

CIVATALI ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNDE CIVATA YERLEŞİM MESAFELERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİNİN MONTE CARLO SİMÜLASYON METODU İLE ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF RELIABILITIES OF BOLT DISTANCES FOR BOLTED STRUCTURAL STEEL CONNECTIONS BY MONTE CARLO SIMULATION METHOD

Ertekin ÖZTEKİN¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye.
ertekinoztekin@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 28.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 30.01.2015
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.29981
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Cıvatalı çelik yapı elemanı birleşimlerinde, cıvatalar arası uzaklıkların ve cıvataların çelik levha kenarına uzaklıklarının tasarımı yönetmeliklerde belirtilen minimum ve maksimum sınırlar temel alınarak yapılmaktadır. Bu çalışmada cıvatalı birleşimlerdeki cıvatalar arası ve cıvataların birleşim levhası kenarlarına olan mesafelerinin güvenilirlikleri araştırılmıştır. Bu amaçla yüklem türü, cıvata türü, birleşim levhası kalınlığı, değişken olarak alınmıştır. Bu parametrelerin tüm kombinasyonları için gerçekleştirilen güvenilirlik analizlerinde Monte Carlo Simülasyon (MCS) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen güvenilirlik indeksi değerleri grafikler ve tablolar halinde sunulmuş ve elde edilen sonuçlar ile bazı yönetmeliklerde önerilen değer aralıkları karşılaştırılarak elde edilen bulgular üzerinde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak geleneksel ve güvenilirlik düzeyi daha yüksek tasarımlar için aynı cıvata aralıklarının kullanımının hatalı olacağı vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Güvenilirlik analizi, Cıvatalı birleşimler, Cıvata mesafeleri, Cıvata yerleşimi, Monte Carlo simülasyonu

Abstract

Design of the distance of bolts to each other and design of the distance of bolts to the edge of connection plates are made based on minimum and maximum boundary values proposed by structural codes. In this study, reliabilities of those distances were investigated. For this purpose, loading types, bolt types and plate thicknesses were taken as variable parameters. Monte Carlo Simulation (MCS) method was used in the reliability computations performed for all combination of those parameters. At the end of study, all reliability index values for all those distances were presented in graphics and tables. Results obtained from this study compared with the values proposed by some structural codes and finally some evaluations were made about those comparisons. Finally, It was emphasized in the end of study that, it would be incorrect of the usage of the same bolt distances in the both traditional designs and the higher reliability level designs.

Keywords: Reliability analysis, Bolted connections, Bolt distances, Bolt placement, Monte Carlo simulation

1 Giriş

Cıvatalı birleşim tasarımlarında cıvatalar arası mesafeler şartnamelerde belirtilen aralıklarda kalmak kaydıyla birleşim geometrisine uygun olarak düzenlenmektedir. Teknik literatürde [1]-[3], cıvatalı birleşimlerdeki cıvata yerleşimi için dört farklı uzunluk tanımlanmaktadır (Şekil 1a). Bu uzunlukların ilk iki tanesi birleşime etkiyen yük ile aynı doğrultuda yerleştirilmiş cıvatalar arasındaki mesafeler (P_1) ile birleşim levhasının ucuna olan uzunluklardır (e_1). Diğer iki tanesi dış yük doğrultusuna dik doğrultuda yerleşimi yapılmış olan cıvatalar arasındaki mesafeler (P_2) ile bu doğrultudaki cıvataların birleşim levhası kenarına olan uzaklıklarıdır (e_2).

Yapı mekaniğinde e_1 uzunluğunun minimum değerlerinin hesabı için birleşim levhalarında Şekil 1b'de gölgeli olarak gösterilen yüzeylerde kayma gerilmesi tahkiki yapılır. P_1 mesafesinin minimum değerinin hesabı için teknik literatürde kesin bir bağıntı verilmemektedir. Ancak bu mesafenin hesabının e_1 'in hesabına benzer şekilde yapılabileceği ve cıvatalardaki gerçek kuvvet dağılımı da dikkate alındığında bu hesaplamaya ile bulunan P_1 mesafesinin e_1 den daha güvenilir olduğu belirtilmektedir [1],[2]. Diğer taraftan cıvata başlıkları veya somunları da dikkate alındığında, P_1 mesafesinin tayini için montaj kolaylığının da göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu nedenle her ne kadar e_1 ve P_1 mesafelerinin minimum uzaklıkları benzer şekilde hesaplanırsa da pratikte minimum P_1 mesafeleri minimum e_1 mesafelerinden genellikle daha büyüktürler ve 1 numaralı denklem ile hesaplanmaktadır.

$$e_1, P_1 \geq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi d_b^2}{4} \tau_b \\ 2 \cdot t \cdot \tau_p \\ d_b \cdot t_{min} \cdot \sigma_c \\ 2 \cdot t \cdot \tau_p \end{array} \right. \quad (1)$$

Bu denklemde τ_b , d_b , t , τ_p , t_{min} ve σ_c sırasıyla cıvata makaslama dayanımı, cıvata çapı, levha kalınlığı, levha kayma dayanımı, minimum levha kalınlığı ve cıvata ezilme dayanımıdır. e_1 ve P_1 'in maksimum değerlerinin belirlenmesinde cıvatalar arasında kalan levha boyunda burkulma durumu dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada TS648 [3]'de 3.2.2.2 başlığı altında verilen yöntem yardımıyla e_1 ve P_1 'in maksimum uzunlukları belirlenmeye çalışılmıştır. e_2 ve P_2 uzunluklarının minimum değerlerinin belirlenmesinde birleşim levhalarının yırtılma durumları dikkate alınır (Şekil 1c). Dış yüke dik doğrultudaki e_2 mesafesinin minimum değeri 2 numaralı bağıntı ile belirlenebilmektedir. P_2 mesafesi ise e_2 'nin hesaplanmasına benzer olarak cıvataların aktardığı kuvvetler levha kesit

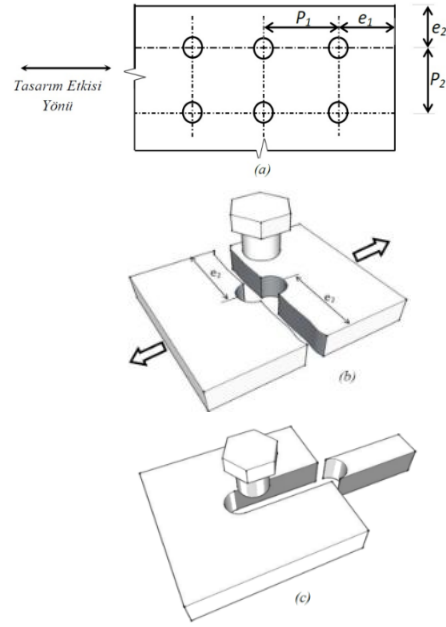
alanlarına paylaştırdığında 3 numaralı denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$e_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{t_{min} \cdot \sigma_p} + d_h \right) \quad (2)$$

$$P_2 = \left(\frac{Q}{t_{min} \cdot \sigma_p} + d_h \right) \quad (3)$$

e_2 ve P_2 mesafelerinin maksimum değerlerinin belirlenmesi için yapı mekaniğinde herhangi bir hesap yoluna veya yöntemine rastlanılmamaktadır. Ancak yapı şartnameleri bu uzunlukların maksimum değerleri için e_1 ve P_1 'in maksimum uzunluklarına eşit değerler önermektedirler. Tablo 1'de minimum ve maksimum e_1 , P_1 , e_2 ve P_2 uzunlukları için bazı yapı şartnameleri tarafından kullanılması önerilen değerler verilmektedir[3]-[9]. Cıvatalı birleşimlerin tasarımında cıvata ve birleşim levhası tahkikleriyle birleşim emniyeti sağlanmaya çalışılırken, cıvata yerleşimi için herhangi bir ek hesap yapılmadan şartnameler tarafından önerilen sınırlar içinde kalan uzunluklar seçilmektedir. Bunun yanında yapı şartnamelerinde, inşa edilecek çelik yapının önem derecesine bakılmaksızın (köprüler hariç) cıvata yerleşimini tanımlayan uzunluklar için aynı değerler önerilmektedirler. Oysa askeri yapılar, hastaneler, fabrikalar, nükleer santraller ve diğer önemli devlet yapıları gibi yapılar sıradan yapılara göre daha emniyetli yani güvenilirlik dereceleri daha yüksek olarak tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Bu durum hem ekonomiklik bakımından hem de emniyet bakımından tasarımlardaki çelişkiyi ve eksikliği göz önüne sermektedir. İlaveten, yapı şartnamelerinin hiçbirinde cıvata yerleşimini

tanımlayan uzunlukların güvenilirlik dereceleri hakkında herhangi bir bilgi sunulmamıştır. Ayrıca teknik literatürde yapısal güvenilirlik ile alakalı olarak birçok güvenilirlik çalışması yapılmış olmasına rağmen, cıvata yerleşimini tanımlayan bu uzunlukların güvenilirliği hakkında belirli bir çalışmaya rastlanılmamıştır.



Şekil 1: Cıvata yerleşimleri. (a): [4], (b): Levha yırtılması, (c): Levhada kayma yüzeyleri.

Tablo 1: Bazı yapı şartnamelerinde cıvata yerleşimini tanımlayan uzunlukların değerleri¹.

Şartname	P_1		e_1			P_2		e_2		
	min.	maks.	min.	maks.		min.	maks.	min.	maks.	
EU-3[4]	$2.2d_h$	$14t$ 200 mm	$1.2d_h$	$40 \text{ mm} + 4t$ $12t$ 150 mm		$2.2d_h$	$14t$ 200 mm	$1.2d_h$	$40 \text{ mm} + 4t$ $12t$ 150 mm	
AISC [5]			d	*mm	**mm			d	*mm	**mm
			16	28	22			16	28	16
			20	34	26			20	34	20
	$2 \frac{2}{3} d_b$	$24t$	22	38	28		$2 \frac{2}{3} d_b$	22	38	22
ve		305 mm (12inç)	24	42	30	$12t$	$24t$	24	42	24
			27	48	34	150 mm (6 inç)	305 mm (12inç)	27	48	27
CAN/CSA SP16-01 [6]	$2.7d_b$		30	52	38		$2.7d_b$	30	52	30
			36	64	46			36	64	36
			>36	$1.75d$	$1.25d$			>36	$1.75d$	$1.25d$
										$12t$ 150 mm (6 inç)
BS 5950-1 [7]	$2.5d_h$	$14t$ 200 mm	$1.25d_h$	$11t\epsilon$	$40 \text{ mm} + 4t$	$2.5d_h$	$14t$ 200 mm	$1.25d_h$	$11t\epsilon$	$40 \text{ mm} + 4t$
TS648[3]	$3d_h$	$8d_h$ $15t$	$2d_h$	$3d_h$	$6t$	$3d_h$	$8d_h$ $15t$	$1.5d_h$	$3d_h$	$6t$
IS 800 [8]	$2.5d_b$	$\#16t$ $\#200 \text{ mm}$ $\#12t$ $\#\#200 \text{ mm}$	$+1.7d$ $\#\#1.5d$	$12t\epsilon$		$2.5d_b$	$\#16t$ $\#200 \text{ mm}$ $\#12t$ $\#\#200 \text{ mm}$	$+1.7d$ $\#\#1.5d$	$12t\epsilon$	
		$12t$ 200 mm					$15t$ 200 mm			
AS 4100 [9]	$2.5d_b$	$NX32t$ $NX300 \text{ mm}$	$\times 1.75d_b$ $\times 21.50d_b$ $\times 31.25d_b$	$12t$ 150 mm		$2.5d_b$	$NX32t$ $NX300 \text{ mm}$	$\times 1.75d_b$ $\times 21.50d_b$ $\times 31.25d_b$	$12t$ 150 mm	
		$NY4t + 100$ $NY200 \text{ mm}$					$NY4t + 100$ $NY200 \text{ mm}$			

¹Tablodaki dip notlar için ilgili şartnameye bakınız.

Bu nedenlerle, bu çalışmada civata yerleşimlerini tanımlayan e_1, P_1, e_2 ve P_2 'ye ait farklı uzunluk değerlerinin güvenilirlikleri araştırılmıştır. Bu amaçla 8 farklı kalınlığa sahip $St 37$ normal yapı çeliği sınıfındaki levhalar ile $4D$ sınıfı kaba ve uygun civatalar kullanılarak oluşturulan 16 farklı civatalı birleşimin Esas Yükleme (EY) ve Esas+İlave Yükleme (EİY) altında güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Güvenilirlik analizlerinde e_1, P_1, e_2 ve P_2 'ye ait uzunluk değerleri değiştirilerek bu uzunluk değerlerinin güvenilirlikleri, levha kalınlığına, civata türüne ve yükleme tipine bağlı olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

2 Güvenilirliğe Dayalı Yapısal Tasarım

Güvenilirliğe dayalı yapısal tasarımlar, yapısal güvenilirlik teorilerinin ve metodlarının gelişmesiyle birlikte son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Özellikle Monte Carlo Simülasyon (MCS) metodunun yapısal güvenilirlik hesaplamalarında bilgisayarlar yardımıyla kullanılmaya başlamasıyla daha yaygınlaşmıştır. Örnek olarak, Huh [10], Huh ve Haldar [11] deprem etkisindeki doğrusal olmayan yapıların güvenilirliklerini belirlemek için, içinde sonlu elemanlar yöntemi (SEY) olan bir algoritma geliştirmişler ve bu algoritmayı MCS metodu ile karşılaştırmışlardır. Lee [12], Lee ve Haldar [13] Çerçeve ve perde duvarlı yapıların statik ve dinamik yükler altındaki güvenilirliklerini araştırmak için SEY'yi kullanarak bir bilgisayar programı yazmışlar, elde ettikleri sonuçları MCS metodunu kullanarak elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Başağa ve Bayraktar [14] kirişlerin güvenilirlik analizlerinde analitik bağıntıları ve SEY'yi karşılaştırmalı olarak kullanarak, SEY'nin güvenilirlik analizi ile birlikte etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Başağa ve diğerleri [15] deprem etkisindeki binaların güvenilirlik analizi için SEY ile MCS metodunu birleştirmişlerdir. Cardoso ve diğerleri [16], MCS metodunu ve genetik algoritmayı birlikte kullanarak güvenilirlik tabanlı optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar gerekli olan çok sayıda sayısal analizi gerçekleştirirken hesaplama süresini azaltmak için yapay sinir ağlarını yapısal güvenilirlik analizlerine dâhil etmişlerdir. Bolandim ve diğerleri [17], korniyer ve U profillerinden oluşan civatalı birleşimlerin net kesitlerindeki kopmanın güvenilirliğini araştırmışlardır. Güvenilirliğe dayalı yapısal tasarım ile alakalı olarak literatürde daha birçok araştırmaya rastlamak mümkündür [18]-[21].

3 Güvenilirlik Analizi ve Monte Carlo Simülasyon Metodu

Yapısal güvenilirlik sınır durum koşullarında göçmenin olasılığının hesaplanması olarak tanımlanmaktadır [22]-[24]. Yapıların sınır durum koşulları, performans fonksiyonu ve 4 numaralı bağıntı yardımıyla oluşturulmaktadır.

$$g(R, Q) = R - Q \quad (4)$$

Bu formüldeki R yük taşıma kapasitesi ve Q dış yük etkisini göstermektedir. Bu bağıntı $g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$ fonksiyonu ile de gösterilebilmektedir. Burada X_1, X_2, \dots, X_N ; R ve Q'nun rastgele dağılım gösteren değişkenleridir. Limit durum arzu edilen yapısal davranış ile meydana gelmesi istenmeyen davranışın arasındaki sınırdır. Başka bir deyişle, sınır durum fonksiyonu sınır durumlarda sıfır değerini almaktadır. Eğer sınır durum fonksiyonunun değeri sıfırdan büyükse yapı emniyetlidir. Bunun aksine sınır durum fonksiyonunun negatif değerlerinde göçme meydana gelmektedir. Sınır durum koşullarına bağlı olarak, bir yapının veya bir yapısal elemanın

göçmesinin olasılığı, (P_f) aşağıdaki 5 numaralı bağıntıyla ifade edilmektedir [22]-[24]. MCS metodunda ise, göçme olasılığının tahmini 6 ve 7 numaralı eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$P_f = P[g(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq 0] \quad (5)$$

$$P_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (6)$$

$$I(X_1, X_2, \dots, X_n) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } g(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq 0 \\ 0 & \text{eğer } g(X_1, X_2, \dots, X_n) > 0 \end{cases} \quad (7)$$

MSC metodunun temel prosedürü, X_1, X_2, \dots, X_n değişkenlerinin bağımsız dizilerinin üretilmesiyle başlar. Bu dizilerin matematiksel olarak rastgele üretiminde değişkenlerin olasılık fonksiyonları temel alınır. Metodun ikinci adımında, sınır durum fonksiyonunun değeri hesaplanır. $I(X_1, X_2, \dots, X_n)$ fonksiyonunun değeri, $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ fonksiyonunun değerine bağlı olarak üçüncü adımda belirlenir. Bu üç adım yeterli (N) sayıda çözüm yapılmaya kadar tekrarlanır. MCS metodunda, çözüm sayısının artmasıyla tahmini yapılan göçme olasılığının doğruluğu ve hassasiyeti artar. Bu yüzden bu metodun kullanımında yeterli (N) sayıda çözümün yapılması çok önemlidir. Yeterli sayıda çözüm sayısının belirlenebilmesi için, Soong and Grigoriu tarafından 8 numaralı eşitlik önerilmiştir [25].

$$N = \frac{1 - P}{V_p^2 \cdot P} \quad (8)$$

Burada, P, teorik olarak doğru olasılık ve V_p , tahmin edilen olasılığın değişim katsayısıdır.

Güvenilirlik indeksi, indirgenmiş değişkenlerin orijini ile bu değişkenlerin sınır durum fonksiyonunda kullanılmasıyla oluşturulan doğru arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanır ve göçme olasılığının ters dönüşümü alınarak 9 numaralı denklem ile hesaplanır.

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (9)$$

Burada, $\Phi(P_f)$ standart normal dağılım fonksiyonudur.

Bu eşitlik ile verilen güvenilirlik indeksi β ile göçme olasılığı P_f arasındaki değişim teknik literatürde Tablo 2 ile sayısal olarak verilmektedir [22]-[24]. Güvenilirlik indeksinin hesabı için birçok farklı hesaplama yöntemi vardır. Bu çalışmada Birinci Derece-İkinci Moment Yöntemi güvenilirlik indeksinin hesabında kullanılmıştır. Bu yöntemle göre β , 10 numaralı bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$\beta = \frac{g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{x_i})^2}} \quad (10)$$

Bu denklemde μ_{x_i} ve σ_{x_i} x değişkenine ait ortalama ve standart sapma ve a_i ise g fonksiyonunun x_i 'ye göre türevidir.

Tablo 2. Güvenilirlik indeksi ve Göçme olasılığı ilişkisi [22]-[24].

β	1.28	2.33	3.09	3.71	4.26	4.75	5.19	5.62	5.99
P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}

4 Değişken Parametrelerin Belirlenmesi

Bu çalışmada e_1, P_1, e_2 ve P_2 uzunluklarının güvenilirliklerinin

belirlenmesinde birleşime etkiyen yükün tayini için üç farklı yük hesaplanmıştır. Bunlardan ilki birleşimi oluşturan cıvataların makaslama maruz kalmadan taşıyabileceği yüküdür (Q_{bs}). İkincisi delik cidarında ezilme meydana gelmeden birleşimin taşıyabileceği yüküdür (Q_{bc}). Son olarak birleşimdeki levhaların emniyetle taşıyabileceği yüküdür (Q_p). Bu üç ayrı yük her bir güvenilirlik hesabında 11, 12 ve 13 numaralı denklemler ile hesaplanmış ve bunların en küçüğü 14 numaralı denklem ile belirlenerek cıvatalı birleşime dış yük olarak etki ettirilmiştir (Q_{ext}). Birleşime EY ve EIY yükleri ayrı ayrı etki ettirilirken yük hesaplamaları için aynı formüller kullanılmıştır. Ancak formüllerdeki cıvata ve levhalara ait dayanımlar bu iki ayrı yüklemeye için farklı olarak alınmıştır.

$$Q_p = (2e_2 + (n_r - 1)P_2 - n_r \cdot d_h)\sigma_p \quad (11)$$

$$Q_{bs} = n_r \cdot b_n \cdot \frac{\pi d_b^2}{4} \tau_b \quad (12)$$

$$Q_{bc} = n_r \cdot b_n \cdot d_h \cdot t_{min} \cdot \sigma_c \quad (13)$$

$$Q_{ext} = \min(Q_p; Q_{bs}; Q_{bc}) \quad (14)$$

Burada, n_r ; cıvata sıra sayısı, b_n ; bir sıradaki cıvata sayısıdır. Cıvatalı birleşimlerde cıvata çapının belirlenmesinde 15 numaralı bağıntı ile verilen formül kullanılmıştır.

$$d_b = \sqrt{5 \cdot t_{min}} - 0.2 \quad (15)$$

Buna göre minimum levha kalınlıkları $t_{min} = 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30$ için sırasıyla M12, M14, M16, M20, M24, M30, M33, M36 metrik cıvatalar kullanılmıştır. Delik çapları

cıvata çaplarına bağlı olarak kaba cıvatalı birleşimlerde cıvata çapının 1 mm fazlası olacak şekilde, uygun cıvatalı birleşimlerde ise cıvata çapına eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Cıvatalı birleşimlerde St 37 çelik levha, 4D sınıfı cıvatalar kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca e_1 , P_1 , e_2 ve P_2 mesafeleri, levha çeliklerinin kayma, çekme, akma dayanımları, çelik elastisite modülü, cıvataların kayma ve ezilme dayanımları değişken olarak alınmıştır. Yük ve taşıma gücü hesaplamalarında malzeme dayanımları yüklemeye çeşidine göre değiştiğinden dolayı EY ve EIY yüklemeleri de bu çalışma için birer değişken olarak alınmıştır. Levha basınç emniyet gerilmesi direkt değişken olarak alınmamıştır. Çünkü levha basınç emniyet gerilmesi bu çalışmada yukarıda verilen ve değişken olarak kabul edilen parametreler kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 3'te bu çalışmada değişken olarak dikkate alınan parametreler hakkında bazı istatistiksel bilgiler verilmektedir.

5 Limit Durum Fonksiyonları

Güvenli durum ile güvensiz durum arasındaki sınırı ifade eden ve göçme riskinin hesabında kullanılan limit durum fonksiyonları e_1 , P_1 , e_2 ve P_2 uzunlukları için aşağıda sırasıyla 16, 17, 18 ve 19 numaralı eşitliklerde verilmiştir.

$$Q_{ext} \leq Q_{e1} \leq Q_{be1} \quad (16)$$

$$Q_{ext} \leq Q_{p1} \leq Q_{bp1} \quad (17)$$

$$Q_{ext} \leq Q_{e2} \quad (18)$$

$$Q_{ext} \leq Q_{p2} \quad (19)$$

Tablo 3: Güvenilirlik Hesaplarında kullanılan değişkenler ve bu değişkenlere ait istatistiksel dağılımlar.

Simge	Tanım	Ortalama	İstatistiksel Dağılım	Değişim Katsayısı
t_{min}	Minimum Levha Kalınlığı (mm)	4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30	Log-Normal	0.05
d_h	Delik Çapı (mm)	13, 14, 17, 21, 27, 31, 34, 37	Log-Normal	0.05
e_1	Levha ucuna uzaklık	i. d_h (i = 1,1.1,1.2, ..., 10)	Gauss	0.05
e_2	Levha kenarına uzaklık	i. d_h (i = 1,1.1,1.2, ..., 10)	Gauss	0.05
P_1	Yük doğrultusunda yerleştirilmiş cıvatalar arasındaki uzaklık	i. d_h (i = 1,1.1,1.2, ..., 10)	Gauss	0.05
P_2	Yüke dik yönde yerleştirilmiş cıvatalar arasındaki uzaklık	i. d_h (i = 1,1.1,1.2, ..., 10)	Gauss	0.05
τ_p	Levhaların kayma dayanımı	82 MPa (St 37, EY yüklemesi) 94.3 MPa (St 37, EIY yüklemesi)	Gauss	0.08
σ_p	Levhaların Çekme Dayanımı	141 MPa (St 37, EY yüklemesi) 162.5 MPa (St 37, EIY yüklemesi)	Gauss	0.08
Q_H	EY yüklemesindeki dış yük	Her bir birleşim için 24 Numaralı formül ile hesaplanmıştır	Log-Normal	0.25
Q_{HZ}	EIY yüklemesindeki dış yük	Her bir birleşim için 24 Numaralı formül ile hesaplanmıştır	Log-Normal	0.35
σ_a	Levhanın akma dayanımı	240 MPa, St 37	Gauss	0.08
E	Elastisite modülü (GPa)	210 MPa	Gauss	0.06
τ_b	Cıvataların Kayma Dayanımı	110 MPa (4D Kaba Cıvata, EY yüklemesi) 124 MPa (4D Kaba Cıvata, EIY yüklemesi) 137 MPa (4D Uygun Cıvata, EY yüklemesi) 157 MPa (4D Uygun Cıvata, EIY yüklemesi)	Gauss	0.08
σ_b	Ezilme dayanımı (MPa)	235 MPa (St 37, 4D Kaba Cıvata, EY yüklemesi) 265 MPa (St 37, 4D Kaba Cıvata, EIY yüklemesi) 280 MPa (St 37, 4D Uygun Cıvata, EY yüklemesi) 320 MPa (St 37, 4D Uygun Cıvata, EIY yüklemesi)	Gauss	0.08

Birleşimin güvenilirliği için, seçilen e_1 mesafesi için hesaplanan ve emniyetle taşınabilecek olan Q_{e1} yükünün birleşime etkiden dış yükten (Q_{ext}) büyük ve e_1 uzunluğunda burkulma meydana gelmeden taşınabilecek olan yükten (Q_{be1}) küçük olması gerekmektedir. Bu durum 16 numaralı eşitlikte matematiksel olarak verilmiştir. Bu eşitlikteki Q_{ext} , Q_{e1} ve Q_{be1} sırasıyla 14, 20 ve 21 numaralı bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$Q_{e1} = 2 \left(e_1 - \frac{d_d}{2} \right) \cdot \tau_p \cdot t_{min} \quad (20)$$

$$Q_{be1} = \sigma_{be1} \left((2e_2 + (n_r - 1)P_2) t_{min} \right) \quad (21)$$

Burada, σ_{be1} basınç emniyet gerilmesidir. Seçilen P_1 uzunluğuna ait sınır durum yukarıda 17 numaralı bağıntıda verildiği gibi oluşturulmuştur. Burada, Q_{p1} ve Q_{bp1} değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$Q_{p1} = 2 (P_1 - d_d) \cdot \tau_p \cdot t_{min} \quad (22)$$

$$Q_{bp1} = \sigma_{bp1} \left((2e_2 + (n_r - 1)P_2) t_{min} \right) \quad (23)$$

Güvenilirlik analizleri esnasında seçilen herhangi bir e_2 ve P_2 mesafeleri için sınır durum fonksiyonu 18 ve 19 numaralı bağıntılar ile ifade edilmiştir. Bu bağıntılardaki $Q_{dış}$ dış yükü 14 numaralı bağıntı ile hesaplanabilirken, Q_{e2} ve Q_{p2} yükleri aşağıda 24 ve 25 numaralı denklemlerde verildiği gibi belirlenmiştir.

$$Q_{e2} = (2e_2 - d_h) \cdot \sigma_p \cdot t_{min} \quad (24)$$

$$Q_{p2} = (P_2 - d_h) \cdot \sigma_p \cdot t_{min} \quad (25)$$

6 Güvenilirlik Hesaplamaları

Bu çalışmada, cıvata yerleşimini tanımlayan e_1 , P_1 , e_2 ve P_2 'nin güvenilirliklerinin belirlenmesi için Visual Basic programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program kullanılarak oluşturulan her bir cıvatalı birleşim modeli için 106 adet örnek çözümü yaptırılmıştır. Her bir örnek için rastgele üretilen değerlerin ortalamaları, standart sapmaları ve değişim katsayıları yeniden hesaplanmış ve bu bilgiler ışığında her bir örnek için başarısızlık olasılıkları ve güvenilirlik indeksleri belirlenmiştir. Program kodunun içerisine başarısızlık olasılığının hesabı için MCS metodu, güvenilirlik indeksinin hesabı için ise "Birinci Derece-İkinci Moment" Yöntemi kodlanmıştır. Bilgisayar programında farklı e_1 , P_1 , e_2 ve P_2 ve in değerleri için farklı cıvatalı modeller; cıvata türü, levha kalınlığı ve yükleme türü parametrelerinin tüm uygulanabilir kombinasyonları için oluşturulmuştur. Örneğin $e_1 = 1. d_h$ değeri için bir cıvatalı birleşim modeli oluşturulup modelin risk ve güvenilirlik indeksleri hesaplanmıştır. Daha sonra $e_1 = i. d_h$ ($i = 1.2, 1.4, \dots$) değerleri için oluşturulan diğer cıvatalı birleşim modellerinin risk ve güvenilirlik indeksleri hesaplanmıştır. Tüm modelleme ve hesaplama süreci negatif güvenilirlik indeks değeri hesaplanıncaya kadar devam ettirilmiştir. Aynı işlemler e_2 , P_1 ve P_2 için gerçekleştirilmiştir. Farklı e_1 uzunluklarının güvenilirliğini EY ve EYY yüklemeleri altında belirlemek için toplamda 1133 adet cıvatalı birleşim modeli analiz edilmiştir. Benzer şekilde aynı yükleme ve aynı tür cıvatalı birleşimler için 672, 2347 ve 1472 adet farklı cıvatalı birleşim modeli sırasıyla e_2 , P_1 ve P_2 'nin farklı uzunlukları için oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Toplamda 5.624x109 adet cıvatalı birleşim modeli çözümü bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. 5624 adet güvenilirlik analizi,

Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünün bilgisayar laboratuvarında özellikleri 2 GB RAM ve Intel Core i3 2.93 GHz olan 30 özdüş bilgisayar yardımıyla yaklaşık olarak 13 saat, 31 dakika ve 2 saniye de gerçekleştirilmiştir.

7 Bulgular ve İrdeleme

Bu çalışmada, risk ve güvenilirlik indeksi hesaplamalarının her ikisi gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, anlaşılır ve kolay sunum için sadece güvenilirlik indeksi değerleri grafik olarak verilmektedir. Yine de güvenilirlik indeksi değerlerine karşılık gelen risk değerleri hakkında yaklaşık bir fikir için Tablo 2 ile verilen dönüşüm kullanılabilir.

EY ve EYY yüklemelerine maruz kaba ve uygun cıvatalarla teşkil edilmiş birleşimlerde, farklı e_1 mesafeleri için hesaplanan güvenilirlik indeksi değerleri Şekil 2'de verilmektedir. Benzer grafikler P_1 için Şekil 3'te verilmektedir. Bu şekillerden de görülebileceği gibi farklı e_1 ve P_1 uzunluklarına bağlı olarak hesaplanan güvenilirlik indeksi grafikleri iki kısımdan oluşmaktadır. Grafiklerin ilk kısmında artan e_1 ve P_1 uzunluklarıyla güvenilirlik indeksi değerleri de artmaktadır. Grafiklerin ikinci kısmında ise ters bir ilişki görülmektedir. Güvenilirlik indeksinin maksimum değerinden sonra e_1 ve P_1 uzunluklarının güvenilirlikleri birleşim levhasındaki artan burkulma riskiyle birlikte azalma göstermiştir. $\beta - e_1$ ve $\beta - P_1$ grafiklerinin ilk kısmında hemen hemen doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Bu ilişki genel olarak grafiklerin ikinci kısmında doğrusal değildir.

EY yüklemesine maruz birleşimlerde farklı e_1 uzunlukları için hesaplanan güvenilirlik indeksi değerleri EYY yüklemelerine maruz birleşimlerdekinden daha büyük elde edilmiştir. Kaba cıvatalı olarak teşkil edilmiş birleşimlerde güvenilirlik değerleri uygun cıvatalı olarak teşkil edilmiş birleşimlerdekinden daha büyük olarak hesaplanmıştır. Bu duruma, uygun cıvatalı birleşimler için hesaplanan tasarım yükünün daha fazla olması neden olmuştur.

e_1 ve P_1 'e ait güvenilirlik eğrilerinin alt sınırları artan levha kalınlığına bağlı olarak çok az bir miktarda küçülürken, üst sınırları ise artmıştır. Başka bir deyişle levha kalınlığının artmasıyla e_1 ve P_1 uzunluklarının güvenilirlik aralıkları artmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3). Bu şekillerden, e_1 ve P_1 uzunluklarının eşit güvenilirlik aralıkları için aynı değerlerin kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Eurocode 3 hariç diğer yönetmelikler tarafından P_1 mesafeleri için önerilen minimum sınır değer genel olarak bu çalışmada ele alınan tüm birleşimler için uygun görülmektedir. Eurocode 3'te önerilen değerlerin $\beta = 3$ güvenilirlik seviyesine kadar emniyetli olduğu, $\beta = 3$ güvenilirlik seviyesinden daha yüksek güvenilirlik dereceleri için ise bu değerlerin kullanımının doğru olmayacağı da açıkça ortaya çıkmıştır. Şekil 3'te yönetmeliklerde önerilen maksimum P_1 sınırlarının kullanılabilir olduğu ancak $\beta = 4$ ve $\beta = 5$ gibi yüksek güvenilirlik seviyeleri için ve EYY yüklemesinde kullanılamayacağı ortaya çıkmıştır.

Cıvata türüne, levha kalınlığına güvenilirlik düzeyine ve yükleme çeşidine bağlı olarak e_1 mesafesinin minimum değeri için $1.2d_h$ ile $2.4d_h$ arasında farklı değerler elde edilmiştir. Bu durumda e_1 mesafesinin minimum değeri için önerilen uzunlukların EU-3 [4], AISC [5], CAN/CSA-SP16-01 [6], BS5950-1 [7], TS648 [3], IS 800 [8], AS 4100 [9] yönetmeliklerinde revize edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Çünkü bu yönetmeliklerde e_1 için minimum değerler $1.2d_h$ ile $2d_h$ arasındadır. Öte yandan bu durum, bu çalışma ile ortaya koyulan minimum e_1 uzunluğunun güvenilirlik düzeyine ve yükleme çeşidine bağlı

olarak $2.4d_h$ olması gerektiği civatalı çelik yapı birleşimleri için bir risk oluşturmaktadır.

Güvenilirlik hesaplamalarında e_2 ve P_2 mesafeleri için kullanılacak en küçük uzunluk değerlerinin güvenilirlik indeksi değerleri de belirlenmiştir (Şekil 4, Şekil 5). Bu mesafeler için kullanılacak en büyük uzunluklar ve bu uzunlukların güvenilirlik değerleri teknik literatürde herhangi bir yöntem ve eşitlik mevcut olmadığından hesaplanamamıştır. Başka bir deyişle Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen grafikler e_2 ve P_2 mesafelerinin minimum değerleri için geçerlidir.

Bu grafiklerde e_2 ve P_2 mesafelerinin değerleri ve levha kalınlığı arttıkça bu mesafelerin güvenilirliklerinin de arttığı görülmektedir. Farklı civata türü ve farklı yüklemeler için e_2 mesafelerinin güvenilirlik indeksi değerlerinde önemli bir farklılık elde edilmemiştir.

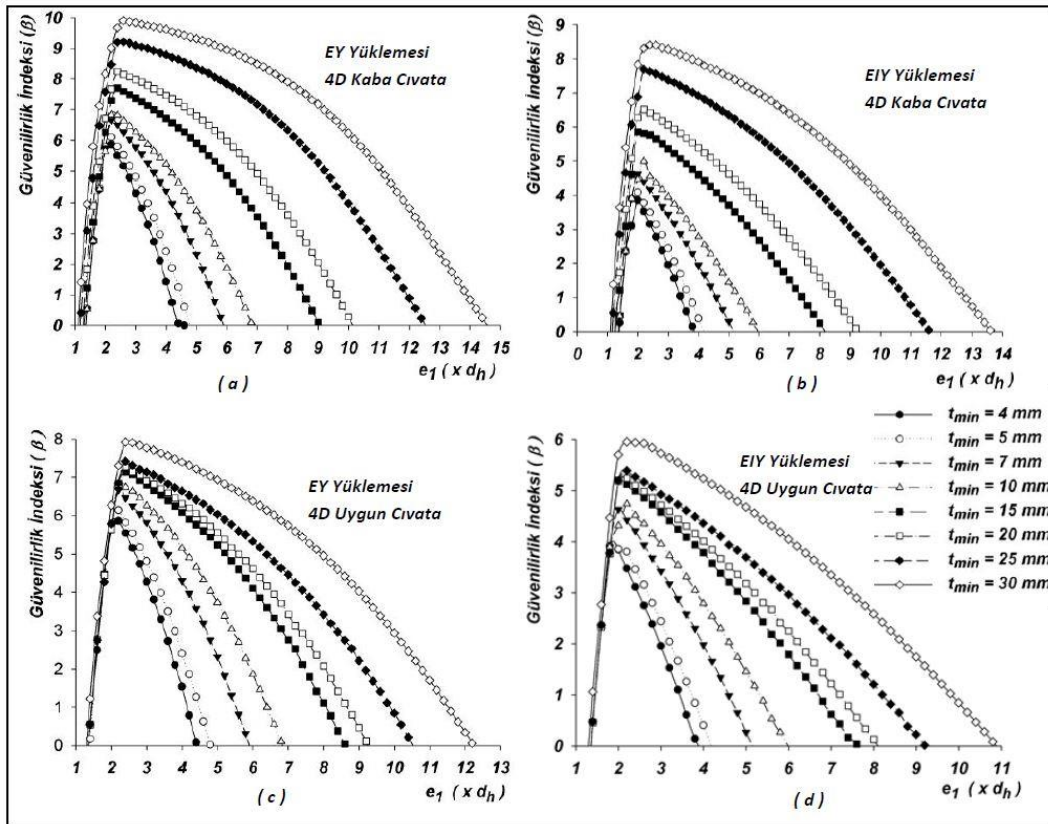
Kaba civatalı birleşimlerde levha kalınlıkları değişmesine rağmen P_2 mesafelerine ait güvenilirliklerde aşırı bir değişim olmamıştır. Uygun civatalı birleşimlerde P_2 mesafelerinin güvenilirlikleri levha kalınlığına bağlı olarak değişim göstermemiştir. EY ve EYI yüklemeleri için güvenilirlik indeksi değerlerinde ihmal edilebilecek büyüklükte farklılık vardır.

Yönetmeliklerde P_2 mesafeleri için önerilen sınır değerler ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında $\beta = 3$ güvenilirlik seviyesine kadar yönetmeliklerde önerilen değerlerin emniyetle kullanılacağı ortaya çıkmıştır. Ancak BS5590-1, IS800, AS400 şartnamelerince $2.5d_b$ olarak önerilen değerler $\beta = 4$ ve $\beta = 5$ güvenilirlik seviyeleri için yeterli değildir. AISC Amerikan ve CAN/CSA SP16-01 Kanada yönetmelikleri tarafından önerilen P_2 uzunlukları ise $\beta = 5$

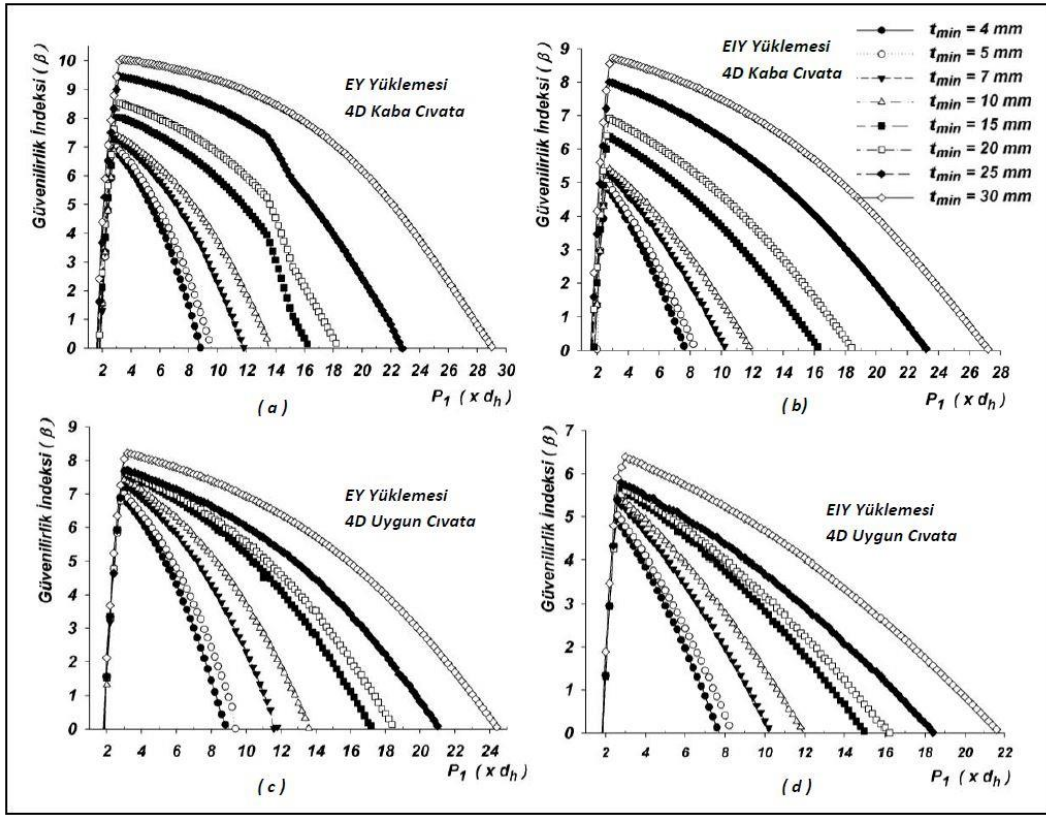
güvenilirlik düzeyi için yeterli değildir. P_2 uzunluğu için Eurocode 3 ve TS 648 tarafından önerilen değerler $\beta \leq 5$ güvenilirlik düzeyi için bu çalışmada dikkate alınan tüm civatalı birleşimlerde emniyetli bir biçimde kullanılabilirler.

Yapı yönetmeliklerinde e_2 için önerilen değer aralıklarının kullanımı ince kalınlığa sahip levhalar ile oluşturulmuş birleşimlerde dikkat gerektirmektedir. Çünkü bu çalışmada ele alınan tüm değişkenlerin sabit kalması durumunda levha kalınlığı azalırken aynı güvenilirlik düzeyini yakalamak için e_2 'nin artırılması gerektiği yapılan analizler sonucu elde edilen grafiklerden anlaşılmaktadır.

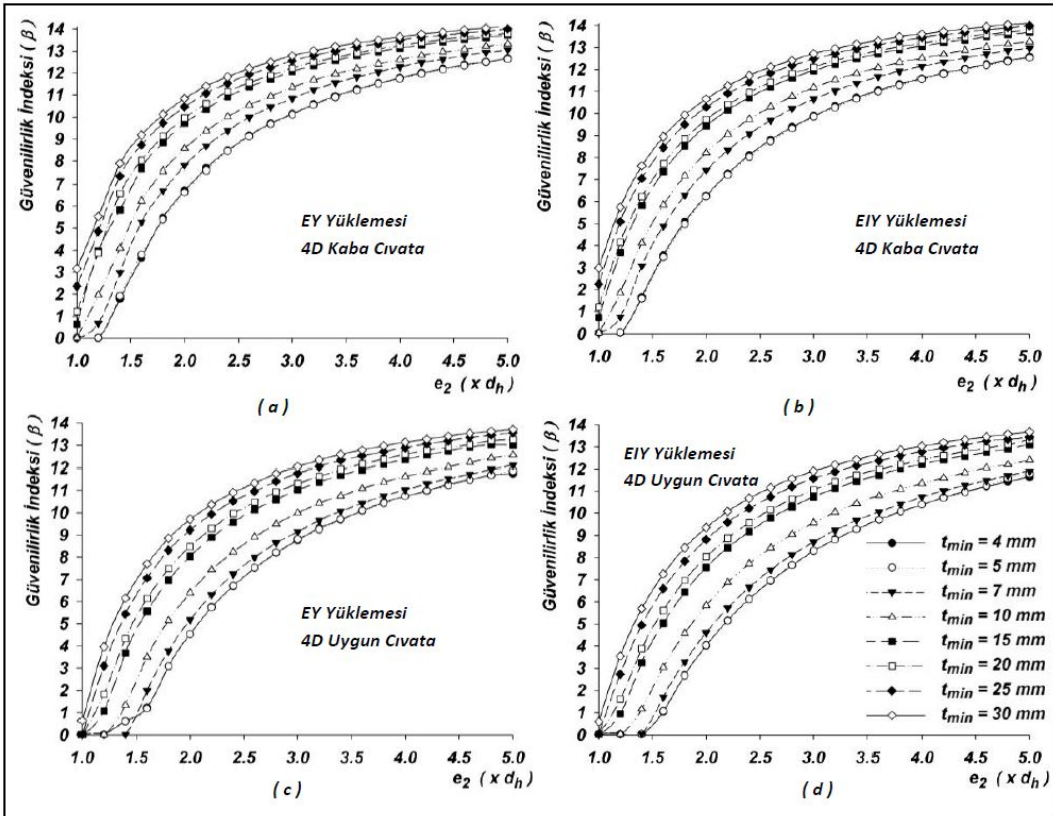
P_2 ve e_2 mesafelerinin maksimum değerleri için bu çalışmada bir sınır değer hesaplanmamıştır. Ancak teknik literatürde olduğu gibi, bu çalışmada P_1 ve e_1 için elde edilen maksimum mesafe değerleri, P_2 ve e_2 'nin maksimum mesafe değerleri için kullanılmıştır. e_1 , P_1 , e_2 ve P_2 mesafelerinin minimum ve maksimum güven aralıkları $\beta = 1$, $\beta = 2$, $\beta = 3$, $\beta = 4$ ve $\beta = 5$ için EY ve EYI yüklemelerine, levha kalınlıklarına ve civata türüne bağlı olarak Tablo 4'te verilmektedir. Bu tabloda arzu edilen herhangi bir β güvenilirlik düzeyleri için civatalı birleşimlerin tasarımında kullanılabilirler. Bu tablo da verilmeyen bazı değerler 15 numaralı denklem yardımıyla belirlenen civata çapları için elde edilememiştir. Bu değerlerin daha küçük çaplı civata kullanılarak oluşturulmuş birleşimler için elde edilmesi olasıdır. Tabloda verilen değerler farklı kalınlık ve farklı civata çapı ile oluşturulmuş birleşimler için kullanılamazlar. Ayrıca bu tablo üzerinde doğrusal enterpolasyon yapılması uygun değildir. Bunun yerine Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'in kullanımı çok daha doğru olacaktır.



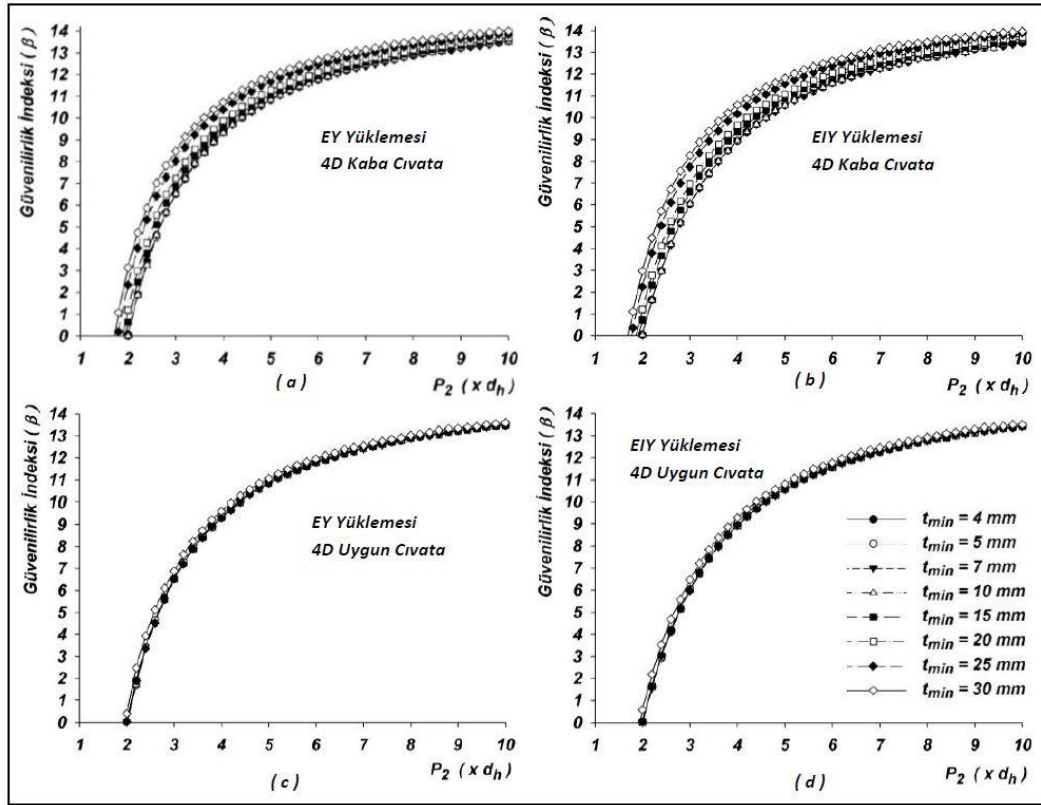
Şekil 2: Farklı e_1 mesafeleri için güvenilirlik indeksi değerleri.



Şekil 3: Farklı P_1 mesafeleri için güvenilirlik indeksi değerleri.



Şekil 4: Farklı e_2 mesafeleri için güvenilirlik indeksi değerleri.



Şekil 5: Farklı P_2 mesafeleri için güvenilirlik indeksi değerler.

Tablo 4: $\beta = 1, 2, 3, 4$ ve $\beta = 5$ değerlerine karşılık gelen minimum ve maksimum e_1, P_1, e_2 ve P_2 uzunlukları.

	t (mm)	$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$		$\beta = 4$		$\beta = 5$		
		min.	maks.	min.	maks.	min.	max.	min.	maks.	min.	maks.	
$P_1(x d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas Yükleme	4	1.95	8.27	2.05	7.67	2.16	7.01	2.29	6.25	2.43	5.31
		5	1.95	8.97	2.05	8.29	2.18	7.65	2.3	6.76	2.44	5.74
		7	1.97	11.1	2.07	10.25	2.17	9.34	2.29	8.37	2.44	7.21
		10	1.95	12.81	2.05	11.83	2.16	10.83	2.29	9.66	2.44	8.26
		15	1.91	15.28	1.99	14.66	2.10	14.05	2.22	13.32	2.37	11.72
		20	1.85	17.29	1.94	16.17	2.04	15.09	2.16	14.39	2.30	13.61
		25	1.75	21.78	1.84	20.57	1.93	19.31	2.04	18.00	2.17	16.55
	30	1.69	27.76	1.77	26.43	1.86	25.08	1.96	23.67	2.08	22.16	
	Esas+İlave Yükleme	4	1.97	6.91	2.08	5.94	2.08	4.94	2.41	3.80	-	-
		5	2.07	7.45	2.13	6.48	2.13	5.39	2.35	4.10	2.59	2.59
		7	1.96	9.19	2.08	7.93	2.08	6.62	2.35	5.12	2.54	3.28
		10	1.96	10.64	2.08	9.21	2.08	7.68	2.36	5.89	2.65	3.81
		15	1.89	15.03	2.00	13.38	2.12	11.58	2.26	9.37	2.41	7.00
		20	1.79	17.15	1.92	15.49	2.07	13.66	2.19	11.63	2.35	9.11
25		1.75	21.83	1.84	20.12	1.95	18.28	2.07	16.31	2.20	14.02	
$P_1(x d_h)$ 4D Uygun Cıvata	Esas Yükleme	4	1.95	8.26	2.05	7.67	2.16	7.01	2.29	6.24	2.44	5.32
		5	1.95	8.96	2.05	8.30	2.16	7.64	2.29	6.74	2.44	5.76
		7	1.95	12.93	2.06	10.28	2.18	9.36	2.30	8.39	2.44	7.22
		10	1.97	13.01	2.07	12.07	2.17	10.81	2.29	9.66	2.44	8.25
		15	1.96	16.34	2.05	15.19	2.16	13.86	2.29	12.37	2.44	10.48
	Esas Yükleme	20	1.95	17.61	2.05	16.22	2.16	14.86	2.29	13.31	2.44	12.75
		25	1.95	19.94	2.05	18.50	2.16	16.97	2.30	15.15	2.46	12.92
		30	1.90	23.24	1.99	21.71	2.11	20.07	2.24	18.21	2.37	16.04

Tablo 4: $\beta = 1, 2, 3, 4$ ve $\beta = 5$ değerlerine karşılık gelen minimum ve maksimum e_1, P_1, e_2 ve P_2 uzunlukları. (devamı)

	t (mm)	$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$		$\beta = 4$		$\beta = 5$		
		min.	maks.	min.	maks.	min.	max	min.	maks.	min.	maks.	
$P_1(\times d_h)$ 4D Uygun Cıvata	Esas+İlave Yükleme	4	1.97	6.88	2.08	5.93	2.21	4.97	2.36	3.81	-	-
		5	1.97	7.43	2.08	6.45	2.21	5.35	2.36	4.14	2.59	2.59
		7	1.96	9.21	2.08	7.99	2.21	6.64	2.35	5.09	2.53	3.26
		10	1.96	10.63	2.08	9.20	2.21	7.69	2.35	5.92	2.52	3.79
		15	1.97	13.4	2.08	11.62	2.21	9.77	2.35	7.80	2.53	4.82
		20	1.96	14.38	2.08	12.53	2.21	10.54	2.36	8.07	2.53	5.19
		25	1.96	16.42	2.08	14.23	2.21	11.85	2.35	9.20	2.53	5.86
	30	1.91	19.66	2.01	17.41	2.14	14.94	2.28	12.15	2.44	8.86	
	Esas Yükleme	4	1.44	4.13	1.53	3.83	1.63	3.51	1.75	3.12	1.88	2.69
		5	1.44	4.48	1.53	4.15	1.63	3.82	1.74	3.41	1.88	2.89
		7	1.44	5.55	1.53	5.14	1.63	4.68	1.75	4.27	1.89	3.57
		10	1.44	6.41	1.53	5.93	1.63	5.43	1.75	4.84	1.89	4.22
		15	1.38	8.53	1.47	7.98	1.57	7.38	1.69	6.68	1.82	5.88
		20	1.34	9.60	1.42	9.03	1.51	8.41	1.61	7.73	1.76	6.95
25		1.24	12.14	1.32	11.53	1.39	10.70	1.51	9.99	1.63	9.23	
30	1.18	14.09	1.25	13.44	1.32	12.78	1.40	12.07	1.51	8.64		
$e_1(\times d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas+İlave Yükleme	4	1.67	3.62	1.77	3.19	1.97	2.68	-	-	-	-
		5	1.66	3.90	1.76	3.43	1.88	2.88	2.11	2.11	-	-
		7	1.66	4.80	1.76	4.19	1.88	3.53	2.02	2.74	-	-
		10	1.66	5.53	1.76	4.82	1.88	4.03	2.04	3.15	2.40	2.40
		15	1.58	7.62	1.68	6.80	1.79	5.90	1.92	4.88	2.06	3.71
		20	1.54	8.68	1.63	7.84	1.74	6.94	1.85	5.92	1.99	4.76
		25	1.44	11.02	1.53	10.17	1.62	9.26	1.73	8.26	1.85	7.12
	30	1.37	13.18	1.45	12.31	1.54	11.21	1.64	10.18	1.75	9.10	
	Esas Yükleme	4	1.45	4.19	1.55	3.83	1.65	3.51	1.75	3.12	1.88	2.68
		5	1.46	4.49	1.54	4.14	1.63	3.81	1.75	3.39	1.88	2.90
		7	1.44	5.52	1.53	5.15	1.63	4.70	1.75	4.16	1.88	3.58
		10	1.44	6.40	1.53	5.93	1.62	5.42	1.74	4.82	1.88	4.10
		15	1.44	8.07	1.53	7.46	1.63	6.84	1.75	6.08	1.89	5.23
		20	1.44	8.67	1.53	8.05	1.63	7.29	1.75	6.55	1.89	5.56
25		1.44	9.88	1.53	9.14	1.63	8.36	1.76	7.46	1.90	6.41	
30	1.38	11.53	1.47	10.77	1.57	9.97	1.69	9.03	1.82	7.95		
$e_1(\times d_h)$ 4D Uygun Cıvata	Esas+İlave Yükleme	4	1.46	3.45	1.56	3.01	1.68	2.46	-	-	-	-
		5	1.46	3.73	1.56	3.22	1.68	2.70	-	-	-	-
		7	1.46	4.61	1.56	4.01	1.68	3.34	1.83	2.60	-	-
		10	1.46	5.32	1.56	4.62	1.68	3.84	1.85	2.95	-	-
		15	1.46	6.72	1.56	5.82	1.69	4.83	1.83	3.72	1.97	2.51
		20	1.46	7.21	1.57	6.24	1.69	5.2	1.83	4.01	1.97	2.55
		25	1.46	8.21	1.56	7.13	1.69	5.93	1.83	4.58	1.97	2.94
	30	1.39	9.83	1.51	8.71	1.63	7.46	1.75	6.07	1.89	4.45	
	Esas Yükleme	4	2.10	8.27	2.21	7.67	2.34	7.01	2.49	6.25	2.67	5.31
		5	2.11	8.97	2.21	8.29	2.35	7.65	2.51	6.76	2.68	5.74
		7	2.10	11.10	2.21	10.25	2.34	9.34	2.50	8.37	2.67	7.21
		10	2.11	12.81	2.22	11.83	2.36	10.83	2.51	9.66	2.67	8.26
		15	2.04	15.28	2.15	14.66	2.28	14.05	2.43	13.32	2.58	11.72
		20	1.98	17.29	2.09	16.17	2.20	15.09	2.36	14.39	2.52	13.61
25		1.87	21.78	1.97	20.57	2.08	19.31	2.20	18.00	2.35	16.55	
30	1.80	27.76	1.89	26.43	1.99	25.08	2.11	23.67	2.25	22.16		
$P_2(\times d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas Yükleme	4	2.10	8.27	2.21	7.67	2.34	7.01	2.49	6.25	2.67	5.31
		5	2.11	8.97	2.21	8.29	2.35	7.65	2.51	6.76	2.68	5.74
		7	2.10	11.10	2.21	10.25	2.34	9.34	2.50	8.37	2.67	7.21
		10	2.11	12.81	2.22	11.83	2.36	10.83	2.51	9.66	2.67	8.26
		15	2.04	15.28	2.15	14.66	2.28	14.05	2.43	13.32	2.58	11.72
		20	1.98	17.29	2.09	16.17	2.20	15.09	2.36	14.39	2.52	13.61
		25	1.87	21.78	1.97	20.57	2.08	19.31	2.20	18.00	2.35	16.55
		30	1.80	27.76	1.89	26.43	1.99	25.08	2.11	23.67	2.25	22.16

Tablo 4: $\beta = 1, 2, 3, 4$ ve $\beta = 5$ değerlerine karşılık gelen minimum ve maksimum e_1, P_1, e_2 ve P_2 uzunlukları. (devamı)

	t (mm)	$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$		$\beta = 4$		$\beta = 5$				
		min.	maks.	min.	maks.	min.	max	min.	maks.	min.	maks.			
$P_2(\times d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas+İlave Yükleme	4	2.12	6.91	2.25	5.94	2.40	4.94	2.57	3.8	2.77	-		
		5	2.12	7.45	2.25	6.48	2.41	5.39	2.57	4.10	2.76	2.59		
		7	2.12	9.19	2.25	7.93	2.40	6.62	2.57	5.12	2.77	3.28		
		10	2.12	10.64	2.26	9.21	2.41	7.68	2.57	5.89	2.77	3.81		
		15	2.03	15.03	2.16	13.38	2.30	11.58	2.46	9.37	2.64	7.00		
		20	1.98	17.15	2.10	15.49	2.23	13.66	2.38	11.63	2.56	9.11		
		25	1.87	21.83	1.97	20.12	2.10	18.28	2.23	16.31	2.39	14.02		
		30	1.79	25.94	1.90	23.99	2.00	22.16	2.14	20.17	2.28	17.98		
		$P_2(\times d_h)$ 4D Uygun Cıvata	Esas Yükleme	4	2.12	8.26	2.24	7.67	2.36	7.01	2.50	6.24	2.68	5.32
				5	2.12	8.96	2.24	8.30	2.35	7.64	2.50	6.74	2.67	5.76
				7	2.11	12.93	2.21	10.28	2.35	9.36	2.50	8.39	2.68	7.22
				10	2.12	13.01	2.23	12.07	2.35	10.81	2.50	9.66	2.68	8.25
				15	2.12	16.34	2.22	15.19	2.35	13.86	2.50	12.37	2.67	10.48
				20	2.12	17.61	2.21	16.22	2.34	14.86	2.49	13.31	2.67	12.75
25	2.10			19.94	2.21	18.50	2.35	16.97	2.51	15.15	2.69	12.92		
30	2.06			23.24	2.16	21.71	2.27	20.07	2.41	18.21	2.58	16.04		
$P_2(\times d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas+İlave Yükleme			4	2.12	6.88	2.25	5.93	2.40	4.97	2.58	3.81	2.77	-
				5	2.12	7.43	2.26	6.45	2.41	5.35	2.57	4.14	2.77	2.59
				7	2.13	9.21	2.26	7.99	2.40	6.64	2.57	5.09	2.77	3.26
				10	2.13	10.63	2.25	9.20	2.40	7.69	2.57	5.92	2.76	3.79
				15	2.12	13.4	2.25	11.62	2.40	9.77	2.57	7.80	2.77	4.82
				20	2.12	14.38	2.25	12.53	2.40	10.54	2.57	8.07	2.77	5.19
		25	2.12	16.42	2.25	14.23	2.40	11.85	2.57	9.20	2.77	5.86		
		30	2.05	19.66	2.18	17.41	2.32	14.94	2.48	12.15	2.67	8.86		
		$e_2(\times d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas Yükleme	4	1.31	4.13	1.42	3.83	1.53	3.51	1.64	3.12	1.75	2.69
				5	1.3	4.48	1.41	4.15	1.52	3.82	1.63	3.41	1.75	2.89
				7	1.23	5.55	1.31	5.14	1.40	4.68	1.49	4.27	1.58	3.57
				10	1.10	6.41	1.20	5.93	1.30	5.43	1.39	4.84	1.48	4.22
				15	1.02	8.53	1.08	7.98	1.14	7.38	1.20	6.68	1.31	5.88
				20	0.83	9.60	1.06	9.03	1.13	8.41	1.21	7.73	1.28	6.95
25	0.42			12.14	0.85	11.53	1.05	10.7	1.13	9.99	1.21	9.23		
30	0.32			14.09	0.63	13.44	0.95	12.78	1.07	12.07	1.16	8.64		
$e_2(\times d_h)$ 4D Uygun Cıvata	Esas+İlave Yükleme			4	1.32	3.62	1.44	3.19	1.54	2.68	1.66	-	1.79	-
				5	1.32	3.90	1.44	3.43	1.55	2.88	1.67	2.11	1.80	-
				7	1.22	4.80	1.31	4.19	1.39	3.53	1.50	2.74	1.62	-
				10	1.11	5.53	1.21	4.82	1.30	4.03	1.39	3.15	1.50	2.40
				15	1.02	7.62	1.09	6.80	1.15	5.90	1.23	4.88	1.32	3.71
				20	0.82	8.68	1.05	7.84	1.12	6.94	1.19	5.92	1.28	4.76
		25	0.44	11.02	0.89	10.17	1.05	9.26	1.12	8.26	1.19	7.12		
		30	0.33	13.18	0.67	12.31	1.00	11.21	1.07	10.18	1.15	9.10		
		$e_2(\times d_h)$ 4D Kaba Cıvata	Esas Yükleme	4	1.53	4.19	1.68	3.83	1.79	3.51	1.93	3.12	2.08	2.68
				5	1.54	4.49	1.69	4.14	1.79	3.81	1.93	3.39	2.08	2.90
				7	1.50	5.52	1.60	5.15	1.71	4.70	1.83	4.16	1.97	3.58
				10	1.35	6.40	1.46	5.93	1.55	5.42	1.66	4.82	1.78	4.10
				15	1.19	8.07	1.27	7.46	1.35	6.84	1.43	6.08	1.54	5.23
				20	1.11	8.67	1.21	8.05	1.29	7.29	1.37	6.55	1.47	5.56
25	1.06			9.88	1.13	9.14	1.19	8.36	1.28	7.46	1.36	6.41		
30	1.02			11.53	1.08	10.77	1.14	9.97	1.20	9.03	1.29	7.95		
$e_2(\times d_h)$ 4D Uygun Cıvata	Esas+İlave Yükleme			4	1.59	3.45	1.72	3.01	1.85	2.46	2.00	-	2.17	-
				5	1.59	3.73	1.72	3.22	1.85	2.70	1.99	-	2.17	-
				7	1.52	4.61	1.64	4.01	1.76	3.34	1.91	2.60	2.07	-
				10	1.37	5.32	1.49	4.62	1.60	3.84	1.72	2.95	1.87	-

Tablo 4: $\beta = 1, 2, 3, 4$ ve $\beta = 5$ değerlerine karşılık gelen minimum ve maksimum e_1, P_1, e_2 ve P_2 uzunlukları. (devamı)

	t (mm)	$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$		$\beta = 4$		$\beta = 5$	
		min.	maks.	min.	maks.	min.	max	min.	maks.	min.	maks.
$e_2 (\times d_h)$ 4D Uygun Cıvata Esas+İlave Yükleme	15	1.21	6.72	1.29	5.82	1.38	4.83	1.48	3.72	1.60	2.51
	20	1.12	7.21	1.24	6.24	1.32	5.20	1.41	4.01	1.53	2.55
	25	1.07	8.21	1.15	7.13	1.22	5.93	1.31	4.58	1.41	2.94
	30	1.03	9.83	1.09	8.71	1.16	7.46	1.24	6.07	1.33	4.45

8 Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

e_1 mesafesinin minimum değeri için önerilen uzunlukların hemen hemen tüm yönetmeliklerde revize edilmesi gerekmektedir.

e_2 için önerilen değer aralıklarının ince kalınlığa sahip levhalar ile oluşturulmuş birleşimlerde kullanımında tedbirli olunmalıdır. Levha kalınlığı azalırken e_2 'nin artırılması gerektiği yapılan analizler sonucu anlaşılmıştır.

Önerilen P_1, P_2 değerlerinin, EY yüklemesinde $\beta \leq 3$ için emniyetle kullanılabilceği ortaya çıkmıştır. $\beta > 3$ ve E1Y yüklemesi için ise bu çalışmada ile verilen grafik ve tablolar yardımıyla gerekli güvenilirlik sağlanabilir.

Farklı güvenilirlik dereceleri için aynı cıvata aralıklarını kullanmak hatalı tasarımların yapılmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu durum, farklı güvenilirlik düzeyine sahip normal dayanımlı cıvatalı birleşimlerin tasarımı için, açıkça ortaya çıkarılmış ve çözümlü tablo ve grafiklerle verilmiştir.

9 Kaynaklar

- [1] Uzgider E, Piroğlu F, Deren H, Çağlayan Ö. *Çelik Yapılar*. 3. Baskı. İstanbul, Türkiye, Çağlayan Kitabevi, 2008.
- [2] Omurtag MH. *Mukavemet*. 3. Baskı. İstanbul, Türkiye, Birsan Yayınevi, 2010.
- [3] Türk Standartları Enstitüsü. "Çelik Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, TS648, 1980.
- [4] EN 1993-1-8: Eurocode 3: "Design of Steel Structures-Part 1-8: Design of Joints", Brussels, 2005.
- [5] Hewitt CM. *AISC Steel Construction Manual*. 13th ed. Chicago, USA, American Institute of Steel Construction, 2005.
- [6] CAN/CSA-S16-01 National Standard of Canada. "Limit States Design of Steel Structures Canadian Standards Association", Mississauga, Ontario, Canada, 2001.
- [7] British Standard. "G2000-Structural use of Steelwork in Building. Part 1: Code of Practice for Design Rolled and Welded Sections, 7th ed". British Standard Institution, London, UK. BS 5950-1:2000.
- [8] Bureau Indian Standard. "General Construction in Steel-Code of Practice", 3rd Revision, Bureau of Indian Standard, New Delhi, India, IS 800-2007, 2007.
- [9] Australian Building Codes Board (ABCB). "Steel Structures", Standarts Association of Australia, Sydney, Australia, AS 4100, 1998.
- [10] Huh J. Dynamic Reliability Analysis for Nonlinear Structures using Stochastic Finite Element Method. PhD Thesis, The University of Arizona, Arizona, USA, 1999.

- [11] Huh J, Haldar A. *Reliability Estimation of Buildings Subjected to Seismic Excitation*. Proceedings of 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, Notre Dame, Indianapolis, USA, 2000.
- [12] Lee SY. Static and Dynamic Reliability Analysis of Frame and Shear Wall Structural Systems. PhD Thesis, The University of Arizona, Arizona, USA, 2000.
- [13] Lee SY, Haldar A. "Reliability of Frame and Shear Wall Structural Systems I-Static Loading". *Journal of Structural Engineering*, 129(2), 224-232, 2003.
- [14] Basaga HB, Bayraktar A. "Reliability Analysis of Beams Using FEM". *Proceedings of 7th ed. International Congress on Advances in Civil Engineering*, YTU, İstanbul, Turkey, 11-13 October, 2006.
- [15] Basağa HB, Bayraktar A, Kartal ME, Hacıfendioglu K. "Deprem Etkisindeki Binaların Güvenilirlik Analizi". 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim, 2007.
- [16] Cardoso JB, Almeida JR, Dias JM, Coelho PG. "Structural Reliability Analysis Using Monte Carlo Simulation and Neural Networks". *Advances in Engineering Software*, 39(6), 505-513, 2008.
- [17] Bolandim E, Beck A, Malite M. "Bolted Connections in Cold-Formed Steel: Reliability Analysis for Rupture in Net Section". *Journal of Structural Engineering*, 139, 748-756, 2013.
- [18] Tsompanakis Y, Papadrakakis M. "Review of Efficient Computational Methods for Large-Scale Structural Optimization". *International Journal of Computational Engineering Science*, 1(2), 331-354, 2000.
- [19] Papadrakakis M, Tsompanakis Y, Lagaros ND, Fragiadakis, M. "Reliability Based Optimization of Steel Frames under Seismic Loading Conditions using Evolutionary Computation". *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 42(3), 585-608, 2004.
- [20] Papadrakakis M, Lagaros ND. "Reliability-Based Structural Optimization using Neural Networks and Monte Carlo Simulation". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191(32), 3491-3507, 2002.
- [21] Papadrakakis M, Papadopoulos V, Lagaros ND. "Structural Reliability Analysis of Elastic-Plastic Structures using Neural Networks and MSC". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 136(1-2), 145-163, 1996.
- [22] Bayazıt M. *Mühendislikte Güvenilirlik ve Risk Analizi*. 1. Baskı, İstanbul, Türkiye, Birsan Yayınevi, 2006.
- [23] Bayazıt M, Oğuz B. *Probability and Statistics for Engineers*. 1. Baskı. İstanbul, Türkiye, Birsan Yayınevi, 1998.
- [24] Nowak AS, Collins, KR. *Reliability of Structures*. 1st ed. Singapore, McGraww-Hill, 2000.
- [25] Soong, TT, Grigoriu M. *Random Vibration of Mechanical and Structural Systems*, Englewood Cliffs, NY, USA, Prentice-Hall, 1993.