absisleri) çakışır, fakat standart sapması büyük olan daha basık özellik gösterir.



Şekil 2. 3 $m_1 = m_2$ ve $\sigma_1 < \sigma_2$ olan normal dağılımlar (Gündüz [1])

Ortalama değeri ve standart sapması birbirinden farklı olan iki normal dağılımlı olasılık yoğunluk fonksiyonunun eğrileri Şekil 2.4' te gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi eğriler birbirinden farklı özellik gösterir.



Şekil 2. 4 $m_1 < m_2$ ve $\sigma_1 < \sigma_2$ olan normal dağılımlar (Gündüz [1])

Normal dağılımın özellikleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

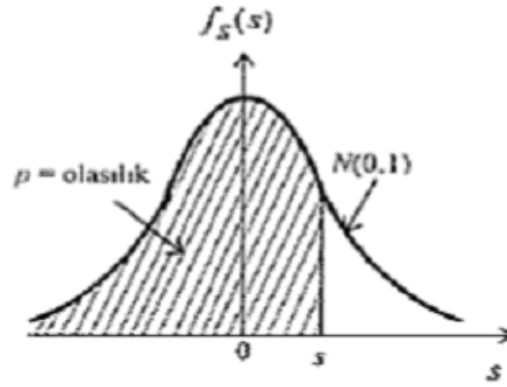
- 1- Eğrinin maksimumdan geçtiği absis değeri, ortalama değere eşittir.
- 2- Eğri, ortalama değerine kaşılık gelen ve ordinatının çizdiği eksene göre simetrik özellik gösterir.
- 3- Eğrinin dönüm noktalarının absisleri $x = m \pm \sigma$ olur. $m - \sigma < x < m + \sigma$ ise, eğri aşağıya doğru iç bükey (konkav), aksi halde yukarıya doğru içbükeydir(Gündüz [1]).
- 4- Normal eğri absis üzerinde $-\infty$ ve $+\infty$ 'a doğru yatay asimptotik bir yakınsaklık sağlar.
- 5- Normal eğri ile absis ekseni arasındaki alanın değeri 1'e eşittir.

Standart Normal Dağılım

Ortalama değeri sıfır ve standart sapması 1' e eşit olan, y ekseninin iki eşit parçaya böldüğü eğriye, standart normal dağılım eğrisi; bu eğriye benzer özellik ve dağılım gösteren dağılıma da standart normal dağılım denir. Bu dağılım aynı zamanda $N(0,1)$ olarak gösterilir. Standart normal dağılımı ifade eden olasılık yoğunluk fonksiyonu (2.4)'de tanımlanmıştır(Gündüz [1]).

$$f_s(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{s^2}{2}} \quad -\infty < s < \infty \quad (2.4)$$

Standart normal dağılıma ait yoğunluk fonksiyonu Şekil 2.5' te gösterilmiştir.



Şekil 2. 5 Standart normal dağılım yoğunluk fonksiyonu (Gündüz [1])

2.2.2 Logaritmik Normal Dağılım

Herhangi bir X değişkenine ait $\ln X$ değerinin dağılımı normal dağılım ise X ' in dağılımı, logaritmik normal dağılım olarak adlandırılır. Logaritmik normal dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu (2.5)' te tanımlanmıştır.

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\xi x}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\xi} \right)^2 \right] \quad 0 \leq x \leq \infty \quad (2.5)$$

Görüldüğü gibi olasılık yoğunluk fonksiyonunun tanımlanmasında, λ ve ξ gibi iki parametre bulunmaktadır. Bu parametreler, sırasıyla $\ln X$ logaritmik normal dağılımının ortalama değerini ve standart sapmasının belirlenmesinde kullanılır.

Uygulamada karşılaşılan –pozitif değerler alması kesin- malzeme dayanımları, metallerin yorulma ömrü, tasarımların tamamlanma süreleri, yağmur şiddetleri ve hava trafiği hacmi gibi pek çok sayıda rastgele değişken için lognormal dağılım model alınabilir (Gündüz [1]).

Logaritmik normal dağılımın, normal dağılımdan farkı; kullanılan iki parametre ile ortalama değeri ve standart sapmasının, normal dağılıma karşılık gelen değerlerine dönüştürülmesidir. Daha önce bahsedildiği gibi logaritmik normal dağılım daima pozitif değerler alır.

Hesaplanan ortalama değer ve standart sapmalar yardımıyla güvenilirlik indeksi ile olasılıklar hesaplanır. Standart normal dağılıma göre hesaplanan olasılık değerleri

Gündüz [1]'den alınarak betonarme kirişlerin göçme olasılıkları belirlenmiştir. Bu tabloda üç farklı yöntemlerle hesaplanan β değerleri tablodaki s sütunundan okunarak göçme olasılıkları ($1-P_S = P_F$) bulunarak kiriş hesapları için yapılan tablolara işlenir.

2.3 Mukavemetin, Yükün ve Diğer Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olması Durumu

(2.1) bağıntısında ifade edilen güvenlik payında, kapasiteyi (R) belirleyen değişkenler ile istemi (S) belirleyen değişkenlerin dağılımları normal olduğunda, performans denkleminin dağılımı da normal dağılımlı olacaktır. Başka bir ifade ile, $N(m_R, \sigma_R)$ ve $N(m_S, \sigma_S)$ normal dağılımlı olduğunda, (2.1) 'den anlaşıldığı gibi $Z=R-S$ performans denkleminin dağılımı da normal dağılımlı $N(m_Z, \sigma_Z)$ olur. Bu suretle normal dağılıma sahip olduğu kabul edilen değişkenlere göre yapılan hesaplarda, $(Z-m_Z)/\sigma_Z$ dağılımı $N(0,1)$ olur. Dolayısıyla Z' nin ortalama değeri (2.4) bağıntısı ile belirlenebilir.

$$m_Z = m_R - m_S \quad (2.4)$$

R ve S değişkenlerinin değeri, performans denkleminde yerine yazılarak, performans bağıntısı Z' nin ortalama değeri m_Z elde edilir. Performans denkleminin standart sapması da (2.5) bağıntısı ile bulunur.

$$\sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (2.5)$$

Bağıntıda kapasitenin (R) ve istemin (S) standart sapmalarının karelerinin toplamının karekökü alınarak, sapmalar birleştirilmiş olur ve böylece Z' nin standart sapması elde edilir.

(2.4) ve (2.5) bağıntıları ile belirlenen ortalama değer ve standart sapma değerleri oranlanarak β ile ifade edilen güvenilirlik indeksi elde edilir.

$$\beta = \frac{m_Z}{\sigma_Z} \quad (2.6)$$

(2.6) ile ifade edilen güvenilirlik indeksi, (2.7)' de görüldüğü gibi varyasyon katsayısının evriğidir.

$$V_Z = \frac{\sigma_Z}{m_Z} \quad (2.7)$$

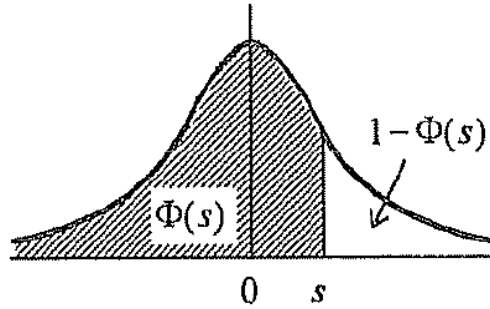
Bilindiği gibi göçme olasılığı, $R-S < 0$ olma koşulu veya başka bir ifade ile istemin, kapasiteden büyük olması durumu açıklanabilir.

$$p_F = F_Z(0) = \Phi(-m_Z / \sigma_Z) = 1 - \Phi(m_Z / \sigma_Z) \quad (2.8)$$

Ayrıca, (2.8) bağıntısı göçmeyi tanımlarken, (2.9) bağıntısı güvenilirliği diğer anlatımla başarıyı ifade etmektedir.

$$p_S = 1 - p_F = \Phi(m_Z / \sigma_Z) \quad (2.9)$$

(2.8) ve (2.9)' da gösterilen göçme ve güvenilirlik olasılıkları Şekil 2.6 kullanılarak bulunur.



Şekil 2.6 Standart normal dağılım (Gündüz [1])

2.4 Mukavemetin ve Yükün Logaritmik Normal Dağılımlı, Diğer Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olması Durumu

Lognormal dağılımlı R ve S değişkenlerine ilişkin ortalama değer (λ_R) ve standart sapma (ξ_R) parametreleri (2.10) ve (2.11) bağıntıları ile hesaplanır.

$$\lambda_R = \ln m_R - \frac{\xi_R^2}{2}; \lambda_S = \ln m_S - \frac{\xi_S^2}{2} \quad (2.10)$$

$$\xi_R^2 = \ln(1 + \sigma_R^2 / m_R^2); \xi_S^2 = \ln(1 + \sigma_S^2 / m_S^2) \quad (2.11)$$

Parametreleri hesaplanan lognormal dağılımlı değişkenler eşdeğer normal dağılıma dönüştürülür. Eşdeğer normal dağılıma ilişkin standart sapma ve ortalama değerler (2.12) ve (2.13) bağıntıları ile bulunur.

$$\sigma_R^N = \xi_R f_R^*; \sigma_S^N = \xi_S f_S^* \quad (2.12)$$

$$m_R^N = f_R^* (1 - \ln f_R^* + \lambda_R); m_S^N = f_S^* (1 - \ln f_S^* + \lambda_S) \quad (2.13)$$

Görüldüğü gibi; hesaplarda, logaritmik dağılıma sahip olan tüm değişkenler, eşdeğer normal dağılım olarak ele alınır. Hesaplar normal dağılıma göre yapıldığından ve değişkenler kendilerine özgü dağılımları ile ele alındığından, riskin hesaplanmasında elde edilen sonuçların gerçeğe yakınlığı kullanılan yöntemlere göre değişir.

2.5 Göçme Olasılığının Tahmin Edilmesine İlişkin Yöntemlerin Sınıflandırılması

- 1- Birinci düzey veya yarı olasılıksal yöntemler.
- 2- İkinci düzey veya yaklaşık olasılıksal yöntemler.
- 3- Üçüncü düzey veya tam olasılıksal yöntemler.

2.5.1 Birinci Düzey veya Yarı Olasılıksal Yöntemler

Yapısal güvenilirliğin, yüklere ve azaltılmış mukavemetlere göre yapıldığı ve kısmi güvenlik katsayılarının bulunmasına yönelik işlemleri veya algoritmaları içeren yöntemlerdir. Tasarımda göçme riski hesaplanmaz.

Riskin, kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesinde kabul edilen düzeyde olduğu varsayılır. Bu yaklaşıma kısmi güvenlik katsayısı yaklaşımı da denir (Gündüz [1]).

2.5.2 İkinci Düzey veya Yaklaşık Olasılıksal Yöntemler

Bu yöntem, X_i değişkenlerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarının ve bu değişkenlerin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun tam olarak belirlenemediği durumlarda kullanılır. Olasılık yoğunluk fonksiyonları tam olarak belirlenemediğinden, tam olasılıksal

yöntemlerle, p_F ve p_S olasılıklarını belirlemek mümkün olmamaktadır. Bu durumlarda, ikinci düzey veya yaklaşık olasılıksal yöntemler kullanılmaktadır.

2.5.3 Üçüncü Düzey veya Tam Olasılıksal Yöntemler

Göçme olasılığını tanımlamada kullanılan ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun integralinin alınması ile sonuca gidilen ve kesin çözümü içeren yöntemlerdir. Sonuca ulaşmak için integrallerin alınması gerektiğinden ve bazı integrallerin alınmasının zorluğu düşünülürse, performans fonksiyonu gerçeğe ne kadar yakın tanımlanırsa kesin sonuca o ölçüde yaklaşılr.

Görüldüğü gibi ikinci düzey yaklaşımlar veya yaklaşık olasılıksal yöntemlerin kullanılması, yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, yöntem seçimi aşamasında tercih nedenidir. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel yöntemler, ikinci düzey yaklaşım kategorisine girmektedir.

2.6 Duyarlılık Katsayıları

Z güvenlik payı değişkeninin varyansı (2.14)' te gösterildiği gibi $Var(Z)$ ile tanımlanabilir.

$$\sigma_Z^2 = Var(Z) = \sum_{i=1}^n (\partial g / \partial X_i)^2 Var(X_i) \quad (2.14)$$

Performans denkleminde bulunan her bir rastgele değişken, bu fonksiyonun varyansına katkıda bulunur. Bu katkıda Z performans denkleminin varyansı, Z performans denklemini oluşturan her bir değişkenin duyarlanma derecesi $(\partial g / \partial X_i)^2$ ve varyansı ile doğrudan ilgilidir. Bu derecelenmede her bir değişkene, kendi oranları dahilinde paylaştırılır ve paylaştırma sırasında elde edilen veya atanan her bir sayıda, duyarlanma katsayısı ya da duyarlılık katsayısı olarak isimlendirilir ve " α_i " olarak gösterilir.

Duyarlılık katsayısı doğrudan çözümde (2.15) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\alpha_i = \left[\frac{(\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 Var(X_i)}{Var(Z)} \right]^{1/2} = \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \frac{\sigma_i}{\sigma_Z} \quad (2.15)$$

(2.16) bağıntısı ise, iteratif işlemlerde kullanılır.

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)_*}{\left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)_*^2\right]^{1/2}} \quad (2.16)$$

(2.15) ve (2.16) bağıntılarında görüldüğü gibi duyarlılık katsayıları, performans denklemindeki her bir değişkene göre türev alınarak hesaplanır.

2.7 Performans Fonksiyonunun Değişkenlerinin Tasarım Değerleri

Duyarlılık katsayısı α_i , standart sapması σ_i ve ortalama değeri m_i olan rastgele bir X_i değişkeni göz önüne alındığında, performans fonksiyonunun değişkenlerinin sahip olduğu nominal ya da tasarım değerleri (2.17) bağıntısı ile bulunabilir.

$$x_{id} = m_i - \alpha_i \beta \sigma_i \quad (2.17)$$

(2.17) bağıntısından görüldüğü gibi X rastgele değişkeninin tasarım değeri; değişkenin α_i duyarlılık katsayısı, β güvenilirlik indeksi, σ_i standart sapması ve m_i ortalama değerine bağlı olarak bulunur.

KESME KUVVETİ, KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ VE İRDELENECEK BAĞINTILAR

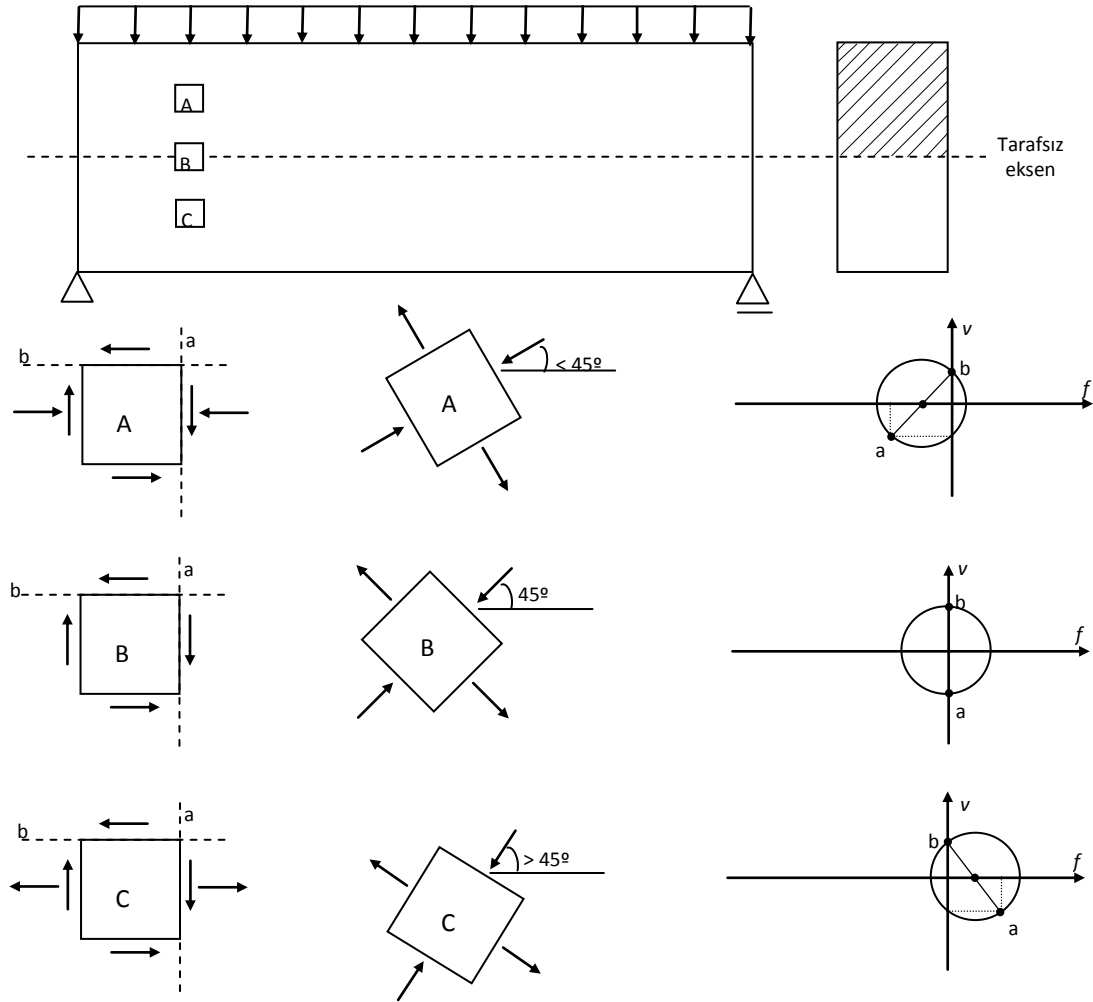
3.1 Kesme Kuvveti Etkisi

Betonarme elemanlarda güç tükenmesinin kesme ile oluşması istenmez. Gevrek olan kesme kırılması; kirişlerde, kolonlarda, perdelerde, döşemelerde ve diğer yapı elemanlarında ortaya çıkabilir. Genel olarak kesme kuvveti aktarımı, her yapı elemanı için benzer şekilde olsa da, göçme ve çatlama durumları her yapı elemanı için değişik özellikler gösterir. Kiriş elemanında kırılma biçimini belirleyen en önemli parametre, kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) veya moment değerinin, hesap kesme kuvveti ile etkili yüksekliğinin çarpımına oranı $M_u/(V_u \cdot d)$ dır (ASCE-ACI 426 [19]).

$M/(V_u \cdot d)=2\sim6$ olan, betonarme ve öngerilmeli beton kirişlerde kayma ve eğilme gerilmelerine bağlı olarak eğik çatlaklar oluşur. Bu eğik çatlaklar yaklaşık olarak yatayla $30^\circ\sim60^\circ$ açı oluşturmaktadır. Kirişlerde kesme kırılmasının çok farklı türleri ortaya çıkabilir. Bunlardan en sık karşılaşılan kırılma türü eğik çatlağın üzerinde basınç kenarının kayması ya da ezilmesi ile oluşan ve çekme donatısı boyunca ayrılmaların meydana gelmesi ile beliren göçme biçimidir (ASCE-ACI 426 [19]).

Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisindeki bir elemanda iki eksenli gerilme durumu ortaya çıkar. Yeterli enine donatısız betonarme bir kiriş, artan yük altında eğilme mukavemetine ulaşmadan, mesnetlere yakın bölgelerde oluşan, yatayla yaklaşık 45° eğimli çatlaklarla güç tükenmesi durumuna gelebilir (Arslan [20]). Eğik çatlak oluşumunun nedeni, eğik çekme gerilmeleridir. Şekil 3.1' de mesnede yakın düşey bir

kesit üzerinde alınan üç noktada sonsuz küçük elemanlar üzerinde gerilme durumu işaret edilmiştir. A noktasındaki eksene dik düzlemde kayma gerilmesi ile basınç gerilmesi, B noktasındaki eksene dik düzlemde sadece kayma gerilmeleri ve C noktasındaki eksene dik düzlemde ise kayma gerilmesi ile çekme gerilmesi meydana gelir (Celep ve Kumbasar [21]).



Şekil 3.1 Homojen malzemeli kiriş eksenine dik kesit üzerinde asal gerilme doğrultularının değişimi

Asal basınç ve çekme gerilmelerinin değerleri Mohr çemberi yardımıyla (3.1)'de gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$f_{1,2} = \frac{1}{2}(f \mp \sqrt{f^2 + 4v^2}) \quad (3.1)$$

Birbirini dik kesen bu gerilmelerden çekme gerilmelerinin kiriş eksenine ile yaptığı ϕ açısı (3.2) bağıntısından bulunabilir.

$$\tan 2\phi = 2v/f \quad (3.2)$$

Tarafsız eksenin üzerindeki (B) elemanında $\sigma=0$, $\tau \neq 0$ dır.

$$f_1=f_2=v \rightarrow \tan 2\phi = \infty \rightarrow 2\phi=90^\circ \rightarrow \phi=45^\circ$$

Çekme bölgesindeki (C) elemanında (3.3)' de olduğu gibidir.

$$f_{1,2} = \frac{1}{2}(f \mp \sqrt{f^2 + 4v^2}) \rightarrow f_1 < f_2 \rightarrow 45^\circ < \phi < 90^\circ \quad (3.3)$$

Basınç bölgesindeki (A) elemanında ise (3.4)' te olduğu gibidir.

$$f_{1,2} = \frac{1}{2}(f \mp \sqrt{f^2 + 4v^2}) \rightarrow f_1 > f_2 \rightarrow \phi < 45^\circ \quad (3.4)$$

3.2 Kesme (Enine) Donatılı Kirişin Davranışı

Uygulamadaki kirişlerin bir çoğunda kesme kuvveti betonun karşılayacağı kesme kuvvetinden büyüktür. Bu durumda en uygun yol, kesme kuvvetinden oluşan eğik çekme gerilmelerinin bir bölümünün enine donatı ile karşılanmasıdır. İdeal kesme donatısı eğik çekme gerilmeleri yörüngesine yerleştirilen donatı olarak görülürse de, bu pratik değildir. Ayrıca bu yörüngeler tersinir yükleme durumunda değişir. En çok rastlanan kesme donatısı boyuna donatıya dik olarak yerleştirilen enine donatılar (etriye) dir. Bunlar kiriş eksenine dik olmayıp farklı bir eğimle de yerleştirilebilirler. Ancak, bu durum uygulanması zor olduğu için çok ender durumlarda söz konusu olur (Celep [22]).

Sürekli kirişlerde kiriş açıklığında gerekmeyen boyuna donatıların kıvrılarak, kiriş üst tarafında ve mesnet kesitinde kullanılması (pilye yapılması) ekonomi yönünden bazı durumlarda tercih edilir. Bu donatılardan kıvrım bölgesinde de kesme donatısı olarak faydalanabilir. Pilye olarak isimlendirilen eğik donatılar etriyelere göre asal çekme gerilmeleri yörüngesinde bulunacağından daha etkili oldukları görülebilirse de, kiriş ekseninde yayılı olarak bulunan asal çekme gerilmelerinin genellikle sayıları az olan pilyelerle karşılanması durumunda, yayılı etkinin belirli noktalarda toplanarak alınması

ek bazı gerilmelerin çıkmasına sebep olur. Ayrıca kesme kuvvetinin yön değiştirmesi durumunda pilyelerin kesme kuvvetinin karşılanmasında etkileri kaybolur. Bu sebepten günümüzde açıklıktaki eğilme donatısının kıvrılarak (pilye yapılarak) mesnette çekme donatısı olarak kullanılması yaygınsa da, bunun kesme donatısı olarak kullanılmasına TS 500 'de izin verilmemektedir (Celep [22]).

3.3 Kesme Mukavemeti Bağıntılarının Güvenilirliğinin İrdeleneceği Kirişlerin Özellikleri

Kesme mukavemeti güvenilirliğinin, olasılıksal yöntemlerle irdeleneceği, Bresler ve Scordelis [15], Krefeld ve Thurston [16], Placas ve Regan [17], Mattock ve Wang [18], Leonhardt ve Walther [23], Swamy ve Andriopoulos [24], Mphonde ve Frantz [25] ve Adebar Collins [26] tarafından yapılmış çalışmalardan alınan kirişlerinin özellikleri Çizelge 3.1' de gösterilmiştir. Söz konusu deneysel çalışması yapılan kirişler normal dayanımlı betondan (beton mukavemeti 50 MPa'dan düşük) üretilmiştir. Tüm kirişlerde kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 2.5' ten büyük alınmıştır.

Çizelge 3. 1 Kirişlerin özellikleri

Kaynak	Kiriş Adı	f_c (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	a/d	d (mm)	v_u (MPa)
[15]	A-1	24.06	0.1	325	1.8	3.92	466.1	1.63
[15]	A-2	24.27	0.1	325	2.28	4.93	464.1	1.73
[15]	B-1	24.75	0.15	325	2.43	3.95	461	2.09
[15]	B-2	23.17	0.15	325	2.43	4.91	465.6	1.88
[15]	C-1	29.58	0.2	325	1.8	3.95	463.6	2.17
[15]	C-2	23.79	0.2	325	3.66	4.93	464.3	2.29
[15]	CRB-1	23.65	0.15	340	2.28	4.01	456.9	1.65
[15]	1WCRA-1	26.34	0.1	350	1.71	4.01	456.7	1.54
[15]	1WCRB-1	23.17	0.15	340	2.26	3.99	459	1.94
[15]	1WCRC-1	26.75	0.2	350	1.69	3.98	459.5	2.05
[15]	1WCA-1	25.17	0.1	350	1.76	3.95	462.5	1.56
[15]	1WCB-1	26.48	0.15	340	2.34	3.97	459.7	1.90
[15]	1WCC-1	24.89	0.2	350	1.75	3.97	460	2.00
[15]	2WCA-1	26.34	0.1	350	1.77	3.96	460.8	1.72
[16]	29a-2	37.16	0.12	372	2.23	4.01	455.7	1.87
[16]	29f-2	41.78	0.12	372	2.23	4.01	455.7	2.03
[17]	R8	26.68	0.21	270	1.46	3.36	272	1.92

[17]	R9	29.58	0.41	280	1.46	3.36	272	2.52
[17]	R10	29.61	0.21	270	0.98	3.36	272	1.82
[17]	R11	26.2	0.21	270	1.95	3.36	272	2.16
[17]	R12	33.92	0.21	270	4.16	3.6	254	2.83
[17]	R13	32.27	0.41	280	4.16	3.6	254	3.86
[17]	R14	29.03	0.14	270	1.46	3.36	272	2.16
[17]	R15	29.86	0.41	280	4.16	3.6	254	3.61
[17]	R16	31.58	0.41	280	4.16	3.6	254	3.61
[17]	R17	12.76	0.21	270	1.46	3.36	272	1.69
[17]	R18	31.3	0.21	270	1.46	3.36	272	2.04
[17]	R19	30.27	0.41	280	1.46	3.36	272	2.89
[17]	R20	42.46	0.21	270	1.46	3.36	272	2.17
[17]	R21	48.13	0.42	280	4.16	3.6	254	3.86
[17]	R22	29.51	0.21	270	1.46	4.5	272	1.82
[17]	R24	30.89	0.21	270	4.16	5.05	254	2.38
[17]	R25	30.82	0.21	270	4.16	3.6	254	2.70
[17]	R27	13.65	0.41	280	4.16	3.6	254	2.45
[17]	R28	31.58	0.83	270	4.16	3.6	254	4.63
[18]	C305-D0	25.99	0.23	354	2.61	3	315	2.28
[23]	E2I	30.4	0.41	370	2.47	2.78	270	3.32
[23]	E3I	28.2	0.42	388	2.47	2.78	270	3.63
[23]	E4I	30.4	0.59	261	2.47	2.78	270	3.65
[23]	E5I	30.4	0.58	278	2.47	2.78	270	3.68
[24]	C3	29.4	0.16	275	1.97	3	95	2.16
[24]	R3	29.4	0.38	208	1.97	3	95	2.51
[24]	J3	29.4	0.43	253	1.97	3	95	2.84
[24]	C4	28.7	0.06	283	1.97	4	95	1.88
[24]	O3	28.3	0.12	258	3.95	3	95	3.52
[24]	Z3	25.9	0.34	179	3.95	3	95	3.85
[24]	Y3	25.9	0.6	222	3.95	3	95	4.00
[24]	O4	28.3	0.12	258	3.95	4	95	2.77
[24]	Z4	25.9	0.34	179	3.95	4	95	3.55
[24]	O5	28.3	0.12	258	3.95	5	95	2.62
[25]	B50-3-3	22.1	0.12	292	3.36	3.6	298	1.68
[25]	B50-7-3	39.9	0.12	292	3.36	3.6	298	2.07
[25]	B100-3-3	27.9	0.26	269	3.36	3.6	298	2.11
[25]	B150-3-3	28.7	0.38	271	3.36	3.6	298	3.05
[25]	B100-7-3	47.1	0.26	269	3.36	3.6	298	2.66
[25]	B150-7-3	46.6	0.38	271	3.36	3.6	298	2.95
[26]	ST6	49.3	0.28	430	1.95	2.88	278	2.85
[26]	ST18	49.8	0.21	430	1.95	2.88	278	3.05

Çizelgede, f_c beton basınç dayanımı (MPa), d kiriş etkili yüksekliği (mm), a/d kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğe oranı, ρ çekme donatısı oranı, ρ_w enine donatı oranı, f_{yw} enine donatı akma mukavemeti (MPa), v_u kiriş kesme mukavemeti (MPa) olarak tanımlanmıştır.

3.4 İrdelenecek Kesme Mukavemeti Bağlıları

Bresler ve Scordelis [15], Krefeld ve Thurston [16], Placas ve Regan [17], Mattock ve Wang [18], Leonhardt ve Walther [23], Swamy ve Andriopoulos [24], Mphonde ve Frantz [25] ve Adebar Collins [26] tarafından yapılan çalışmalar kullanılarak, enine donatılı betonarme kirişlerin kesme mukavemeti bağlantılarının tahmininin güvenilirliği, olasılıksal yöntemlerle irdelenmiştir. Söz konusu bağlantılar, Amerikan Yönetmeliği, “ACI318 [8]”, Türk Standartları Enstitüsü’ nün yayınladığı Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, “TS500 [9]”, Avrupa Beton Komitesi tarafından kabul edilen “EN 1992-1-1:2004 [10]”, ENV1992 [14] ve EN1992 [13]’ de, Yeni Zelanda Yönetmeliği “NZS [11]” yönetmelikleri ve Zsutty [12] tarafından önerilmiştir. Çizelge 3.2’de irdelenecek bağlantılar özetlenmiştir. Bağlantılarda; v_c enine donatısız kiriş kesme mukavemeti; f_c betonun silindir basınç dayanımı (MPa) ve d kiriş etkili yüksekliği (m) dir.

Çizelge 3. 2 İrdelenecek bağlantılar

Kaynak	Bağlılar (MPa)	Şartlar
ACI 318	Enine donatısız kirişlerde $v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c}$ Enine donatılı kirişlerde $v_n = (v_c + \rho_w f_{yw})$	$(a/d) \geq 2.5$ $f_c < 70 \text{ MPa}$ f_c MPa boyutundadır.

TS 500	Enine donatısız kirişlerde $v_c = (0.65 f_{ct})$ Enine donatılı kirişlerde $v_n = (v_c + \rho_w f_{yw}) \leq 0.22 f_c$	$0.8 \frac{f_{ct}}{f_y} \leq \rho \leq 0.02$ $f_{ct} = 0.35 \sqrt{f_c} ; f_c \text{ ve } \rho_w f_{yw} \text{ MPa boyutundadır.}$
NZS	Enine donatısız kirişlerde $v_c = (0.07 + 10\rho) \sqrt{f_c} ; f_c \text{ in MPa}$ Enine donatılı kirişlerde $v_n = (v_c + \rho_w f_{yw})$	$a/d \geq 2$ $0.08 \sqrt{f_c} \leq (0.07 + 10\rho) \sqrt{f_c} \leq 0.2 \sqrt{f_c}$ $f_c \text{ ve } \rho_w f_{yw} \text{ MPa boyutundadır.}$
EN 1992:2004	Enine donatısız kirişlerde $v_{rd,c} = 0.12k(100\rho f_c)^{1/3} \geq 0.035k^{3/2} \sqrt{f_c}$ Enine donatılı kirişlerde $(v_{rd,c} = 0)$ $v_{rd,s} = 0.9\rho_w f_{yw} \cot \theta$ $v_{rd,max} = 0.9v_{cd} (\cot \theta / (1 + \cot^2 \theta))$	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$ $\rho \leq 0.02, 1 \leq \cot \theta \leq 2.5$ $v = 0.6 \quad f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$ $v = 0.9 - \frac{f_{ck}}{200} > 0.5 \quad f_{ck} \geq 60 \text{ MPa}$
EN 1992	Enine donatısız kirişlerde $v_{uc} = \min(v_{Rd1}, v_{Rd2})$ Enine donatılı kirişlerde $v_n = \min(v_{Rd2}, v_{Rd1} + 0.90\rho_w f_{yw})$	$v_{Rd1} = 0.035 f_c^{2/3} k(1.2 + 40\rho)$ $v_{Rd2} = 0.3v f_c, v = 0.7 - \frac{f_c}{200} \geq 0.5$ $\rho \leq 0.02 \quad k = 1.6 - d \geq 1$ $f_c \text{ MPa ve } d \text{ m boyutundadır.}$
ENV 1992	Enine donatılı kirişlerde ($v_c = 0$) $v_n = \min(v_{Rd2}', v_{Rd3}')$	$v_{Rd2}' = 0.6v f_c / (\cot \theta + \tan \theta)$ $v_{Rd3}' = 0.90\rho_w f_{yw} \cot \theta$ $v = 0.7 - f_c / 200 \geq 0.5, f_c \text{ MPa}$ $26.6^\circ < \theta < 45^\circ, \rho_w f_{yw} \leq 0.38v f_c,$
Zsutty	Enine donatısız kirişlerde $v_u = 2.2(f_c \rho d / a)^{1/3}$ Enine donatılı kirişlerde $v_u = 2.2(f_c \rho d / a)^{1/3} + \rho_w f_{yw}$	$(a/d) \geq 2.5$ $f_c \text{ MPa boyutundadır.}$

**KESME MUKAVEMETİ BAĞINTILARININ GÖÇME OLASILIKLARININ VE
GÜVENİLİRLİKLERİNİN İRDELENMESİ**

Kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) 2.5' dan büyük betonarme kirişlerde kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliğini olasılıksal yöntemlerle irdelenmiştir. İrdelenen kirişlerin geometrik ve malzeme özellikleri 2. ve 3. Bölüm' de verilmiştir. Daha öncede belirtildiği gib kirişe etkiyen yük veya yüklerin vektöryel bileşeni "S" (istem) ve kirişin kesme mukavemetini oluşturan öğelerin vektöryel bileşkesi "R" (kapasite) ile gösterilse, $Z=R-S$ farkının bir ölçüsü güvenlik payı olur. $R-S>0$ olayını gerçekleştiren kirişler, bu çalışmada değerlendirilecek olan tüm bağıntılar için karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu Bresler ve Scordelis [15], Krefeld ve Thurston [16], Placas ve Regan [17] , Mattock veWang [18] , Leonhardt veWalther [23], Swamy ve Andriopoulos [24], Mphonde ve Frantz [25] ve Adebar Collins [26] 'da gösterilen çalışmalarda üretilen kirişler, söz konusu koşulu ($Z=R-S>0$) sağladığından; bu kirişler için kesme mukavemeti bağıntılarının güvenilirliği irdelenmiştir.

Altı yönetmelik [8-14] ve araştırmada [12] önerilen kesme mukavemeti bağıntılarındaki temel değişkenler; betonun basınç dayanımı (f_c), çekme donatısı oranı (ρ), kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d), kiriş etkili yüksekliği (d), enine donatı oranı (ρ_w) ve enine donatı akma mukavemeti (f_{yw})' dir. Yapılan değerlendirmelerde söz konusu tüm değişkenlerin istatistiksel bağımsız oldukları varsayılmıştır. Ayrıca mukavemet değerlerinin logaritmik normal dağılım, diğer değişkenlerin ise normal dağılım oldukları kabul edilmiştir.

4.1 Değişkenlerin Standart Sapmaları

Genellikle deneysel çalışmalarda her seri için üç beton numunesi alınıp, elemanın basınç dayanımı bulunmaktadır. Bresler ve Scordelis [15], Krefeld ve Thurston [16], Placas ve Regan [17], Mattock ve Wang [18], Leonhardt ve Walther [23], Swamy ve Andriopoulos [24], Mphonde ve Frantz [25] ve Adebar Collins [26] tarafından üretilen kirişlerde sadece seri basınç dayanımı verildiğinden, beton basınç dayanımındaki standart sapma için literatürdeki çalışmalardan ve yönetmeliklerden yararlanılmıştır. Bu kirişler normal dayanımlı betondan (beton basınç dayanımı 50MPa'dan küçüktür) üretilmiştir.

ACI318 [8]'de normal dayanımlı betonlar için standart sapmanın 3.73 MPa, TS500 [9]'da gösterilen bağıntıda ise 2.34 MPa alınması önerilmiştir. Hosseinnezhad vd. [27]'de gösterilen çalışmada ise beton basınç dayanımı 32.2 MPa için standart sapma 5 MPa alınmış ve beton basınç dayanımının logaritmik normal dağılımlı olduğu kabul edilmiştir. Kiriş etkili yükseklikleri için ise standart sapma 5 mm alınmıştır. Enright vd. [28]'de gösterilen çalışmada ise, beton basınç dayanımı 20.7 MPa için standart sapma 3.73 MPa kabul edilmiş, 68.73 mm etkili yükseklikli kiriş için ise standart sapma 2.06 mm alınmıştır.

Neves vd. [29]'da gösterilen çalışmada ise, kesit boyutlarının 12 cm/30 cm olduğu kirişlerde beton basınç dayanımının ortalama değeri 30 MPa için, standart sapma 3.6 MPa belirlenmiştir. Beton basınç dayanımının logaritmik normal dağılımlı kabul edilmiştir. Ancak, kullanılan kirişlerde beton basınç dayanımı ortalama değerinden, karakteristik dayanıma geçtiklerinde ise, değişkenlerin istatistiksel bağımlı olduklarını düşünerek, beton basınç dayanımının ortalama değeri 25 MPa için standart sapma 3.75 MPa alınmıştır.

He vd. [30]'da gösterilen çalışmada ise; 27.97 MPa beton basınç dayanımına sahip kirişte standart sapma 2.85 MPa alınmış ve dağılımın normal dağılımlı olduğu kabul edilmiştir. Kiriş etkili yüksekliği için standart sapma 12.7 mm alınmış ve dağılımın normal dağılımlı olduğu kabul edilmiştir.

25 MPa ile 50 MPa aralığında basınç dayanımına sahip elemanda standart sapma 4 MPa ile 5.5 MPa arasında belirlenmiştir (Soares vd. [31]).

Biadini vd. [32]' de gösterilen çalışmada, beton basınç dayanımının logaritmik normal dağılımlı olduğu kabul edilmiş ve beton basınç dayanımının standart sapması 5 MPa alınmıştır.

Yapılan çalışmalardan görüleceği gibi, değişkenlere göre yapılan dağılım kabulleri ve standart sapmalar değişkenlik gösterebilmektedir. Bazı değişkenlerin ise, birbirine istatistiksel bağımlı oldukları varsayılmaktadır. Bu çalışmada, beton basınç dayanımı ve enine donatı akma dayanımı değerlerinin üçüncü yöntem olan lognormal dağılımlı olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan değişkenlerin standart sapmalarının belirlenmesinde, İbiş [33] tarafından yapılan çalışmadan da faydalanılarak, Çizelge 4.1' de özetlenmiştir. Kesme mukavemeti bağıntılarındaki tüm değişkenlerin istatistiksel bağımsız oldukları varsayımı ile hesaplar yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Hesaplamalarda kullanılan değişkenlerin standart sapmaları

Değişken	Standart sapmalar
f_c	5 MPa
ρ_w	$0.01\rho_w$
f_{yw}	$0.01f_{yw}$
d	$0.01d$
a / d	$0.01(a / d)$
ρ	0.01ρ
v_u	$0.01v_u$

4.2 Güvenilirlik İndeksleri ve Göçme Olasılıkları

Çizelge 4.1' de her bir değişken için verilen standart sapma ve Çizelge 3.1-2 ' de verilen kirişlerin geometrik ve malzeme özellikleri kullanılarak her bir kiriş için tüm değişkenlerin normal dağılımlı olduğu kabulü ile doğrudan çözüm (Normal çözüm), tüm değişkenlerin normal dağılımlı olduğu kabulüne göre iterasyonlu çözüm (iterasyonlu çözüm) ve f_c , f_{yw} ve v_u lognormal dağılımlı, diğer değişkenler normal dağılımlı olduğu kabulüne göre iterasyonlu çözüm (iterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm) olmak üzere 3 farklı yöntemle hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ACI318 [8], TS500 [9], EN1992:2004 [10], NZS [11], Zsutty [12], EN1992 [13], ENV1992 [14]

bağıntılarının sağladıkları güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları belirlenmiştir (Ek Çizelge A-G).

4.3 Göçme Olasılıklarının İrdelenmesi

Her bir bağıntının gerçekleştirdiği veya sağladığı göçme olasılık dağılımlarından anlaşılacağı gibi, en küçük göçme olasılığına sahip bağıntı en güvenilir sonucu vermektedir. Matematiksel olarak tanımlanacak olursa; R kapasite değeri, kirişin taşıyabileceği değer iken, S değeri ise taşıma gücünün tahmin edilmesinde kullanılan bağıntılardan elde edilen değer olduğundan, R-S farkının en büyük olduğu bağıntı en güvenilir sonucu verecektir. Bir başka anlatımla göçme olasılığı en küçük olan bağıntı en güvenilir bağıntı olacaktır. Literatürde önerilen kesme mukavemeti bağıntılarının üç farklı yöntemle göre hesaplanan göçme değerleri ve bu değerlere göre sonuçların karşılaştırılması, Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Göçme olasılıkları sonuçlarının karşılaştırılması

Bağıntı	Normal Çözüm		İterasyonlu Çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) Çözüm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
ACI318	<0.15E-14	8.41E-05	<0.15E-14	4.03E-06	<0.15E-14	4.22E-04
TS500	<0.15E-14	4.44E-01	<0.15E-14	4.43E-01	<0.15E-14	4.11E-01
NZS	<0.15E-14	5.48E-02	<0.15E-14	4.14E-02	<0.15E-14	9.46E-01
EN1992:2004	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14
EN1992	<0.15E-14	6.99E-04	<0.15E-14	2.57E-04	<0.15E-14	2.56E-03
ENV1992	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14	<0.15E-14
ZSUTTY'S	<0.15E-14	4.74E-01	<0.15E-14	4.74E-01	<0.15E-14	4.39E-01

Görüldüğü gibi seçilen her bir kiriş için elde edilen göçme olasılığı sonuçları, minimum ve maksimum göçme değerleri ile sınırlandırıldığında ve üç yöntem için ayrı ayrı değerlendirildiğinde; en güvenilirden en az güvenilirle doğru yapılan sıralama, Çizelge 4.3–5’ te verilmiştir.

Normal çözümle elde edilen göçme olasılığı değerlerine bakılarak Çizelge 4.3’ deki gibi sıralama yapılabilir. Anlaşılacağı üzere göçme olasılığının maksimum olduğu bağıntı

en olumsuz sonucu verecektir. Dolayısıyla maksimum göçme olasılığı ile sınırlanan bölge daha az güvenilirlik sağlayacak bölgedir.

Çizelge 4. 3 Güvenilirlik sıralaması (Normal çözüm)

Sıralama	Bağıntı
1	EN 1992:2004 [10]
2	ENV 1992 [14]
3	ACI 318 [8]
4	EN 1992 [13]
5	NZS [11]
6	TS500 [9]
7	Zsutty [12]

İterasyonlu normal dağılımlı çözüm için de maksimum göçme olasılığına sahip olan bağıntı daha da az güvenilir sonucu verecektir. Bu yöneme göre güvenilirlik sıralaması Çizelge 4.4 'de olduğu gibidir.

Çizelge 4. 4 Güvenilirlik sıralaması (İterasyonlu Çözüm)

Sıralama	Bağıntı
1	EN 1992:2004 [10]
2	ENV 1992 [14]
3	ACI 318 [8]
4	EN 1992 [13]
5	NZS [11]
6	TS500 [9]
7	Zsutty [12]

Benzer bir karşılaştırma, 3. yöntem içinde yapılmış, göçme olasılıkları maksimum değerden minimum değere doğru sıralanarak sonuçlar Çizelge 4.5' te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Güvenilirlik sıralaması (İterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözüm)

Sıralama	Bağıntı
1	EN 1992:2004 [10]
2	ENV 1992 [14]
3	ACI 318 [8]
4	EN 1992 [13]
5	NZS [11]
6	TS500 [9]
7	Zsutty [12]

Her üç çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre yapılan sıralamalar birkaç değişiklik dışında benzerlik görülmektedir. Buradan anlaşılabacağı gibi her üç yöntemin de çoğunluğunun ortak sağladığı genel güvenilirlik sıralaması ise Çizelge 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4. 6 Genel güvenilirlik sıralaması

Sıralama	Bağıntı
1	EN 1992:2004 [10]
2	ENV 1992 [14]
3	ACI 318 [8]
4	EN 1992 [13]
5	NZS [11]
6	TS500 [9]
7	Zsutty [12]

4.4 Sayısal Örnek

Bu örnekte ilgili istatistiksel verileri Çizelge 4.7’ de görülen, enine donatılı bir betonarme kirişin (A–1 kirişi) güvenliğinin belirlenmesi için ACI 318 [8]’ de verilen kesme mukavemeti bağıntısının güvenilirliği irdelenecektir.

Çizelge 4.7 Hesap verileri

Değişken	Ortalama değer	Standart sapma
Etkili yükseklik, d (mm)	466.1	4.661
Kesme açıklığı/etkili yükseklik, a/d	3.92	0.039
Beton basınç dayanımı, f_c (MPa)	24.06	5.000
Enine donatı oranı, (%) ρ_w	0.001	0.00001
Enine donatı mukavemeti, f_{yw} (MPa)	325	3.25
Kiriş kesme mukavemeti, v_u (MPa)	1.630	0.0163

4.4.1 Tüm Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olduğu Kabulüne Göre Doğrudan Çözüm

$$Z = g(X) = R - S$$

$$R = v_u, S = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} + \rho_w f_{yw} \text{ olduğundan,}$$

$$Z = v_u - \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c} + \rho_w f_{yw} \right) \rightarrow m_z = m_r - m_s \rightarrow m_z = 1.630 - \left(\frac{1}{6} \sqrt{24.06} + (0.001)(325) \right) \rightarrow m_z = 0.48748$$

$\sigma_z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2$ olduğundan $(\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \text{Var}(X_i)$ bağıntısı ile kapasite ve istemin standart sapması hesaplanır.

$$f_c \text{ için } \rightarrow \frac{\partial g}{\partial X_i} = -\frac{1}{12\sqrt{f_c}} = -\frac{1}{12\sqrt{24.06}} = -0.0028815 \text{ olur.}$$

$$\text{Var}(X_i) = \sigma_R = 5 \text{ MPa}$$

$$(\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \text{Var}(X_i) = (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \sigma_R^2 = (-0.0028815)^2 5^2 = 0.00722$$

$$v_u \text{ için } \rightarrow \frac{\partial g}{\partial X_i} = 1 \rightarrow (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \text{Var}(X_i) = (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \sigma_S^2 = (1)^2 0.0163^2 = 0.00026569$$

$$\rho_w \text{ için } \rightarrow \frac{\partial g}{\partial X_i} = -1 \rightarrow (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \text{Var}(X_i) = (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \sigma_S^2 = (-325)^2 0.00001^2 = 0.000010563$$

$$f_{yw} \text{ için } \rightarrow \frac{\partial g}{\partial X_i} = -1 \rightarrow (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \text{Var}(X_i) = (\frac{\partial g}{\partial X_i})^2 \sigma_S^2 = (-0.001)^2 3.25^2 = 0.000010563$$

$$\sigma_z = \sqrt{(0.00722 + 0.00026569 + 2 \times 0.000010563)} \rightarrow \sigma_z = 0.086617$$

$$Z = g(X) = R - S$$

$$\beta = \frac{m_Z}{\sigma_Z} \Rightarrow \beta = \frac{0.48748}{0.086617} \Rightarrow \beta = 5.628 \text{ (Güvenilirlik İndeksi)}$$

Göçme olasılığı;

$$p_F = 1 - p_S = 1 - \Phi(5.628) = 9.394 \text{E} - 09 \text{ (Ek Çizelge-H)}$$

4.4.2 Tüm Değişkenlerin Normal Dağılımlı Olduğu Kabulüne Göre İterasyonlu Çözüm

$$(\frac{\partial g}{\partial X_i})^* = \sigma_i (\frac{\partial g}{\partial X_i}) \text{ ile hesaplanır.}$$

$$f_c \text{ için } (\frac{\partial g}{\partial X_i})^* = 5(-\frac{1}{12\sqrt{f_c}}) = 5(-\frac{1}{12\sqrt{24.06}}) = -0.08495$$

$$v_u \text{ için } \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^* = 0.0163(1) = 0.0163$$

$$f_{yw} \text{ için } \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^* = -0.001(3.25) = -0.0033$$

$$\rho_w \text{ için } \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^* = -325(0.00001) = -0.0033$$

$$\alpha_i = \left[\frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \text{Var}(X_i)}{\text{Var}(Z)} \right]^{1/2} = \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \frac{\sigma_i}{\sigma_Z}$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \Rightarrow \sigma_Z = \sqrt{0.0163^2 + (-0.08495)^2 + (2 \times (-0.0033))^2} \Rightarrow \sigma_Z = 0.08662$$

$$f_c \text{ için } \rightarrow \alpha_{f_c} = \left[\frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \text{Var}(X_i)}{\text{Var}(Z)} \right]^{1/2} = \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \frac{\sigma_i}{\sigma_Z} = \frac{-0.08495}{0.08662} = -0.981$$

$$v_u \text{ için } \alpha_{v_u} = \frac{0.0163}{0.08662} = 0.188$$

$$f_{yw} \text{ için } \alpha_{f_{yw}} = \frac{-0.0033}{0.08662} = -0.038$$

$$\rho_w \text{ için } \alpha_{\rho_w} = \frac{-0.0033}{0.08662} = -0.038$$

Limit duruma göre, irdeleme yapıldığından ve limit durum $Z=0$ koşulu olduğundan, performans denkleminde, elde edilen veriler yazılır ve bu denklemden güvenilirlik indeksi hesaplanır.

$$Z = (v_u - \alpha_{v_u} \beta \sigma_{v_u}) - \left(\left(\frac{1}{6} \sqrt{(f_c - \alpha_{f_c} \beta \sigma_{f_c})^2 + (\rho_w - \alpha_{\rho_w} \beta \sigma_{\rho_w})^2 + (f_{yw} - \alpha_{f_{yw}} \beta \sigma_{f_{yw}})^2} \right) \right)$$

$$0 = (1.63 - 0.188 \beta 0.0163) - \left(\frac{1}{6} \sqrt{(24.06 + 0.981 \beta 5.000) + (0.001 + 0.038 \beta 0.00001) + (325 + 0.038 \beta 3.25)} \right)$$

$$\beta_1 = 7.161$$

Elde edilen güvenlik indeksleri yerlerine yazılır ve yeni tasarım değerleri elde edilir. Bu tasarım değerlerine göre yeni duyarlılık katsayıları hesaplanır ve performans denkleminde 2. güvenilirlik indeksi hesaplanır. Güvenilirlik indeksleri eşit olana kadar bu algoritmaya devam edilir. 2. iterasyonun verileri Çizelge 4.8'deki gibidir.

Çizelge 4.8 2. İterasyon hesapları

X_i	m_i^N	σ_i^N	$(\frac{\partial g}{\partial X_i})^*$	α_i^*
f_c	59.174	5.000	-0.054	-0.954
ρ_w	0.001	0.00001	-0.003	-0.057
f_{yw}	325.873	3.25	-0.003	-0.057
v_u	1.608	0.0163	0.0163	0.287

$$0 = (1.63 - 0.287\beta_1 0.0163) - \left(\frac{1}{6}\sqrt{(24.06 + 0.954\beta_1 5.000)}\right) + (0.001 + 0.057\beta_1 0.000001) + (325 + 0.057\beta_1 3.25)$$

$$\beta_2 = 7.135 \Rightarrow \beta_2 \neq \beta_1 \text{ İterasyona devam edilir.}$$

Elde edilen güvenlik indeksleri yerlerine yazılır ve yeni tasarım değerleri elde edilir. Bu tasarım değerlerine göre yeni duyarlılık katsayıları hesaplanır ve performans denkleminde 3. güvenilirlik indeksi hesaplanır. Güvenilirlik indeksleri eşit olana kadar bu algoritmaya devam edilir. 3. iterasyonun verileri Çizelge 4.9'daki gibidir.

Çizelge 4.9 3. İterasyon hesapları

X_i	m_i^N	σ_i^N	$(\frac{\partial g}{\partial X_i})^*$	α_i^*
f_c	93.223	5.000	-0.043	-0.931
ρ_w	0.001	0.00001	-0.003	-0.071
f_{yw}	327.205	3.25	-0.003	-0.071
v_u	1.575	0.0163	0.0163	0.352

$$\beta_3 = 7.135$$

$\beta_2 = \beta_3 \cong 7.135$ olduğundan iterasyon kesilir.

$$p_F = 1 - p_S = 5.11E - 13 \text{ (Ek Çizelge-H)}$$

4.4.3 f_c , v_u ve f_{yw} lognormal, diğer değişkenler normal dağılımlı olduğu kabulüne göre iterasyonlu çözüm

Burada, f_c , v_u ve f_{yw} kendi dağılımlarına uygun şekilde alınır ve daha öncede bahsedildiği gibi, normal olmayan değişkenler (4.1) ve (4.2) ile, eşdeğer standart normal dağılıma dönüştürülür.

$$\sigma_R^N = \xi_R f_R^*; \sigma_S^N = \xi_S f_S^* \quad (4.1)$$

$$m_R^N = f_R^* (1 - \ln f_R^* + \lambda_R); m_S^N = f_S^* (1 - \ln f_S^* + \lambda_S) \quad (4.2)$$

Daha sonra da iterasyonlu işlemlerde uygulanan adımlar uygulanır ve güvenlik indeksi benzer şekilde hesaplanır.

$$\xi_{f_c}^2 = \ln \left(1 + \sigma_{f_c}^2 / m_{f_c}^2 \right) \rightarrow \xi_{f_c}^2 = \ln \left(1 + 5^2 / 24.06^2 \right)$$

$$\xi_{f_c}^2 = 0.04228 \rightarrow \xi = 0.205621$$

$$\xi_{v_u}^2 = \ln \left(1 + \sigma_{v_u}^2 / m_{v_u}^2 \right) \rightarrow \xi_{v_u}^2 = \ln \left(1 + 0.0163^2 / 1.63^2 \right)$$

$$\xi_{v_u}^2 = 9.995E - 05 \rightarrow \xi_{v_u} = 0.01$$

$$\xi_{\rho_w f_{yw}}^2 = \ln \left(1 + \sigma_{f_{yw}}^2 / m_{f_{yw}}^2 \right) \rightarrow \xi_{\rho_w f_{yw}}^2 = \ln \left(1 + 3.25^2 / 325^2 \right)$$

$$\xi_{\rho_w f_{yw}}^2 = 9.995E - 05 \rightarrow \xi_{\rho_w f_{yw}} = 0.01$$

$$\lambda_{f_c} = \ln \left(m_{f_c} \right) - 0.5 \xi_{f_c}^2 \rightarrow \lambda_{f_c} = \ln(24.06) - 0.5 \cdot 0.04228$$

$$\lambda_{f_c} = 3.159411$$

$$\lambda_{v_u} = \ln(m_{v_u}) - 0.5 \xi_{v_u}^2 \rightarrow \lambda_{v_u} = \ln(1.63) - 0.5 \times 0.00009$$

$$\lambda_{v_u} = 0.488535$$

$$\lambda_{f_{yw}} = \ln(m_{f_{yw}}) - 0.5 \xi_{f_{yw}}^2 \rightarrow \lambda_{f_{yw}} = \ln(325) - 0.5 \times 0.00009$$

$$\lambda_{\rho_w f_{yw}} = 5.7838$$

$$\sigma_{f_c} = \xi_{f_c} m_{f_c} = 0.205621 \cdot 24.06 \rightarrow \sigma_{f_c} = 4.9474$$

$$m_{f_c} = m_{f_c} \left[1 - \ln(m_{f_c}) + \lambda_{f_c} \right] = 24.06 \left[1 - \ln(24.06) + 3.159411 \right] \rightarrow m_{f_c} = 23.55137$$

$$\sigma_{v_u} = \xi_{v_u} m_{v_u} = 0.01 \cdot 1.63 \rightarrow \sigma_{v_u} = 0.0163$$

$$m_{v_u} = m_{v_u} \left[1 - \ln(m_{v_u}) + \lambda_{v_u} \right] = 1.63 \left[1 - \ln(1.63) + 0.0488535 \right] \rightarrow m_{v_u} = 1.62991$$

$$\sigma_{f_{yw}} = \xi_{f_{yw}} m_{f_{yw}} = 0.01 \cdot 325 \rightarrow \sigma_{f_{yw}} = 3.25$$

$$m_{f_{yw}} = m_{f_{yw}} \left[1 - \ln(m_{f_{yw}}) + \lambda_{f_{yw}} \right] = 325 \left[1 - \ln(325) + 5.7838 \right] \rightarrow m_{f_{yw}} = 324.984$$

Çizelge 4.10' daki 1. iterasyon hesap değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 1. iterasyon hesapları

X_i	m_i^N olacak	σ_i^N	$\left(\frac{\partial g_i}{\partial X_i}\right)^*$	α_i^*
f_c	23.551	4.947	-0.08495	-0.981
ρ_w	0.001	0.00001	-0.0033	-0.038
f_{yw}	324.984	3.25	-0.0033	-0.038
v_u	1.63	0.0163	0.0163	0.188

$$Z = (v_u - \alpha_{v_u} \beta \sigma_{v_u}) - \left(\left(\frac{1}{6} \sqrt{(f_c - \alpha_{f_c} \beta \sigma_{f_c})^2 + (\rho_w - \alpha_{\rho_w} \beta \sigma_{\rho_w})^2 + (f_{yw} - \alpha_{f_{yw}} \beta \sigma_{f_{yw}})^2} \right) \right)$$

$$0 = (1.63 - 0.188\beta 0.0163) - \left(\frac{1}{6}\sqrt{(23.551 + 0.981\beta 4.947)} + (0.001 + 0.038\beta 0.00001) + (324.987 + 0.038\beta 3.25)\right)$$

$$\beta_1 = 7.332$$

Çizelge 4.11' deki hesaplanan tasarım değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 Tasarım değerleri

X_i	m_i^*
f_c	59.125
f_{yw}	325.877
v_u	1.607

$$\sigma_{f_c} = \xi_{f_c} m_{f_c} = 0.205621 59.125 \rightarrow \sigma_{f_c} = 12.157$$

$$m_{f_c} = m_{f_c} \left[1 - \ln(m_{f_c}) + \lambda_{f_c} \right] = 59.125 \left[1 - \ln(59.125) + 3.159411 \right] \rightarrow m_{f_c} = 4.716$$

$$\sigma_{v_u} = \xi_{v_u} m_{v_u} = 0.01 1.607 \rightarrow \sigma_{v_u} = 0.01607$$

$$m_{v_u} = m_{v_u} \left[1 - \ln(m_{v_u}) + \lambda_{v_u} \right] = 1.607 \left[1 - \ln(1.607) + 0.0488535 \right] \rightarrow m_{v_u} = 1.63$$

$$\sigma_{f_{yw}} = \xi_{f_{yw}} m_{f_{yw}} = 0.01 325.877 \rightarrow \sigma_{f_{yw}} = 3.259$$

$$m_{f_{yw}} = m_{f_{yw}} \left[1 - \ln(m_{f_{yw}}) + \lambda_{f_{yw}} \right] = 325.877 \left[1 - \ln(325.877) + 5.7838 \right] \rightarrow m_{f_{yw}} = 324.983$$

Çizelge 4.12' de 2. iterasyon hesap değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.12 2. iterasyon hesapları

X_i	m_i^N	σ_i^N	$\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)^*$	α_i^*
f_c	4.716	12.157	-0.4665	-0.999
ρ_w	0.001	0.00001	-0.007	-0.007
f_{yw}	324.983	3.259	-0.007	-0.007
v_u	1.63	0.0161	0.01607	0.034

$$0 = (1.63 - 0.034\beta_2 0.0161) - \left(\frac{1}{6}\sqrt{4.716 + 0.999\beta_2 12.157}\right) + (0.001 + 0.007\beta_2 0.00001) + (324.983 + 0.007\beta_2 3.259)$$

$$\beta_2 = 4.64$$

Aynı işlemler tekrarlanarak 3. iterasyon yapılır. Çizelge 4.13' de 3. iterasyon hesap değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 3. İterasyon hesapları

X_i	m_i^N	σ_i^N	$\left(\frac{\partial g_i}{\partial X_i}\right)^*$	α_i^*
f_c	2.876	12.561	-0.6173	-0.999
ρ_w	0.001	0.00001	-0.0033	-0.005
f_{yw}	324.984	3.251	-0.0033	-0.005
v_u	1.63	0.0163	0.01627	0.026

$$0 = (1.63 - 0.026\beta_3 0.0163) - \left(\frac{1}{6}\sqrt{2.876 + 0.999\beta_3 12.561}\right) + (0.001 + 0.005\beta_3 0.00001) + (324.984 + 0.005\beta_3 3.251)$$

$$\beta_3 = 4.64$$

$\beta_3 = 4.64 \cong \beta_2$ olduğundan iterasyon kesilir.

$p_F = 1 - p_s = 1 - \Phi(\beta) = 1 - \Phi(4.64) = 1.75 \times 10^{-6}$ bulunur (Ek Çizelge-H).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada deneysel olarak literatürde hesaplanan 58 adet kirişlere ait beton dayanım parametreleri, kiriş boyutları, donatı özellikleri kaynaklardaki formüllerde yerine konularak doğrudan (tüm değişkenler normal dağılımlı) ve iterasyonlu (tüm değişkenler normal dağılımlı ve tüm değişkenler kendine özgü dağılımlı) yaklaşımlarla güvenilirlikleri hesaplanmıştır.

Hesaplamalar sonucunda; ACI318 [8], TS500 [9], EN1992:2004 [10], NZS [11], Zsutty [12], EN1992 [13] ve ENV1992 [14] bağıntıları ile kirişlerin deneysel sonuçları kullanılarak üretilen performans fonksiyonlarının (dolayısıyla kesme mukavemeti bağıntılarının) güvenilirliği (rastgele değişkenlerinin istatistiksel bağımsız olduğu kabulüne göre kiriş toplumuna ilişkin) değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu:

- Doğrudan (tüm değişkenler normal dağılımlı) ve iterasyonlu (tüm değişkenler normal dağılımlı ve tüm değişkenler kendine özgü dağılımlı) yaklaşımlar için belirlenen göçme olasılıklarına göre güvenilirliği en yüksek olan bağıntının EN 1992:2004 ve ENV 1992, en düşük ise, Zsutty bağıntısının olduğu söylenebilir.
- Çizelge 4.2 incelendiğinde EN1992:2004 ve ENV 1992 bağıntısının normal çözümde; göçme olasılığı bakımından yaklaşık olarak, ACI318 'den 10^{10} kat, EN1992' den 10^{11} kat, NZS' den 10^{13} kat, TS 500 ve Zsutty' den 10^{14} kat küçük sonuç verdiği görülebilir.

- EN1992:2004 ve ENV 1992 bağıntısının iterasyonlu normal çözümde, yaklaşık olarak ACI 318' den 10^9 kat ve Zsutty' den ise göçme olasılığı bakımından yaklaşık 10^{14} kat daha küçük sonuç verdiği söylenebilir.
- Değişkenler kendi dağılımlarıyla alınıp iterasyonlu çözüm yapıldığında ise, EN1992:2004 ve ENV 1992 bağıntısının göçme olasılığı bakımından ACI 318' den yaklaşık 10^{11} kat, daha az güvenilir olan Zsutty bağıntısından yaklaşık 10^{14} kat daha küçük sonuç verdiği görülebilir.
- Göçme olasılığı değerlerindeki artış oranları performans fonksiyonlarının yapısına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan karşılaştırmalar değişkenlerin kendi dağılımlarıyla alınıp iterasyonlu çözüm yapıldığında göçme olasılığının en büyük değerleri verdiğini göstermiştir. Bu sonuç değişkenlerin herbirinin kendi dağılımlarıyla hesaba katılmasının uygun olduğunu göstermektedir.
- Tüm değişkenlerin normal dağılımlı olduğu doğrudan çözüm sonuçlarının göçme olasılığı hakkında yaklaşık bilgi edinilmesi amacıyla kullanılması uygundur.
- Hesaplanan ortalama göçme olasılıkları bakımından değerlendirilme yapıldığında, EN 1992:2004 ve ENV 1992' nin göçme olasılığının en düşük olduğu bir başka ifade ile en güvenilir sonucu verdiği söylenebilir.
- Göçme olasılıkları hesaplamalarının sonuçları değerlendirildiğinde, performans fonksiyonu bağıntılarının içerdiği değişkenler ve değişkenlerin dağılımlarının, güvenilirliği önemli ölçüde etkilediği söylenebilir.
- Göçme olasılığı hesaplamaları yapılan kirişlerde standart sapma değerleri verilmediğinden, standart sapma değerleri için literatürdeki çalışmalardan yararlanılmıştır. Hesaplamaların daha doğru sonuç verebilmesi için kesme mukavemeti hesaplamalarında kullanılan parametrelerinde standart sapmaların deneysel olarak belirlenerek kullanılması gerekmektedir. Geometri ve malzeme özelliklerinin standart sapmaları bilinen elemanlarda göçme olasılığı hesaplamalarının yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gündüz, A., (1996). Mühendislikte Olasılık, İstatistik, Risk ve Güvenilirlik, Birinci Baskı, Küre Basım Yayım, İstanbul.
- [2] Postacıoğlu, B., (1956). Malzeme Bakımından yapılarda Emniyet ve Ekonominin Sağlanması, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul.
- [3] Kocataşkın, F., (1963). "A Simple Metod For Rational Determination of Safety", Bulletin of Technical University of İstanbul, 16(2): 107-118
- [4] Akman, S., (1964). "Beton Yapıların Mukavemetlerinin Deney Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi", Türkiye Mühendislik Haberleri, 10 (108): 27-32
- [5] Keskinel, F., (1971). Yapı Sistemlerinde Güvenlik Hesabı, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yayını, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [6] Çakıroğlu, A. Ve Özer, A., (1980). "Betonarme Sistemlerde Göçme Yüklerinin Bulunması Üzerine Teknik Rapor", 29.
- [7] Vahidi, E. K., (1991). Betonarme Yapısal Eleman Göçme Risklerinin Tahmin Edilmesiyle İlgili Yaklaşımlar, Doktora Tezi, YÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] ACI (American Concrete Institute) (2005) Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05). American Concrete Institute, Detroit, ACI Committee 318-05.
- [9] TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1, General Rules and Rules For Buildings, CEN, Brussels, EN 1992-1-1:2004.
- [11] NZS (Standards New Zealand) (1995) New Zealand standard code of practice for the design of concrete structures (NZS 3101). NZS, Wellington.
- [12] Zsutty, T. C., (1971). "Shear Strength Prediction For Separate Categories of Simple Beam Tests", ACI J Proceed, 68(2): 138-143.
- [13] Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, EN 1992-1-1.

- [14] Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, ENV 1992–1–1.
- [15] Bresler B and Scordelis AC (1961) Shear strength of reinforced concrete beams. Structures and Materials Research, series 100(13), Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.
- [16] Krefeld WJ and Thurston CW (1966) Studies of the shear and diagonal tension strength of simply supported reinforced concrete beams. ACI Journal 63(4):451–476.
- [17] Placas A and Regan PE (1971) Shear failure of reinforced concrete beams. ACI Journal 68(10), 763–773.
- [18] Mattock AH and Wang Z (1984) Shear strength of reinforced concrete members subject to high axial compressive stress. ACI Structural Journal 11(3): 287–298.
- [19] ASCE-ACI 426 (1973), “The Shear Strength of Reinforced Concrete Members”, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 99(ST6); 1091–1187.
- [20] Arslan G., (2005). Tersinir Yüklere Altında Betonarme Çubukların Kesme mukavemeti, Doktora Tezi, YTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Celep Z. ve Kumbasar N. (2005), Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [22] Celep Z., (2009). Betonarme Yapılar, Dördüncü Baskı, Beta Yayınevi, İstanbul.
- [23] Leonhardt F and Walter R (1962) Schubversuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit und der Oberen Schubspannungsgrenze, 151. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Ernst & Sohn, Berlin.
- [24] Swamy RN and Andriopoulos AD (1974) Contribution of aggregate interlock and dowel forces to the shear resistance of reinforced beams with web reinforcement. Shear in Reinforced Concrete, SP-42. American Concrete Institute Michigan, pp. 129–166.
- [25] Mphonde AG and Frantz GC (1985) Shear tests of high- and low-strength concrete beams with stirrups. High Strength Concrete, SP-87. ACI, Detroit, pp. 179–196.
- [26] Adebar P and Collins MP (1996) Shear strength of member without transverse reinforcement. Canadian Journal of Civil Engineering 23(1): 30–41.
- [27] Hosseinneshad, A., Pourzeynali, S. ve Razzaghi, J., (2000) . “Application of First-Order Second-Moment Level 2 Reliability Analysis Of Prestressed Concrete Bridges”, 7th International Congress On Civil Engineering.
- [28] Enright, M. P. ve Frangopol, D.M., (1998). “ Probabilistic Analysis of Resistance Degradation of Reinforced Concrete Bridge Beams Under Corrosion”, Engineering Structures, 20: 960–971.
- [29] Neves, R. A., Chateaufort, A.M. ve Venturini W.S., (2008). “Component and System Reliability Analysis Of Nonlinear Reinforced Concrete Grids With Multiple Failure Modes”, Structural Safety, 30: 183–189.

- [30] He, Z. ve Qiu, F., (2011). "Probabilistic Assesment On Flexural Capacity of GFRP- Reinforced Concrete Beams Designed By Guideline", Construction and Building Materials, 25: 1663–1670.
- [31] Soares, R.C., Mohammed, A., Venturini, W.S. ve Lemaire, M., (2002). "Reliability Analysis of Nonlinear Reinforced Concrete Frames Using The Response Surface Method", Reliability Engineering and System Safety, 75: 1–16.
- [32] Biandini, F., Bantempi, F., Frangopol, D.M. ve Malerba, P.G., (2004). "Reliability of Material and Geometrically Non-linear Reinforced and Prestressed Concrete Structure", Computers and Structure, 82: 1021–1031.
- [33] İbiş, A., (2011). "Literatürde Önerilen Enine Donatısız Betonarme Kiriş Çatlama Kesme Mukavemeti Bağlıntılarının Güvenilirliğinin Olasılıksal Yöntemlerle İrdelenmesi", YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 59.
- [34] Korkmaz A., Aktaş E. (2006). "Betonarme Çerçeve Yapıların Olasılıklı Sismik Analizi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 21, 1, 55-64.

EKLER

Ek Çizelge-A ACI318 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	5.628	9.39E-09	7.135	5.11E-13	4.640	1.75E-06
A-2	6.754	7.62E-12	8.849	<0.15E-14	5.645	8.59E-09
B-1	8.930	<0.15E-14	12.273	<0.15E-14	7.261	2.05E-13
B-2	6.643	1.62E-11	8.753	<0.15E-14	5.528	1.67E-08
C-1	7.655	1.06E-14	9.738	<0.15E-14	6.222	2.53E-10
C-2	9.302	<0.15E-14	12.972	<0.15E-14	7.548	2.38E-14
CRB-1	3.763	8.41E-05	4.465	4.03E-06	3.338	4.22E-04
1WCRA-1	4.042	2.66E-05	4.770	9.28E-07	3.570	1.79E-04
1WCRB-1	7.053	9.32E-13	9.401	<0.15E-14	5.880	2.12E-09
1WCRC-1	5.829	2.88E-09	7.239	2.40E-13	4.895	4.93E-07
1WCA-1	4.416	5.05E-06	5.316	5.40E-08	3.832	6.36E-05
1WCB-1	6.377	9.41E-11	8.080	<0.15E-14	5.233	8.58E-08
1WCC-1	5.420	3.05E-08	6.751	7.77E-12	4.560	2.57E-06
2WCA-1	6.190	2.85E-10	7.822	2.67E-15	5.083	1.90E-07
29a-2	5.729	5.22E-09	6.700	1.04E-11	5.021	2.62E-07
29f-2	7.459	4.68E-14	8.835	<0.15E-14	6.407	7.51E-11
R8	5.907	1.76E-09	7.363	9.61E-14	4.928	4.19E-07
R9	5.659	7.93E-09	6.875	3.26E-12	4.929	4.17E-07
R10	4.375	6.11E-06	5.120	1.56E-07	3.887	5.06E-05
R11	8.746	<0.15E-14	11.760	<0.15E-14	7.146	4.75E-13
R12	16.707	<0.15E-14	23.055	<0.15E-14	14.395	<0.15E-14
R13	20.900	<0.15E-14	28.860	<0.15E-14	20.380	<0.15E-14

Ek Çizelge-A (devamı) ACI318 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R14	10.985	<0.15E-14	15.076	<0.15E-14	8.801	<0.15E-14
R15	18.056	<0.15E-14	25.344	<0.15E-14	16.584	<0.15E-14
R16	18.149	<0.15E-14	25.071	<0.15E-14	16.757	<0.15E-14
R17	4.466	4.01E-06	6.305	1.45E-10	3.820	6.70E-05
R18	6.963	1.77E-12	8.626	<0.15E-14	5.789	3.61E-09
R19	9.980	<0.15E-14	13.060	<0.15E-14	8.475	<0.15E-14
R20	7.603	1.48E-14	9.000	<0.15E-14	6.544	3.15E-11
R21	20.841	<0.15E-14	26.105	<0.15E-14	18.664	<0.15E-14
R22	4.387	5.78E-06	5.139	1.43E-07	3.895	4.90E-05
R24	11.215	<0.15E-14	15.064	<0.15E-14	9.151	<0.15E-14
R25	15.066	<0.15E-14	21.156	<0.15E-14	12.678	<0.15E-14
R27	5.888	1.32E-09	8.663	<0.15E-14	5.057	2.20E-07
R28	15.620	<0.15E-14	20.840	<0.15E-14	14.685	<0.15E-14
C305-D0	7.070	8.21E-13	9.310	<0.15E-14	6.178	3.37E-10
E2I	10.366	<0.15E-14	13.569	<0.15E-14	8.534	<0.15E-14
E3I	12.466	<0.15E-14	16.945	<0.15E-14	10.388	<0.15E-14
E4I	13.738	<0.15E-14	18.538	<0.15E-14	11.585	<0.15E-14
E5I	13.189	<0.15E-14	17.700	<0.15E-14	11.141	<0.15E-14
C3	10.196	<0.15E-14	13.715	<0.15E-14	8.278	<0.15E-14
R3	9.998	<0.15E-14	13.273	<0.15E-14	8.271	<0.15E-14
J3	10.178	<0.15E-14	13.473	<0.15E-14	8.521	<0.15E-14
C4	10.210	<0.15E-14	13.977	<0.15E-14	8.152	<0.15E-14
O3	27.026	<0.15E-14	41.095	<0.15E-14	26.795	<0.15E-14
Z3	26.333	<0.15E-14	40.078	<0.15E-14	26.121	<0.15E-14
Y3	19.558	<0.15E-14	28.438	<0.15E-14	18.865	<0.15E-14
O4	18.917	<0.15E-14	28.501	<0.15E-14	16.932	<0.15E-14
Z4	23.348	<0.15E-14	35.681	<0.15E-14	23.285	<0.15E-14
O5	17.215	<0.15E-14	25.680	<0.15E-14	15.471	<0.15E-14
B50-3-3	6.044	7.86E-10	7.919	<0.15E-14	5.044	2.35E-07
B50-7-3	9.621	<0.15E-14	11.927	<0.15E-14	7.863	2.06E-15
B100-3-3	6.447	6.01E-11	8.072	<0.15E-14	5.348	4.61E-08
B150-3-3	13.294	<0.15E-14	18.392	<0.15E-14	11.070	<0.15E-14
B100-7-3	12.183	<0.15E-14	14.905	<0.15E-14	10.589	<0.15E-14
B150-7-3	11.285	<0.15E-14	13.695	<0.15E-14	9.403	<0.15E-14
ST6	6.997	1.32E-12	8.055	<0.15E-14	5.945	1.44E-09
ST18	14.083	<0.15E-14	17.569	<0.15E-14	11.556	<0.15E-14
Ortalama		<2.27E-06	Ortalama	<9.15E-08	Ortalama	<1.45E-05

Ek Çizelge-B TS500 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	1.614	5.33E-02	1.745	4.05E-02	1.611	5.36E-02
A-2	2.433	7.49E-03	2.727	3.19E-03	2.300	1.07E-02
B-1	4.043	2.65E-05	4.815	7.41E-07	3.546	1.96E-04
B-2	2.482	6.53E-03	2.802	2.54E-03	2.342	9.59E-03
C-1	2.637	4.18E-03	2.920	1.75E-03	2.500	6.21E-03
C-2	4.450	4.29E-06	5.415	3.12E-08	3.835	6.30E-05
CRB-1	0.284	3.88E-01	0.289	3.86E-01	0.387	3.49E-01
1WCRA-1	0.200	4.21E-01	0.202	4.20E-01	0.294	3.84E-01
1WCRB-1	2.792	2.62E-03	3.195	6.99E-04	2.589	4.81E-03
1WCRC-1	1.544	6.13E-02	1.655	4.90E-02	1.556	5.99E-02
1WCA-1	0.599	2.78E-01	0.617	2.69E-01	0.686	2.46E-01
1WCB-1	1.952	2.55E-02	2.125	1.68E-02	1.909	2.81E-02
1WCC-1	1.420	7.78E-02	1.522	6.40E-02	1.448	7.38E-02
2WCA-1	1.803	3.57E-02	1.952	2.55E-02	1.777	3.78E-02
29a-2	0.386	3.50E-01	0.391	3.48E-01	0.450	3.26E-01
29f-2	1.249	1.06E-01	1.295	9.77E-02	1.274	1.01E-01
R8	1.588	5.61E-02	1.703	4.43E-02	1.593	5.56E-02
R9	1.238	1.08E-01	1.311	9.49E-02	1.284	9.57E-03
R10	0.142	4.44E-01	0.143	4.43E-01	0.225	4.11E-01
R11	3.776	7.96E-05	4.414	5.10E-06	3.377	3.67E-04
R12	9.197	<0.15E-14	11.752	<0.15E-14	7.371	9.00E-14
R13	13.081	<0.15E-14	17.597	<0.15E-14	10.875	<0.15E-14
R14	5.156	1.31E-07	6.205	2.76E-10	4.430	4.74E-06
R15	10.946	<0.15E-14	14.655	<0.15E-14	9.014	<0.15E-14
R16	10.891	<0.15E-14	14.362	<0.15E-14	9.025	<0.15E-14
R17	1.936	2.64E-02	2.297	1.09E-02	1.895	2.90E-02
R18	1.925	2.71E-02	2.069	2.24E-02	1.892	2.92E-02
R19	4.517	3.15E-06	5.300	5.79E-08	4.036	2.73E-05
R20	1.335	9.09E-02	1.388	8.26E-02	1.356	8.76E-02
R21	12.002	<0.15E-14	14.565	<0.15E-14	10.100	<0.15E-14
R22	0,161	4.36E-01	0.162	4.36E-01	0.245	4.03E-01
R24	5,206	9.46E-08	6.198	2.87E-10	4.513	3.21E-06
R25	8,188	<0.15E-14	10.472	<0.15E-14	6.576	2.53E-11
R27	2,945	1.62E-03	3.710	1.04E-04	2.637	4.18E-03

Ek Çizelge-B (devamı) TS500 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R28	9.597	<0.15E-14	12.343	<0.15E-14	8.260	<0.15E-14
C305-D0	2.581	4.93E-03	3.006	1.32E-03	2.520	5.87E-03
E2I	4.967	3.42E-07	5.907	1.76E-09	4.422	4.92E-06
E3I	6.865	3.52E-12	8.645	<0.15E-14	5.549	1.49E-08
E4I	7.670	9.40E-15	9.665	<0.15E-14	6.234	2.37E-10
E5I	7.270	1.91E-13	9.094	<0.15E-14	5.944	1.45E-09
C3	4.535	2.90E-06	5.341	4.78E-08	3.985	3.35E-05
R3	4.483	3.70E-07	5.270	7.04E-08	3.967	3.63E-05
J3	4.725	1.16E-06	5.595	1.11E-08	4.174	1.51E-05
C4	4.557	2.60E-06	5.398	3.38E-08	3.980	3.40E-05
O3	17.757	<0.15E-14	26.765	<0.15E-14	15.450	<0.15E-14
Z3	17.581	<0.15E-14	26.810	<0.15E-14	15.109	<0.15E-14
Y3	12.566	<0.15E-14	17.827	<0.15E-14	10.252	<0.15E-14
O4	11.311	<0.15E-14	15.829	<0.15E-14	8.948	<0.15E-14
Z4	15.170	<0.15E-14	22.716	<0.15E-14	12.668	<0.15E-14
O5	9.987	<0.15E-14	13.628	<0.15E-14	8.005	<0.15E-14
B50-3-3	2.128	1.67E-02	2.377	8.73E-03	2.048	2.03E-02
B50-7-3	3.054	1.13E-03	3.325	4.42E-04	2.886	1.95E-03
B100-3-3	1.896	2.90E-02	2.055	2.25E-02	1.865	3.11E-02
B150-3-3	7.193	3.24E-13	9.107	<0.15E-14	5.900	1.82E-09
B100-7-3	4.558	2.59E-06	5.048	2.31E-07	4.226	1.20E-05
B150-7-3	4.099	2.08E-05	4.523	3.07E-06	3.867	5.49E-05
ST6	0.556	2.89E-01	0.573	2.83E-01	0.609	2.71E-01
ST18	6.017	9.09E-10	7.038	1.03E-12	5.239	8.34E-08
Ortalama		<5.77E-02	Ortalama	<5.47E-02	Ortalama	<5.26E-02

Ek Çizelge-C NZS için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	3.135	8.60E-04	3.622	1.46E-04	2.859	2.12E-03
A-2	4.072	2.34E-05	4.878	5.40E-07	3.562	1.84E-04
B-1	5.905	1.78E-09	7.494	3.42E-14	4.851	6.15E-07
B-2	4.063	2.43E-05	4.900	4.79E-07	3.544	1.97E-04
C-1	4.555	2.40E-06	5.361	4.26E-08	4.022	2.90E-05
C-2	6.302	1.47E-10	8.159	<0.15E-14	5.348	4.61E-08
CRB-1	1.605	5.47E-02	1.735	4.14E-02	1.609	9.46E-01
1WCRA-1	1.657	4.88E-02	1.783	3.73E-02	1.650	4.97E-02
1WCRB-1	4.412	5.14E-06	5.390	3.58E-08	3.795	7.35E-05
1WCRC-1	3.178	7.41E-04	3.628	1.43E-04	2.931	1.69E-03
1WCA-1	2.047	2.03E-02	2.247	1.23E-02	1.985	2.36E-02
1WCB-1	3.635	1.39E-04	4.223	1.21E-05	3.275	5.28E-05
1WCC-1	2.943	1.63E-03	3.362	3.87E-04	2.730	3.17E-03
2WCA-1	3.468	2.62E-04	4.007	3.08E-05	3.138	8.51E-04
29a-2	2.423	7.70E-03	2.612	4.46E-03	2.340	9.64E-03
29f-2	3.626	1.44E-04	3.985	3.35E-05	3.388	3.55E-04
R8	3.231	6.17E-04	3.697	1.09E-04	2.965	1.52E-03
R9	2.940	1.64E-03	3.300	4.84E-04	2.785	2.68E-03
R10	4.900	4.79E-07	4.712	1.23E-06	3.760	8.50E-05
R11	5.672	7.31E-09	7.055	9.19E-13	4.745	1.05E-06
R12	12.201	<0.15E-14	16.903	<0.15E-14	9.912	<0.15E-14
R13	16.167	<0.15E-14	22.183	<0.15E-14	14.177	<0.15E-14
R14	7.381	8.24E-14	9.422	<0.15E-14	5.950	1.40E-09
R15	13.733	<0.15E-14	18.916	<0.15E-14	11.485	<0.15E-14
R16	13.741	<0.15E-14	18.641	<0.15E-14	11.582	<0.15E-14
R17	2.893	1.91E-03	3.689	1.12E-04	2.580	4.94E-03
R18	3.848	5.96E-05	4.397	5.50E-06	3.495	2.38E-04
R19	6.633	1.72E-11	8.193	<0.15E-14	5.614	1.01E-08
R20	3.740	9.20E-05	4.120	1.90E-05	3.498	2.35E-04
R21	15.539	<0.15E-14	19.263	<0.15E-14	13.848	<0.15E-14
R22	1.769	3.84E-02	1.900	2.87E-02	1.752	3.99E-02
R24	7.510	3.03E-14	9.455	<0.15E-14	6.128	4.61E-10
R25	10.837	<0.15E-14	14.528	<0.15E-14	8.600	<0.15E-14
R27	4.066	2.40E-05	5.485	2.11E-08	3.562	1.84E-04

Ek Çizelge-C (devamı) NZS için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R28	12.027	<0.15E-14	15.815	<0.15E-14	10.259	<0.15E-14
C305-D0	4.297	8.69E-06	5.264	7.29E-08	3.862	5.64E-05
E2I	7.079	7.62E-13	8.826	<0.15E-14	5.745	4.79E-09
E3I	9.065	<0.15E-14	11.879	<0.15E-14	7.437	5.47E-14
E4I	10.059	<0.15E-14	13.146	<0.15E-14	8.597	<0.15E-14
E5I	9.602	<0.15E-14	12.469	<0.15E-14	8.008	<0.15E-14
C3	6.696	1.08E-11	8.370	<0.15E-14	5.509	1.83E-08
R3	6.601	2.05E-11	8.240	<0.15E-14	5.494	1.99E-08
J3	6.833	4.36E-12	8.383	<0.15E-14	5.712	5.67E-09
C4	6.706	1.01E-11	8.464	<0.15E-14	5.476	2.24E-08
O3	21.366	<0.15E-14	32.611	<0.15E-14	19.414	<0.15E-14
Z3	21.002	<0.15E-14	32.297	<0.15E-14	19.949	<0.15E-14
Y3	15.316	<0.15E-14	22.138	<0.15E-14	13.296	<0.15E-14
O4	14.237	<0.15E-14	20.744	<0.15E-14	11.699	<0.15E-14
Z4	18.351	<0.15E-14	27.991	<0.15E-14	16.424	<0.15E-14
O5	12.762	<0.15E-14	18.230	<0.15E-14	10.253	<0.15E-14
B50-3-3	3.612	1.52E-04	4.315	8.02E-06	3.250	5.77E-04
B50-7-3	5.566	1.35E-08	6.423	6.91E-11	4.925	4.25E-07
B100-3-3	3.633	1.40E-04	4.192	1.39E-05	3.300	4.84E-04
B150-3-3	9.558	<0.15E-14	12.652	<0.15E-14	7.659	1.03E-15
B100-7-3	7.521	2.84E-14	8.737	<0.15E-14	6.612	1.93E-11
B150-7-3	6.911	2.46E-12	7.989	<0.15E-14	6.210	2.69E-10
ST6	3.077	1.05E-03	3.355	3.97E-04	3.018	1.27E-03
ST18	9.184	<0.15E-14	11.098	<0.15E-14	7.755	4.80E-15
Ortalama		<3.1E-03	Ortalama	<2.17E-03	Ortalama	<1.88E-02

Ek Çizelge-D EN 1992:2004 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	87.850	<0.15E-14	79.578	<0.15E-14	112.508	<0.15E-14
A-2	88.602	<0.15E-14	80.940	<0.15E-14	118.761	<0.15E-14
B-1	85.613	<0.15E-14	67.839	<0.15E-14	82.589	<0.15E-14
B-2	83.869	<0.15E-14	63.984	<0.15E-14	75.583	<0.15E-14
C-1	81.139	<0.15E-14	68.224	<0.15E-14	84.659	<0.15E-14
C-2	82.209	<0.15E-14	70.068	<0.15E-14	88.123	<0.15E-14
CRB-1	80.486	<0.15E-14	68.480	<0.15E-14	81.783	<0.15E-14
1WCRA-1	86.011	<0.15E-14	78.123	<0.15E-14	102.103	<0.15E-14
1WCRB-1	83.628	<0.15E-14	73.743	<0.15E-14	92.227	<0.15E-14
1WCRC-1	78.259	<0.15E-14	66.167	<0.15E-14	74.434	<0.15E-14
1WCA-1	86.204	<0.15E-14	78.400	<0.15E-14	104.035	<0.15E-14
1WCB-1	83.254	<0.15E-14	72.994	<0.15E-14	91.154	<0.15E-14
1WCC-1	77.669	<0.15E-14	62.525	<0.15E-14	72.997	<0.15E-14
2WCA-1	87.581	<0.15E-14	79.196	<0.15E-14	110.768	<0.15E-14
29a-2	85.249	<0.15E-14	75.224	<0.15E-14	99.831	<0.15E-14
29f-2	86.500	<0.15E-14	77.311	<0.15E-14	105.281	<0.15E-14
R8	81.428	<0.15E-14	68.721	<0.15E-14	84.291	<0.15E-14
R9	70.318	<0.15E-14	50.905	<0.15E-14	55.662	<0.15E-14
R10	80.318	<0.15E-14	66.876	<0.15E-14	81.156	<0.15E-14
R11	83.654	<0.15E-14	72.503	<0.15E-14	92.277	<0.15E-14
R12	87.786	<0.15E-14	79.508	<0.15E-14	111.451	<0.15E-14
R13	81.285	<0.15E-14	68.500	<0.15E-14	84.061	<0.15E-14
R14	89.435	<0.15E-14	82.343	<0.15E-14	121.410	<0.15E-14
R15	79.875	<0.15E-14	66.178	<0.15E-14	79.231	<0.15E-14
R16	79.875	<0.15E-14	66.178	<0.15E-14	79.231	<0.15E-14
R17	78.670	<0.15E-14	64.186	<0.15E-14	76.131	<0.15E-14
R18	82.609	<0.15E-14	70.746	<0.15E-14	88.894	<0.15E-14
R19	74.389	<0.15E-14	57.237	<0.15E-14	64.553	<0.15E-14
R20	83.735	<0.15E-14	72.667	<0.15E-14	92.996	<0.15E-14
R21	80.789	<0.15E-14	67.708	<0.15E-14	82.268	<0.15E-14
R22	80.318	<0.15E-14	66.892	<0.15E-14	81.109	<0.15E-14
R24	85.281	<0.15E-14	75.237	<0.15E-14	99.639	<0.15E-14
R25	87.153	<0.15E-14	78.466	<0.15E-14	108.631	<0.15E-14
R27	69.409	<0.15E-14	49.555	<0.15E-14	53.941	<0.15E-14

Ek Çizelge-D (devamı) EN 1992:2004 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R28	68.331	<0.15E-14	47.898	<0.15E-14	51.826	<0.15E-14
C305-D0	76.854	<0.15E-14	61.671	<0.15E-14	71.286	<0.15E-14
E2I	70.222	<0.15E-14	50.769	<0.15E-14	55.468	<0.15E-14
E3I	70.781	<0.15E-14	51.635	<0.15E-14	56.724	<0.15E-14
E4I	72.669	<0.15E-14	54.546	<0.15E-14	60.513	<0.15E-14
E5I	71.534	<0.15E-14	52.784	<0.15E-14	58.010	<0.15E-14
C3	87.567	<0.15E-14	79.173	<0.15E-14	110.507	<0.15E-14
R3	80.088	<0.15E-14	66.522	<0.15E-14	80.078	<0.15E-14
J3	73.375	<0.15E-14	58.809	<0.15E-14	66.694	<0.15E-14
C4	94.743	<0.15E-14	39.492	<0.15E-14	46.645	<0.15E-14
O3	94.887	<0.15E-14	91.541	<0.15E-14	92.030	<0.15E-14
Z3	90.521	<0.15E-14	84.215	<0.15E-14	129.202	<0.15E-14
Y3	78.843	<0.15E-14	64.469	<0.15E-14	76.220	<0.15E-14
O4	93.430	<0.15E-14	89.098	<0.15E-14	92.004	<0.15E-14
Z4	89.664	<0.15E-14	82.685	<0.15E-14	123489	<0.15E-14
O5	93.034	<0.15E-14	88.469	<0.15E-14	152.071	<0.15E-14
B50-3-3	87.247	<0.15E-14	78.647	<0.15E-14	109.505	<0.15E-14
B50-7-3	89.804	<0.15E-14	83.068	<0.15E-14	124.190	<0.15E-14
B100-3-3	78.948	<0.15E-14	64.669	<0.15E-14	76.898	<0.15E-14
B150-3-3	78.523	<0.15E-14	63.923	<0.15E-14	75.123	<0.15E-14
B100-7-3	83.624	<0.15E-14	72.457	<0.15E-14	92.462	<0.15E-14
B150-7-3	77.732	<0.15E-14	62.661	<0.15E-14	72.987	<0.15E-14
ST6	72.630	<0.15E-14	54.489	<0.15E-14	60.400	<0.15E-14
ST18	80.991	<0.15E-14	68.629	<0.15E-14	84.387	<0.15E-14
Ortalama		<0.15E-14	Ortalama	<0.15E-14	Ortalama	<0.15E-14

Ek Çizelge-E EN 1992 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	7.836	2.46E-15	9.492	<0.15E-14	5.825	2.94E-09
A-2	7.457	4.75E-14	8.920	<0.15E-14	5.565	1.36E-08
B-1	9.023	<0.15E-14	11.091	<0.15E-14	6.593	2.19E-11
B-2	7.200	3.01E-13	8.691	<0.15E-14	5.485	2.11E-08
C-1	9.981	<0.15E-14	12.027	<0.15E-14	7.392	7.41E-14
C-2	6.619	1.86E-11	7.837	2.45E-15	5.095	1.76E-07
CRB-1	4.958	3.58E-07	5.700	5.99E-09	3.906	4.68E-05
1WCRA-1	6.480	4.77E-11	7.572	1.98E-14	4.913	4.51E-07
1WCRB-1	7.947	<0.15E-14	9.705	<0.15E-14	5.806	3.23E-09
1WCRC-1	8.675	<0.15E-14	10.457	<0.15E-14	6.508	3.86E-11
1WCA-1	6.765	7.05E-12	7.999	<0.15E-14	5.022	2.61E-07
1WCB-1	7.009	1.22E-12	8.260	<0.15E-14	5.206	9.71E-08
1WCC-1	8.100	<0.15E-14	9.786	<0.15E-14	6.060	7.13E-10
2WCA-1	8.395	<0.15E-14	10.113	<0.15E-14	6.265	1.96E-10
29a-2	6.215	2.62E-10	6.934	2.15E-12	5.057	2.20E-07
29f-2	7.426	5.86E-14	8.303	<0.15E-14	5.960	1.32E-09
R8	7.061	8.80E-13	8.337	<0.15E-14	5.275	6.83E-08
R9	7.376	8.62E-14	8.650	<0.15E-14	5.653	8.21E-08
R10	7.324	1.26E-13	8.555	<0.15E-14	5.555	1.44E-08
R11	7.917	<0.15E-14	9.515	<0.15E-14	6.000	9.87E-10
R12	6.369	9.97E-10	7.187	3.43E-13	5.075	1.99E-07
R13	9.899	<0.15E-14	11.757	<0.15E-14	7.438	5.43E-14
R14	11.186	<0.15E-14	13.840	<0.15E-14	8.028	<0.15E-14
R15	8.503	<0.15E-14	10.053	<0.15E-14	6.221	2.54E-10
R16	8.317	<0.15E-14	9.726	<0.15E-14	6.193	3.00E-10
R17	6.072	6.58E-10	7.966	<0.15E-14	4.631	1.83E-06
R18	7.812	2.82E-15	9.131	<0.15E-14	5.889	1.98E-09
R19	11.130	<0.15E-14	13.604	<0.15E-14	8.272	<0.15E-14
R20	7.880	1.80E-15	8.872	<0.15E-14	6.294	1.57E-10
R21	7.768	4.28E-15	8.585	<0.15E-14	6.375	9.55E-11
R22	5.653	8.21E-09	6.423	6.91E-11	4.540	2.83E-06
R24	3.716	1.16E-04	4.045	2.62E-05	3.230	6.19E-04
R25	5.900	1.82E-09	6.677	1.28E-11	4.700	1.30E-06
R27	3.394	3.45E-04	4.007	3.08E-05	2.850	2.19E-03

Ek Çizelge-E (devamı) EN 1992 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R28	8.239	<0.15E-14	9.735	<0.15E-14	6.210	2.69E-10
C305-D0	5.602	1.06E-08	6.552	3.00E-11	4.445	4.41E-06
E2I	8.337	<0.15E-14	9.860	<0.15E-14	6.565	2.74E-11
E3I	10.232	<0.15E-14	12.510	<0.15E-14	7.645	1.14E-14
E4I	10.918	<0.15E-14	13.275	<0.15E-14	8.000	<0.15E-14
E5I	10.592	<0.15E-14	12.875	<0.15E-14	7.795	3.20E-15
C3	6.645	1.60E-11	7.682	8.44E-15	5.105	1.66E-07
R3	6.885	3.00E-12	7.993	<0.15E-14	5.271	7.00E-08
J3	7.348	1.08E-13	8.587	<0.15E-14	5.570	1.32E-08
C4	6.447	6.01E-11	7.460	4.64E-14	4.952	3.68E-07
O3	11.456	<0.15E-14	14.209	<0.15E-14	8.083	<0.15E-14
Z3	11.902	<0.15E-14	15.061	<0.15E-14	8.343	<0.15E-14
Y3	8.897	<0.15E-14	10.813	<0.15E-14	6.716	9.59E-12
O4	6.951	1.93E-12	8.108	<0.15E-14	5.225	8.92E-08
Z4	10.174	<0.15E-14	12.606	<0.15E-14	7.262	2.04E-13
O5	6.038	8.13E-10	6.932	2.18E-12	4.720	1.19E-06
B50-3-3	3.252	5.73E-04	3.613	1.51E-04	2.800	2.55E-03
B50-7-3	3.477	2.54E-04	3.700	1.08E-04	3.124	8.92E-04
B100-3-3	3.195	6.99E-04	3.473	2.57E-04	2.820	2.40E-03
B150-3-3	7.933	<0.15E-14	9.371	<0.15E-14	5.850	2.57E-09
B100-7-3	4.673	<0.15E-14	5.010	2.75E-07	4.130	1.82E-05
B150-7-3	4.641	1.74E-06	4.987	3.09E-07	4.089	2.18E-05
ST6	5.972	1.22E-09	6.400	7.77E-11	5.175	1.17E-07
ST18	10.985	<0.15E-14	12.498	<0.15E-14	8.402	<0.15E-14
Ortalama		<3.43E-05	Ortalama	<9.90E-06	Ortalama	<1.51E-04

Ek Çizelge-F ENV 1992 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	87.850	<0.15E-14	79.578	<0.15E-14	112.508	<0.15E-14
A-2	88.602	<0.15E-14	80.940	<0.15E-14	118.761	<0.15E-14
B-1	85.613	<0.15E-14	67.839	<0.15E-14	82.589	<0.15E-14
B-2	83.869	<0.15E-14	63.984	<0.15E-14	75.583	<0.15E-14
C-1	81.139	<0.15E-14	68.224	<0.15E-14	84.659	<0.15E-14
C-2	82.209	<0.15E-14	70.068	<0.15E-14	88.123	<0.15E-14
CRB-1	80.486	<0.15E-14	68.480	<0.15E-14	81.783	<0.15E-14
1WCRA-1	86.011	<0.15E-14	78.123	<0.15E-14	102.103	<0.15E-14
1WCRB-1	83.628	<0.15E-14	73.743	<0.15E-14	92.227	<0.15E-14
1WCRC-1	78.259	<0.15E-14	66.167	<0.15E-14	74.434	<0.15E-14
1WCA-1	86.204	<0.15E-14	78.400	<0.15E-14	104.035	<0.15E-14
1WCB-1	83.254	<0.15E-14	72.994	<0.15E-14	91.154	<0.15E-14
1WCC-1	77.669	<0.15E-14	62.525	<0.15E-14	72.997	<0.15E-14
2WCA-1	87.581	<0.15E-14	79.196	<0.15E-14	110.768	<0.15E-14
29a-2	85.249	<0.15E-14	75.224	<0.15E-14	99.831	<0.15E-14
29f-2	86.500	<0.15E-14	77.311	<0.15E-14	105.281	<0.15E-14
R8	81.428	<0.15E-14	68.721	<0.15E-14	84.291	<0.15E-14
R9	70.318	<0.15E-14	50.905	<0.15E-14	55.662	<0.15E-14
R10	80.318	<0.15E-14	66.876	<0.15E-14	81.156	<0.15E-14
R11	83.654	<0.15E-14	72.503	<0.15E-14	92.277	<0.15E-14
R12	87.786	<0.15E-14	79.508	<0.15E-14	111.451	<0.15E-14
R13	81.285	<0.15E-14	68.500	<0.15E-14	84.061	<0.15E-14
R14	89.435	<0.15E-14	82.343	<0.15E-14	121.410	<0.15E-14
R15	79.875	<0.15E-14	66.178	<0.15E-14	79.231	<0.15E-14
R16	79.875	<0.15E-14	66.178	<0.15E-14	79.231	<0.15E-14
R17	78.670	<0.15E-14	64.186	<0.15E-14	76.131	<0.15E-14
R18	82.609	<0.15E-14	70.746	<0.15E-14	88.894	<0.15E-14
R19	74.389	<0.15E-14	57.237	<0.15E-14	64.553	<0.15E-14
R20	83.735	<0.15E-14	72.667	<0.15E-14	92.996	<0.15E-14
R21	80.789	<0.15E-14	67.708	<0.15E-14	82.268	<0.15E-14
R22	80.318	<0.15E-14	66.892	<0.15E-14	81.109	<0.15E-14
R24	85.281	<0.15E-14	75.237	<0.15E-14	99.639	<0.15E-14
R25	87.153	<0.15E-14	78.466	<0.15E-14	108.631	<0.15E-14
R27	69.409	<0.15E-14	49.555	<0.15E-14	53.941	<0.15E-14

Ek Çizelge-F (devamı) ENV 1992 için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R28	68.331	<0.15E-14	47.898	<0.15E-14	51.826	<0.15E-14
C305-D0	76.854	<0.15E-14	61.671	<0.15E-14	71.286	<0.15E-14
E2I	70.222	<0.15E-14	50.769	<0.15E-14	55.468	<0.15E-14
E3I	70.781	<0.15E-14	51.635	<0.15E-14	56.724	<0.15E-14
E4I	72.669	<0.15E-14	54.546	<0.15E-14	60.513	<0.15E-14
E5I	71.534	<0.15E-14	52.784	<0.15E-14	58.010	<0.15E-14
C3	87.567	<0.15E-14	79.173	<0.15E-14	110.507	<0.15E-14
R3	80.088	<0.15E-14	66.522	<0.15E-14	80.078	<0.15E-14
J3	73.375	<0.15E-14	58.809	<0.15E-14	66.694	<0.15E-14
C4	94.743	<0.15E-14	39.492	<0.15E-14	46.645	<0.15E-14
O3	94.887	<0.15E-14	91.541	<0.15E-14	92.030	<0.15E-14
Z3	90.521	<0.15E-14	84.215	<0.15E-14	129.202	<0.15E-14
Y3	78.843	<0.15E-14	64.469	<0.15E-14	76.220	<0.15E-14
O4	93.430	<0.15E-14	89.098	<0.15E-14	92.004	<0.15E-14
Z4	89.664	<0.15E-14	82.685	<0.15E-14	123489	<0.15E-14
O5	93.034	<0.15E-14	88.469	<0.15E-14	152.071	<0.15E-14
B50-3-3	87.247	<0.15E-14	78.647	<0.15E-14	109.505	<0.15E-14
B50-7-3	89.804	<0.15E-14	83.068	<0.15E-14	124.190	<0.15E-14
B100-3-3	78.948	<0.15E-14	64.669	<0.15E-14	76.898	<0.15E-14
B150-3-3	78.523	<0.15E-14	63.923	<0.15E-14	75.123	<0.15E-14
B100-7-3	83.624	<0.15E-14	72.457	<0.15E-14	92.462	<0.15E-14
B150-7-3	77.732	<0.15E-14	62.661	<0.15E-14	72.987	<0.15E-14
ST6	72.630	<0.15E-14	54.489	<0.15E-14	60.400	<0.15E-14
ST18	80.991	<0.15E-14	68.629	<0.15E-14	84.387	<0.15E-14
Ortalama		<0.15E-14	Ortalama	<0.15E-14	Ortalama	<0.15E-14

Ek Çizelge-G Zsutty's için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

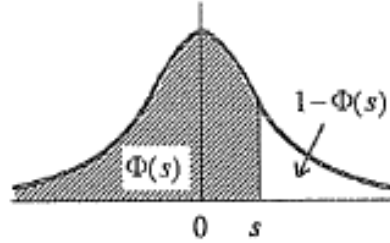
Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
A-1	3.318	4.53E-04	4.028	2.83E-05	3.140	8.45E-04
A-2	4.576	2.39E-06	5.896	1.88E-09	4.157	1.62E-05
B-1	5.203	9.84E-08	6.830	4.44E-12	4.685	1.41E-06
B-2	4.070	2.36E-05	5.173	1.19E-07	3.752	8.74E-05
C-1	5.774	4.01E-09	7.289	1.61E-13	5.255	7.67E-08
C-2	4.506	3.31E-06	5.784	3.74E-09	4.130	1.82E-05
CRB-1	0.159	4.37E-01	0.160	4.36E-01	0.262	3.97E-01
1WCRA-1	1.858	3.16E-02	2.060	1.97E-02	1.870	3.07E-02
1WCRB-1	3.753	8.71E-05	4.694	1.34E-06	3.487	5.15E-04
1WCRC-1	4.050	2.56E-05	4.941	3.91E-07	3.800	7.20E-05
1WCA-1	2.064	1.95E-02	2.326	1.00E-02	2.054	2.00E-02
1WCB-1	2.656	3.95E-03	3.069	1.07E-03	2.563	5.19E-03
1WCC-1	3.333	4.29E-04	4.009	3.11E-05	3.178	7.41E-04
2WCA-1	4.131	1.82E-05	5.096	1.75E-07	3.805	7.05E-05
29a-2	1.991	2.32E-02	3.595	1.62E-04	1.940	2.62E-02
29f-2	3.973	3.54E-05	4.473	3.88E-06	3.753	8.71E-05
R8	3.989	3.31E-05	4.884	5.23E-07	3.745	9.00E-05
R9	3.768	8.26E-05	4.495	3.49E-06	3.665	1.24E-04
R10	4.810	7.58E-07	5.904	1.78E-09	4.484	3.68E-06
R11	5.350	4.56E-08	6.913	2.43E-12	4.825	7.05E-07
R12	7.721	6.16E-15	9.910	<0.15E-14	6.870	3.39E-12
R13	12.262	<0.15E-14	14.252	<0.15E-14	11.792	<0.15E-14
R14	10.093	<0.15E-14	14.415	<0.15E-14	9.215	<0.15E-14
R15	9.680	<0.15E-14	13.197	<0.15E-14	9.161	<0.15E-14
R16	9.664	<0.15E-14	12.938	<0.15E-14	9.160	<0.15E-14
R17	2.555	5.31E-03	3.435	2.97E-04	2.588	4.83E-03
R18	5.320	5.30E-08	6.573	2.59E-11	4.850	6.17E-07
R19	8.895	<0.15E-14	11.859	<0.15E-14	8.152	<0.15E-14
R20	6.433	6.53E-11	7.615	1.38E-14	5.955	1.36E-09
R21	11.558	<0.15E-14	13.992	<0.15E-14	10.556	<0.15E-14
R22	4.088	2.23E-05	4.917	4.42E-07	3.822	6.64E-05
R24	5.273	6.92E-08	6.516	3.70E-11	4.818	7.62E-07
R25	6.440	6.12E-11	8.246	<0.15E-14	5.778	3.90E-09
R27	0.765	2.22E-01	0.844	1.99E-01	0.930	1.76E-01

Ek Çizelge-G (devamı) Zsutty's için güvenilirlik indeksleri ve göçme olasılıkları

Kiriş	Normal çözüm		İterasyonlu çözüm		İterasyonlu (kendi dağılımlarıyla) çözüm	
	β	P_F	β	P_F	β	P_F
R28	8.144	<0.15E-14	10.533	<0.15E-14	7.435	5.54E-14
C305-D0	1.280	1.00E-01	1.520	6.43E-02	1.454	7.30E-02
E2I	4.351	6.78E-06	5.255	7.67E-08	3.822	6.64E-05
E3I	6.619	1.86E-11	8.605	<0.15E-14	6.230	2.42E-10
E4I	7.737	5.52E-15	10.087	<0.15E-14	7.191	3.30E-13
E5I	7.228	2.57E-13	9.331	<0.15E-14	6.533	3.37E-11
C3	5.931	1.60E-09	7.591	1.65E-14	5.325	5.18E-08
R3	5.800	3.32E-09	7.341	1.13E-13	5.290	6.21E-08
J3	6.076	6.40E-10	7.713	6.48E-15	5.617	9.91E-09
C4	8.141	<0.15E-14	11.280	<0.15E-14	7.367	9.31E-14
O3	16.290	<0.15E-14	25.503	<0.15E-14	14.615	<0.15E-14
Z3	15.987	<0.15E-14	25.407	<0.15E-14	14.427	<0.15E-14
Y3	10.427	<0.15E-14	15.079	<0.15E-14	10.013	<0.15E-14
O4	11.438	<0.15E-14	16.958	<0.15E-14	10.600	<0.15E-14
Z4	15.908	<0.15E-14	25.185	<0.15E-14	14.625	<0.15E-14
O5	11.732	<0.15E-14	17.450	<0.15E-14	10.921	<0.15E-14
B50-3-3	0.298	3.83E-01	0.305	3.80E-01	0.408	3.42E-01
B50-7-3	1.964	2.48E-02	2.100	1.79E-02	1.930	2.68E-02
B100-3-3	0.066	4.74E-01	0.066	4.74E-01	0.153	4.39E-01
B150-3-3	6.753	7.67E-12	8.817	<0.15E-14	6.118	4.86E-10
B100-7-3	4.369	6.28E-06	4.875	5.48E-07	4.165	1.56E-05
B150-7-3	3.708	1.05E-04	4.117	1.95E-05	3.583	1.70E-04
ST6	1.947	2.58E-02	2.100	1.79E-02	1.945	2.59E-02
ST18	9.772	<0.15E-14	11.942	<0.15E-14	8.603	<0.15E-14
Ortalama		<3.02E-02	Ortalama	<2.79E-02	Ortalama	<2.71E-02

Ek Çizelge-H Standart normal dağılım olasılık değerleri (Gündüz [1])

$$\Phi(s) = \left(1/\sqrt{2\pi}\right) \int_{-\infty}^s \exp(-s^2/2) ds$$



s	$\Phi(s)$	s	$\Phi(s)$	s	$\Phi(s)$	s	$\Phi(s)$
0.0	0.500000	0.30	0.617912	0.60	0.725747	0.90	0.815940
0.01	0.503989	0.31	0.621720	0.61	0.729069	0.91	0.818589
0.02	0.507978	0.32	0.625517	0.62	0.732371	0.92	0.821214
0.03	0.511966	0.33	0.629301	0.63	0.735653	0.93	0.823815
0.04	0.515954	0.34	0.633072	0.64	0.738914	0.94	0.826391
0.05	0.519939	0.35	0.636831	0.65	0.742154	0.95	0.828944
0.06	0.523922	0.36	0.640576	0.66	0.745374	0.96	0.831473
0.07	0.527904	0.37	0.644309	0.67	0.748572	0.97	0.833977
0.08	0.531882	0.38	0.648027	0.68	0.751748	0.98	0.836457
0.09	0.535857	0.39	0.651732	0.69	0.754903	0.99	0.838913
0.10	0.539828	0.40	0.655422	0.70	0.758036	1.00	0.841345
0.11	0.543796	0.41	0.659097	0.71	0.761148	1.01	0.843752
0.12	0.547759	0.42	0.662757	0.72	0.764238	1.02	0.846136
0.13	0.551717	0.43	0.666402	0.73	0.767305	1.03	0.848495
0.14	0.555671	0.44	0.670032	0.74	0.770350	1.04	0.850830
0.15	0.559618	0.45	0.673645	0.75	0.773373	1.05	0.853141
0.16	0.563560	0.46	0.677242	0.76	0.776373	1.06	0.855428
0.17	0.567494	0.47	0.680823	0.77	0.779350	1.07	0.857690
0.18	0.571423	0.48	0.684387	0.78	0.782305	1.08	0.859929
0.19	0.575345	0.49	0.687933	0.79	0.785236	1.09	0.862143
0.20	0.579260	0.50	0.691463	0.80	0.788145	1.10	0.864334
0.21	0.583166	0.51	0.694975	0.81	0.791030	1.11	0.866500
0.22	0.587064	0.52	0.698468	0.82	0.793892	1.12	0.868643
0.23	0.590954	0.53	0.701944	0.83	0.796731	1.13	0.870762
0.24	0.594835	0.54	0.705401	0.84	0.799546	1.14	0.872857
0.25	0.598706	0.55	0.708840	0.85	0.802337	1.15	0.874928
0.26	0.602568	0.56	0.712260	0.86	0.805105	1.16	0.876976
0.27	0.606420	0.57	0.715661	0.87	0.807850	1.17	0.878999
0.28	0.610262	0.58	0.719043	0.88	0.810570	1.18	0.881000
0.29	0.614092	0.59	0.722405	0.89	0.813267	1.19	0.882977

Ek Çizelge-H (devamı) Standart normal dağılım olasılık değerleri (Gündüz [1])

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
1.20	0.884930	1.65	0.950529	2.10	0.982136	2.55	0.994614
1.21	0.886860	1.66	0.951543	2.11	0.982571	2.56	0.994766
1.22	0.888767	1.67	0.952540	2.12	0.982997	2.57	0.994915
1.23	0.890651	1.68	0.953521	2.13	0.983414	2.58	0.995060
1.24	0.892512	1.69	0.954486	2.14	0.983823	2.59	0.995201
1.25	0.894350	1.70	0.955435	2.15	0.984223	2.60	0.995339
1.26	0.896165	1.71	0.956367	2.16	0.984614	2.61	0.995473
1.27	0.897958	1.72	0.957284	2.17	0.984997	2.62	0.995604
1.28	0.899727	1.73	0.958185	2.18	0.985371	2.63	0.995731
1.29	0.901475	1.74	0.959071	2.19	0.985738	2.64	0.995855
1.30	0.903199	1.75	0.959941	2.20	0.986097	2.65	0.995975
1.31	0.904902	1.76	0.960796	2.21	0.986447	2.66	0.996093
1.32	0.906583	1.77	0.961636	2.22	0.986791	2.67	0.996207
1.33	0.908241	1.78	0.962462	2.23	0.987126	2.68	0.996319
1.34	0.909877	1.79	0.963273	2.24	0.987455	2.69	0.996427
1.35	0.911492	1.80	0.964070	2.25	0.987776	2.70	0.996533
1.36	0.913085	1.81	0.964852	2.26	0.988089	2.71	0.996636
1.37	0.914656	1.82	0.965621	2.27	0.988396	2.72	0.996736
1.38	0.916207	1.83	0.966375	2.28	0.988696	2.73	0.996833
1.39	0.917735	1.84	0.967116	2.29	0.988989	2.74	0.996928
1.40	0.919243	1.85	0.967843	2.30	0.989276	2.75	0.997020
1.41	0.920730	1.86	0.968557	2.31	0.989556	2.76	0.997110
1.42	0.922196	1.87	0.969258	2.32	0.989830	2.77	0.997197
1.43	0.923641	1.88	0.969946	2.33	0.990097	2.78	0.997282
1.44	0.925066	1.89	0.970621	2.34	0.990358	2.79	0.997365
1.45	0.926471	1.90	0.971284	2.35	0.990613	2.80	0.997445
1.46	0.927855	1.91	0.971933	2.36	0.990863	2.81	0.997523
1.47	0.929219	1.92	0.972571	2.37	0.991106	2.82	0.997599
1.48	0.930563	1.93	0.973197	2.38	0.991344	2.83	0.997673
1.49	0.931888	1.94	0.973810	2.39	0.991576	2.84	0.997744
1.50	0.933193	1.95	0.974412	2.40	0.991802	2.85	0.997814
1.51	0.934478	1.96	0.975002	2.41	0.992024	2.86	0.997882
1.52	0.935744	1.97	0.975581	2.42	0.992240	2.87	0.997948
1.53	0.936992	1.98	0.976148	2.43	0.992451	2.88	0.998012
1.54	0.938220	1.99	0.976705	2.44	0.992656	2.89	0.998074
1.55	0.939429	2.00	0.977250	2.45	0.992857	2.90	0.998134
1.56	0.940620	2.01	0.977784	2.46	0.993053	2.91	0.998193
1.57	0.941792	2.02	0.978308	2.47	0.993244	2.92	0.998250
1.58	0.942947	2.03	0.978822	2.48	0.993431	2.93	0.998305
1.59	0.944083	2.04	0.979325	2.49	0.993613	2.94	0.998359
1.60	0.945201	2.05	0.979818	2.50	0.993790	2.95	0.998411
1.61	0.946301	2.06	0.980301	2.51	0.993963	2.96	0.998462
1.62	0.947384	2.07	0.980774	2.52	0.994132	2.97	0.998511
1.63	0.948449	2.08	0.981237	2.53	0.994297	2.98	0.998559
1.64	0.949497	2.09	0.981691	2.54	0.994457	2.99	0.998605

Ek Çizelge-H (devamı) Standart normal dağılım olasılık değerleri (Gündüz [1])

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$1 - \Phi(z)$
3.00	0.998650	3.45	0.999730	3.90	0.999952	6.00	0.986588 E-09
3.01	0.998694	3.46	0.999730	3.91	0.999954	6.10	0.530343 E-09
3.02	0.998736	3.47	0.999740	3.92	0.999956	6.20	0.282316 E-09
3.03	0.998777	3.48	0.999749	3.93	0.999958	6.30	0.148823 E-09
3.04	0.998817	3.49	0.999758	3.94	0.999959	6.40	0.77688 E-10
3.05	0.998856	3.50	0.999767	3.95	0.999961	6.50	0.40160 E-10
3.06	0.998893	3.51	0.999776	3.96	0.999963	6.60	0.20558 E-10
3.07	0.998930	3.52	0.999784	3.97	0.999964	6.70	0.10421 E-10
3.08	0.998965	3.53	0.999792	3.98	0.999966	6.80	0.5231 E-11
3.09	0.998999	3.54	0.999800	3.99	0.999967	6.90	0.260 E-11
3.10	0.999032	3.55	0.999807			7.00	0.128 E-11
3.11	0.999065	3.56	0.999815			7.10	0.624 E-12
3.12	0.999096	3.57	0.999821			7.20	0.301 E-12
3.13	0.999126	3.58	0.999828			7.30	0.144 E-12
3.14	0.999155	3.59	0.999835			7.40	0.68 E-13
				z	$1 - \Phi(z)$		
3.15	0.999184	3.60	0.999841	4.00	0.316712 E-04	7.50	0.32 E-13
3.16	0.999211	3.61	0.999847	4.05	0.256088 E-04	7.60	0.15 E-13
3.17	0.999238	3.62	0.999853	4.10	0.206375 E-04	7.70	0.70 E-14
3.18	0.999264	3.63	0.999858	4.15	0.166238 E-04	7.80	0.30 E-14
3.19	0.999289	3.64	0.999864	4.20	0.133458 E-04	7.90	0.15 E-14
3.20	0.999313	3.65	0.999869	4.25	0.106885 E-04		
3.21	0.999336	3.66	0.999874	4.30	0.853906 E-05		
3.22	0.999359	3.67	0.999879	4.35	0.680688 E-05		
3.23	0.999381	3.68	0.999883	4.40	0.541254 E-05		
3.24	0.999402	3.69	0.999888	4.45	0.429351 E-05		
3.25	0.999423	3.70	0.999892	4.50	0.339767 E-05		
3.26	0.999443	3.71	0.999896	4.55	0.268230 E-05		
3.27	0.999462	3.72	0.999900	4.60	0.211245 E-05		
3.28	0.999481	3.73	0.999904	4.65	0.165968 E-05		
3.29	0.999499	3.74	0.999908	4.70	0.130081 E-05		
3.30	0.999516	3.75	0.999912	4.75	0.101708 E-05		
3.31	0.999533	3.76	0.999915	4.80	0.793328 E-06		
3.32	0.999550	3.77	0.999918	4.85	0.617307 E-06		
3.33	0.999566	3.78	0.999922	4.90	0.479183 E-06		
3.34	0.999581	3.79	0.999925	4.95	0.371067 E-06		
3.35	0.999596	3.80	0.999928	5.00	0.286652 E-06		
3.36	0.999610	3.81	0.999931	5.10	0.169827 E-06		
3.37	0.999624	3.82	0.999933	5.20	0.996443 E-07		
3.38	0.999637	3.83	0.999936	5.30	0.579013 E-07		
3.39	0.999650	3.84	0.999938	5.40	0.333204 E-07		
3.40	0.999663	3.85	0.999941	5.50	0.189896 E-07		
3.41	0.999675	3.86	0.999943	5.60	0.107176 E-07		
3.42	0.999687	3.87	0.999946	5.70	0.599037 E-08		
3.43	0.999698	3.88	0.999948	5.80	0.331575 E-08		
3.44	0.999709	3.89	0.999950	5.90	0.181751 E-08		

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : ALİ OSMAN KACEMER
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.08.1987 - İSTANBUL
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : ali_kacemer@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	YAPI	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	-
Lisans	İNŞAAT MÜH.	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	2010
Lise	FEN BİLİMLERİ	NAMIK KEMAL LİSESİ	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	EFE İNŞAAT	Teknik ofis ve saha mühendisliği
2010	MARSEL İNŞAAT	Saha mühendisliği

ÖDÜLLERİ

1. Teşvik Ödülü Prosteel 2009 Çelik Yapı Tasarım Yarışması