



Eksenel Yük Altındaki Lifli Polimer İle Sargılı Dairesel Enkesitli Kolonlarda Dayanım Azaltma Katsayısının İncelenmesi

Analysis of Strength Reduction Factor for Axially-Loaded Circular Columns with Fiber Reinforced Polymer

Aysun Tekin Özer ¹, **Sema Alacalı** ^{2*}

^{1,2} Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: semanoyal@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 02.11.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 20.02.2021

Atıf şekli/ How to cite: ÖZER A.T., ALACALI S.(2021). Eksenel Yük Altındaki Lifli Polimer İle Sargılı Dairesel Enkesitli Kolonlarda Dayanım Azaltma Katsayısının İncelenmesi. DEÜFMD 23(69), 995-1004.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236925

Öz

Yönetmeliklerde, yapısal tasarımda göz önüne alınan rasgele değişkenlerin belirsizliklerini hesaba katmak için dayanım azaltma katsayıları kullanılır. Bu amaçla, çalışma kapsamında literatürden elde edilen karbon lifli polimer (CFRP) ile sargılı, boyuna ve enine donatılı (dairesel etriye) ve donatısız eksenel yük etkisindeki kolon numuneleri için, hedef güvenilirlik indeksi (β) ve performans fonksiyonunu oluşturan rasgele değişkenlere ilişkin farklı varyasyon katsayıları göz önüne alınarak ikinci moment yaklaşımına göre dayanım azaltma katsayıları (ϕ) hesaplanmıştır [1]. Hesaplamalarda, $\beta=3.5$ ve buna karşılık gelen göçme olasılığı değeri $p_F = 2.33 * 10^{-4}$ olarak alınmıştır. ACI 318-19 yönetmeliğinde, eksenel yük etkisindeki donatısız kolonlar ve etriyeli kolonlar için dayanım azaltma katsayısının değerleri sırasıyla 0.60 ve 0.65 olarak önerilmiştir. Çalışma sonucunda lifli polimerle güçlendirilmiş kolonlar için ACI 318-19 yönetmeliğinde önerilen dayanım azaltma katsayısı değerleri, farklı varyasyon katsayıları için elde edilen dayanım azaltma katsayısı değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dayanım azaltma katsayısı, hedef güvenilirlik indeksi, lifli polimer, ikinci moment yaklaşımı, olasılıksal tasarım

Abstract

The code and regulations use strength reduction factors to take into account the uncertainties of the random variables considered in structural design. In this study, for plain concrete columns and reinforced concrete columns (tie-reinforced column) wrapped with carbon fiber polymer (CFRP) under axial load obtained from literature, the strength reduction factors (ϕ) were calculated according to second-order moment approach by taking into account the target reliability index (β) and, different coefficient of variation of random variables of performance function [1]. In the calculations, the target reliability index was taken $\beta=3.5$ and the corresponding probability of failure as $p_F = 2.33 * 10^{-4}$. In ACI 318-19, the strength reduction factors for plain column and tie-reinforced column under axial load are 0.60 and 0.65, respectively. As a result of study, the strength reduction factors recommended in the ACI 318-19 for columns reinforced with fiber polymer were compared with the strength reduction factors obtained for different coefficient of variation.

Keywords: Strength reduction factor, target reliability, fiber polymer, second moment approach, probabilistic design

1. Giriş

Günümüzde güçlendirme alanında yaygın kullanılan yöntemlerden biri taşıyıcı elemanların lifli polimer ile sargılanmasıdır. Lifli polimerlerin en büyük avantajları; yüksek dayanım kapasitesi, korozyon direnci, hafifliği ve uygulanmasının kolay olması olarak sıralanabilir. Lifli polimer ile sargılı kolonlarda aksel yük kapasitesi, dayanım ve süneklik önemli ölçüde artmaktadır [2].

Mühendislik tasarımının temel özelliklerinden biri, ekonomik şartlar gözetilerek sistem güvenliğinin sağlanmasıdır. Bir yapının veya elemanın güvenilirliği, yapının veya söz konusu elemanın faydalı ömrü boyunca kullanım amaçlarını sürdürme olasılığı olarak tanımlanabilir. Yönetmeliklerde, bu güvenilirliği sağlamak amacıyla belirli güvenlik katsayıları kullanılır. Olasılıksal tasarımda ilgili güvenlik katsayıları, seçilen β değerine bağlı olarak belirlenerek istenilen güvenlik düzeyine ulaşmaya çalışılır. Güvenilirlik veya göçme olasılığının, güvenlik katsayısının belirlenmesinde göz önüne alınan riske eşdeğer olduğu kabul edilir.

ACI 318'de, yapı elemanlarının güvenilirliği, hesaplanan dayanım değerlerinin birden küçük ϕ katsayısı ile çarpılarak azaltılması ile sağlanmaktadır. ϕ katsayısı, elemanda kullanılan malzemenin boyut ve dayanımındaki belirsizlikleri hesaba katmak, tasarım denklemlerindeki olası hataları azaltmak ve elemanın yapı için önemini dikkate almak amacıyla kullanılır.

Yönetmeliklerde ϕ katsayıları belirli bir β indeksi göz önüne alınarak belirlenir. Bu değer yapısal tasarımda kabul edilen göçme riskine bağlı değişir. Göçme riski ya da göçme olasılığı ise göçme nedeniyle oluşabilecek can kaybı sayısı ve zarar maliyetine göre tahmin edilir. Literatürde yapılan araştırmalarda çalışmanın konusunu oluşturan lifli polimer ile sargılı beton elemanlarıyla ilgili yapılan çalışmalarda β indeksinin değeri Zou ve Hong [3], Alqam ve diğ. [4] ve Yingwu ve diğ. [5] tarafından 3.5 olarak kabul edilmiştir. Mirza'nın, enine sargılı betonarme kolonlarla ilgili yaptığı çalışmada güvenilirlik indeksi 3.0-3.5 arasında önerilmiştir [6]. Bu çalışmada ise ACI 318-19 yönetmeliğine göre ϕ katsayısının belirlenmesinde β indeksi 3.5 ve bu değere karşılık gelen göçme olasılığı $p_F = 2.33 \cdot 10^{-4}$ olarak kabul edilmiştir.

Literatürde ϕ katsayısının bulunmasına yönelik olarak betonarme kiriş elemanların kesme ve eğilme dayanımlarının belirlenmesiyle ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan, enine donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımının belirlenmesinde ACI 318-02 ve ACI 318-11 yönetmeliklerinde öngörülen $\phi=0.75$ değerinin betona ilişkin varyasyon katsayısı $V_{f_c} = 0.10$ ve $p_F = 10^{-5}$ ($\beta=4.27$) göçme olasılığına, ACI 318-95'de önerilen $\phi=0.85$ değerinin ise betona ilişkin varyasyon katsayısı $V_{f_c} = 0.10$ ve $p_F = 10^{-2}$ ($\beta=2.33$) göçme olasılığına karşılık geldiği görülmüştür [7]. Enine donatısız betonarme kirişlerin kesme dayanımı ile ilgili olarak yapılan çalışmada da, ACI 318-95'de önerilen $\phi=0.85$ değerinin betona ilişkin varyasyon katsayısı $V_{f_c} = 0.12$ ve $p_F = 10^{-5}$ göçme olasılığına, ACI 318-11'de önerilen $\phi=0.75$ değerinin ise betona ilişkin varyasyon katsayısı $V_{f_c} = 0.18$ ve $p_F = 10^{-5}$ ($\beta=4.27$) göçme olasılığına karşılık geldiği görülmüştür [8].

Ayrıca betonarme kirişlerin eğilme momenti kapasitesinin belirlenmesiyle ilgili olarak yapılan çalışmada ACI 318-02 ve ACI 318-11'de önerilen $\phi=0.90$ değerinin $\beta=3.5$ ($p_F = 2.33 \cdot 10^{-4}$) için, sırasıyla donatı akma ve beton basınç dayanımlarının $V_{f_y} = 0.03$ ve $V_{f_c} = 0.05$ varyasyon katsayılarına karşılık geldiği görülmüştür [9].

Eksenel basınç etkisindeki kolonlarla ilgili olarak ACI 318 yönetmeliğinde ϕ katsayısının değeri donatısız ve enine donatının etriyeli ve spiral olması durumları için farklılık göstermektedir. ACI 318-05'de aksel basınç etkisindeki spiral donatılı betonarme kolonlarda ϕ katsayısı 0.70, diğer donatılı betonarme kolonlarda 0.65 ve donatısız kolonlarda 0.65 olarak önerilmiştir [10].

ACI 318-14 ve ACI 318-19'da ϕ katsayıları, spiral donatılı betonarme kolonlarda 0.75, diğer donatılı betonarme kolonlarda 0.65 ve donatısız kolonlarda 0.60 olarak önerilmiştir [11,12].

ACI 440.2R-17 yönetmeliğinde ise lifli polimer ile sargılı spiral ve diğer donatılı ve donatısız kolonların aksel basınç dayanımının belirlenmesiyle ilgili bir katsayı önerilmemiş ve tasarımda ACI 318'in öngördüğü ϕ katsayılarının geçerli olduğu vurgulanmıştır [13].

Bu çalışmada, literatürden elde edilen lifli polimer ile sargılı enine (dairesel etriyeli) ve boyuna donatılı ve donatısız kolonlarda birinci derece ikinci-moment yaklaşımı kullanılarak rasgele değişkenlerin farklı varyasyon katsayısı değerleri için ϕ katsayıları hesaplanmış ve ACI 318-19'da önerilen ϕ değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Olasılıksal hesaplarda rasgele değişkenlerin kendine özgü dağılımları dikkate alınmış, değişkenler arasındaki korelasyon etkisi ihmal edilerek değişkenlerin istatistiksel bağımsız oldukları varsayılmıştır.

2. Lifli Polimer (FRP) ile sargılı kolonların tasarımı

ACI 318-19'a göre eksenel yüklü kolonlarda P_n nominal yük değeri birden küçük ϕ katsayısı ile çarpılarak azaltılır. (1) bağıntısına göre azaltılmış nominal dayanımın P_u son limit yüklerini karşıladığı gösterilerek güvenlik sağlanmaya çalışılır.

$$\phi P_n \geq P_u \quad (1)$$

Lifli polimer ile sargılı, spiral veya etriyeli kolonlarda eksenel yük taşıma gücü, ACI 440.2R-17 yönetmeliğine göre aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır. Taşıma gücü bağıntılarında spiral veya etriye yanal donatılarının taşıma gücüne katkısı dikkate alınmamıştır.

Spiral donatı kullanıldığı durumlarda;

$$\phi P_n = 0.85\phi [0.85f'_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2)$$

Etriye kullanıldığı durumlarda;

$$\phi P_n = 0.80\phi [0.85f'_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3)$$

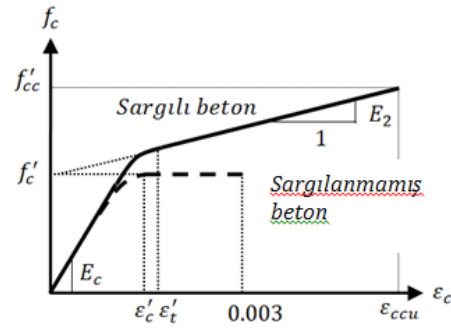
Burada f'_{cc} , sargılı betonun basınç dayanımını; A_g , kolon enkesit alanını; A_{st} , boyuna donatı alanını; f_y , boyuna donatı akma dayanımını; ϕ , dayanım azaltma katsayısını ve P_n , nominal eksenel basınç dayanımını göstermektedir.

Sargılı betonun basınç dayanımı f'_{cc} ve FRP (lifli polimer) sargılama basıncı f_l aşağıda belirtilen (4) ve (5) bağıntıları ile bulunur [13].

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3\kappa_a f_l \quad (4)$$

$$f_l = \frac{2nt_f E_f \epsilon_{fe}}{D} \quad (5)$$

(4) bağıntısında ψ_f ek azaltma katsayısı olarak tanımlanmış ve değeri 0.95, κ_a ise şekil etkinlik katsayısı olup yönetmelikte dairese kolonlar için bu değer 1 olarak önerilmiştir. (5) bağıntısında ise n , tek yüzeydeki FRP sargı tabaka sayısını; t_f , bir tabaka FRP için etkili kalınlığı; E_f , FRP malzemesinin elastisite modülünü; ϵ_{fe} , etkin şekil değiştirme değerini; D , kolon enkesit çapını göstermektedir.



Şekil 1. Lam ve Teng'e göre FRP ile sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [13]

ACI 440.2R-17 yönetmeliğinde, lifli polimer ile sargılı betonun gerilme şekil değiştirme ilişkisinde Lam ve Teng'in önerdiği model esas alınmıştır (Şekil 1). Bu modele göre f'_c ve f'_{cc} sırasıyla sargılanmamış ve sargılı betonun basınç dayanımını, E_c betonun elastisite modülünü, ϵ'_c , ϵ'_t ve E_2 sırasıyla f'_c değerine karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi, eğrinin lineer bölgeye geçiş noktasındaki birim şekil değiştirmeyi ve lineer kısmın eğimini ifade etmektedir. Bu modele göre lifli polimer ile sargılı betonun maksimum şekil değiştirme oranı ϵ_{ccu} (6) bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda yer alan f_l/f'_c oranı 0.08 den küçük olmamalıdır. Ayrıca (6) bağıntısı ile hesaplanan ϵ_{ccu} değeri aşırı çatlamayı ve bundan kaynaklı beton bütünlüğü kaybını önlemek amacıyla (7) bağıntısı ile gösterilen değerden küçük olmalıdır.

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.50 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \quad (6)$$

$$\varepsilon_{ccu} \leq 0.01 \quad (7)$$

(6) bağıntısında κ_b şekil etkinlik katsayısı olarak tanımlanmakta ve ACI 318-19'a göre dairesel enkesitli kolonlar için bu değer 1 olarak önerilmektedir.

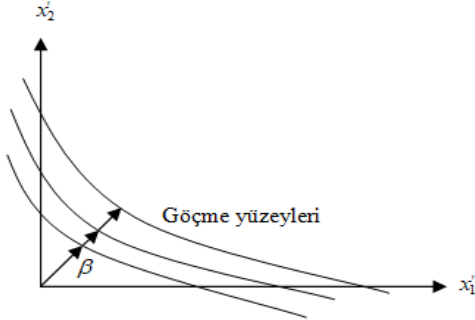
3. Güvenilirlik Analizi

3.1 Kısmi güvenlik katsayılarının bulunması

Olasılıksal tasarımda bir sistemin davranışı performans fonksiyonu olarak adlandırılan aşağıdaki bağıntı ile tanımlanabilir.

$$Z = g(x) = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (8)$$

$Z = 0$ durumu limit durumu, $Z < 0$ göçme durumu ve $Z > 0$ güvenli durumu ifade eder. İndirgenmiş değişkenler uzayında farklı göçme yüzeylerine karşılık gelen tasarımlar Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı göçme yüzeylerine karşılık gelen tasarımlar [14]

Bu durumda performans fonksiyonu, (9) bağıntısında gösterildiği gibi her bir değişkenin kısmi güvenlik katsayısı ile çarpılması ile elde edilir.

$$g(\gamma_1 m_{x_1}, \gamma_2 m_{x_2}, \dots, \gamma_n m_{x_n}) = 0 \quad (9)$$

Burada $\gamma_i m_{x_i}$ göçme yüzeyi üzerinde bulunan en olası göçme noktasıdır. Bu nedenle $x_i^* = \gamma_i m_{x_i}$ olacaktır. Buna göre kısmi güvenlik katsayısı (10) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$\gamma_i = \frac{x_i^*}{m_{x_i}} \quad (10)$$

İndirgenmiş değişkenler uzayında en olası göçme noktası $x_i^* = -\alpha_i^* \beta$ dır. Bu bağıntıda duyarlılık katsayısı olarak ifade edilen α_i^* (11) bağıntısı ile belirlenir [14].

$$\alpha_i^* = \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_* / \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_*^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Orijinal değişkenler aşağıdaki bağıntıyla ifade edilirse;

$$x_i^* = m_{x_i} - \alpha_i^* \beta \sigma_{x_i} = m_{x_i} (1 - \alpha_i^* \beta V_{x_i}) \quad (12)$$

Bu bağıntıda σ_{x_i} ve V_{x_i} ($=\sigma_{x_i}/m_{x_i}$) sırasıyla X_i rasgele değişkeninin standart sapma ve varyasyon katsayısı değerlerini ifade etmektedir. Kısmi güvenlik katsayıları (13) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\gamma_i = \frac{x_i^*}{m_{x_i}} = 1 - \alpha_i^* \beta V_{x_i} \quad (13)$$

3.2 Performans fonksiyonunun oluşturulması

Eksenel yüklü kolonlar için performans fonksiyonu aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$g(x) = \gamma_1 P_n - \gamma_2 P_u = \phi P_n - P_u \quad (14)$$

Bu bağıntıda, P_u deneysel verilerden elde edilen eksenel basınç dayanımlarını, P_n ACI'ya göre hesaplanan eksenel basınç dayanımlarını, γ_1 ve γ_2 ise, β değerine karşılık gelen ilgili değişkenlerin güvenlik katsayılarını ifade etmektedir. Bu çalışmada olasılıksal hesaplar sonucu belirlenen γ_1 güvenlik katsayısının ϕ değerine karşılık geldiği varsayılmıştır. Belirlemelerde $\beta=3.5$ ve bu değere karşılık gelen göçme olasılığı $p_F = 2.33 \cdot 10^{-4}$ olarak alınmıştır.

(3) bağıntısında gerekli düzenlemeler yapılırsa, lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatılı kolonlar için performans fonksiyonu (15), donatısız kolonlar için ise (16) bağıntısıyla tanımlanabilir [13].

$$g(X) = \phi \left[\frac{0.85 \left(f_c' + \frac{3.49nt_f E_f \varepsilon_{fu}}{D} \right)}{\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\rho_g \pi D^2}{4} \right) + f_y \frac{\rho_g \pi D^2}{4}} \right] - P_u \quad (15)$$

$$g(X) = \phi \left[0.85 \left(f_c' + \frac{3.49nt_f E_f \varepsilon_{fu}}{D} \right) \frac{\pi D^2}{4} \right] - P_u \quad (16)$$

(15) ve (16) bağıntılarındaki; f_c' , sargılanmamış betonun basınç dayanımını; $n.t_f$, lifli polimerin toplam etkili sargı kalınlığını; E_f , lifli polimerin elastisite modülünü; ε_{fu} , lifli polimerin kopma birim uzamasını; f_y , boyuna donatı akma dayanımını; ρ_g , boyuna donatı oranını; P_u , son limit yükünü ve ϕ dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

3.3. Değişkenlerin varyasyon katsayıları

Bu çalışmada performans fonksiyonlarını oluşturan rasgele değişkenlere ilişkin varyasyon katsayıları literatürdeki çalışmalar esas alınarak Tablo 1 ve 2'de özetlenmiştir [15-28].

Söz konusu değişkenlerin dağılım tipleri ise değişkenin yapısına uygun olarak normal, lognormal ve Tip-I asimptotik dağılım olarak kabul edilmiştir (Tablo 1-2).

Tablo 1. Lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatılı kolonlara ilişkin varyasyon katsayıları ve dağılım tipleri

Durum	f_c'	E_f	t_f	f_y	ε_{fu}	ρ_g	D	P_u	ϕ
1	0.10	0.10	0.05	0.10	0.022	0.10	0.03	0.01	0.756
2			0.07						0.752
3		0.15	0.05						0.738
4			0.07						0.735
5		0.20	0.05						0.720
6			0.07						0.718
7	0.12	0.10	0.05						0.737
8			0.07						0.733
9		0.15	0.05						0.719
10			0.07						0.716
11		0.20	0.05						0.701
12			0.07						0.699
13	0.15	0.10	0.05						0.708
14			0.07						0.704
15		0.15	0.05						0.691
16			0.07						0.688
17		0.20	0.05						0.673
18			0.07						0.671
19	0.18	0.10	0.05						0.680
20			0.07						0.676
21		0.15	0.05						0.663
22			0.07						0.660
23		0.20	0.05						0.646
24			0.07						0.644
Dağılım Tipi	LN	LN	N	LN	T	N	N	T	

Not: N: Normal dağılım, LN: Log-normal dağılım, T: Tip-1 asimptotik dağılım

Tablo 2. Lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatısız kolonlara ilişkin varyasyon katsayıları ve dağılım tipleri

Durum	f_c'	E_f	t_f	ε_{fu}	D	P_u	ϕ
1	0.10	0.10	0.05	0.022	0.03	0.01	0.745
2			0.07				0.740
3		0.15	0.05				0.723
4			0.07				0.719
5		0.20	0.05				0.701
6			0.07				0.698
7	0.12	0.10	0.05				0.720
8			0.07				0.715
9		0.15	0.05				0.698
10			0.07				0.695
11		0.20	0.05				0.676
12			0.07				0.674
13	0.15	0.10	0.05				0.683
14			0.07				0.678
15		0.15	0.05				0.662
16			0.07				0.659
17		0.20	0.05				0.641
18			0.07				0.638
19	0.18	0.10	0.05				0.647
20			0.07				0.643
21		0.15	0.05				0.627
22			0.07				0.624
23		0.20	0.05				0.606
24			0.07				0.604
Dağılım Tipi	LN	LN	N	T	N	T	

Not: N: Normal dağılım, LN: Log-normal dağılım, T: Tip-1 asimptotik dağılım

4. Kolon Numunelerinin Özellikleri

Lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatılı aksenal yüklü dairesel kolonlarda ϕ katsayıları literatürdeki 4 farklı çalışmadan elde edilen 21 adet deney numunesi göz önüne alınarak hesaplanmıştır [29-32]. Numuneler kumaş şeklinde lifli polimerle sargılı ve enine donatı olarak dairesel etriye kullanılmıştır. Kolon enkesit çapı D , 150-250 mm; sargılanmamış betonun basınç dayanımı f_c' , 12.84-63.01 MPa; f_y , boyuna donatı akma dayanımı 367-587 MPa; $n.t_f$, lifli polimerin toplam etkili sargı kalınlığı 0.130-0.825 mm; E_f , lifli polimerin elastisite modülü 217-241 GPa; ρ_g , boyuna donatı oranı 0.0096-0.0225; ε_{fu} , lifli polimerin kopma birim uzaması 0.0144-0.018 mm/mm arasında değişmektedir (Tablo 3).

Lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatısız aksenal yüklü dairesel beton kolonlarda ise ϕ katsayısı, 2 farklı çalışmadan alınan 38 adet deney numunesi göz önüne

alınarak hesaplanmıştır [33-34]. Numuneler kumaş şeklinde lifli polimerle sargılı ve kolonlarda enine ve boyuna donatı kullanılmamıştır. Kolon enkesit çapı D , 100-200 mm; sargılanmamış betonun basınç dayanımı f'_c , 17.05-47.5 MPa; $n \cdot t_f$, lifli polimerin toplam etkili sargı kalınlığı 0.11-0.351mm, E_f , lifli polimerin elastisite modülü 232-240 GPa; ε_{fu} , lifli polimerin kopma birim uzaması 0.0155-0.018 mm/mm değerleri arasında değişmektedir (Tablo 4).

Tablo 3. Lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatılı kolon numunelerinin özellikleri

Makale	Numune Adı	D (mm)	f'_c (MPa)	f_f (MPa)	ρ_g	$n \cdot t_f$ (mm)	E_f (GPa)	ε_{fu} (mm/mm)	P_u (kN)	
Chastre ve Silva [29]	C10	150	38.00	391	0.0096	0.334	226	0.0144	1485.70	
	C11	150	38.00	391	0.0096	0.334	226	0.0144	1375.80	
	C15	150	38.00	391	0.0096	0.334	226	0.0144	1480.90	
	C19	150	38.00	391	0.0096	0.334	226	0.0144	1492.30	
	C41	250	35.20	458	0.0138	0.167	241	0.0154	2766.70	
	C34	250	35.20	458	0.0138	0.334	241	0.0154	3741.60	
	C43	250	35.20	458	0.0138	0.501	241	0.0154	3966.80	
	C44	250	35.20	458	0.0138	0.668	241	0.0154	4828.30	
	Benzaid ve Mesbah [30]	I.RCC-1L	160	29.51	500	0.0225	0.130	238	0.0180	1206.53
		I.RCC-3L	160	29.51	500	0.0225	0.390	238	0.0180	1628.49
II.RCC-3L		160	58.24	500	0.0225	0.390	238	0.0180	2199.63	
Faustino ve diğ [31]	III.RCC-3L	160	63.01	500	0.0225	0.390	238	0.0180	2089.57	
	CC1	150	34.60	587	0.0128	0.352	217	0.0155	1838.00	
	CC2	150	34.60	587	0.0128	0.352	217	0.0155	1843.00	
Peker [32]	CC3	150	34.60	587	0.0128	0.352	217	0.0155	1804.00	
	LSR-C-1-a	250	12.84	367	0.0096	0.165	230	0.0150	1584.76	
	LSR-C-1-b	250	13.14	367	0.0096	0.165	230	0.0150	1663.52	
	LSR-C-3-a	250	12.84	367	0.0096	0.495	230	0.0150	2901.28	
	LSR-C-3-b	250	13.14	367	0.0096	0.495	230	0.0150	3091.86	
	LSR-C-5-a	250	12.84	367	0.0096	0.825	230	0.0150	4299.48	
LSR-C-5-b	250	13.53	367	0.0096	0.825	230	0.0150	4675.29		

5. Rasgele Değişkenlerdeki Belirsizliklerin ϕ Üzerindeki Etkisi

Lifli polimer ile sargılı, enine ve boyuna donatılı kolonlarda ϕ katsayısının belirlenmesine yönelik yapılan olasılıksal hesaplamalar sonucunda ACI 318-19'da etriyeli kolonlar için önerilen $\phi=0.65$ değerinin, $\beta=3.5$ için, değişkenlerin varyasyon katsayılarının $V_{f'_c} = 0.18$, $V_{t_f} = 0.05$, $V_{E_f} = 0.20$, $V_{\varepsilon_{fu}} = 0.022$, $V_D = 0.03$, $V_{\rho_g} = 0.10$ ve $V_{f_y} = 0.10$ olduğu 23 nolu duruma karşılık geldiği görülmüştür. Enine ve boyuna donatısız kolonlar için ise ACI 318-19'da önerilen $\phi = 0.60$ değerinin varyasyon katsayılarının $V_{f'_c} = 0.18$, $V_{t_f} = 0.07$, $V_{E_f} = 0.20$, $V_{\varepsilon_{fu}} = 0.022$ ve $V_D = 0.03$ olduğu 24 nolu duruma karşılık geldiği görülmüştür (Tablo 1-2).

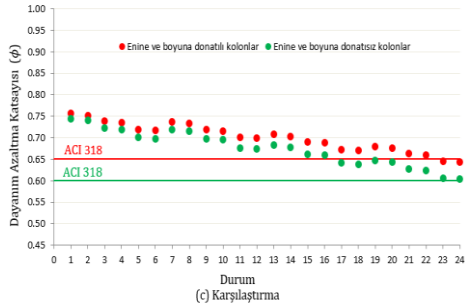
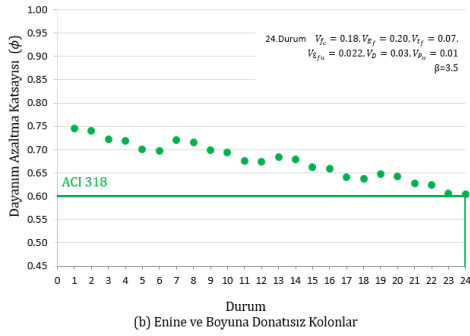
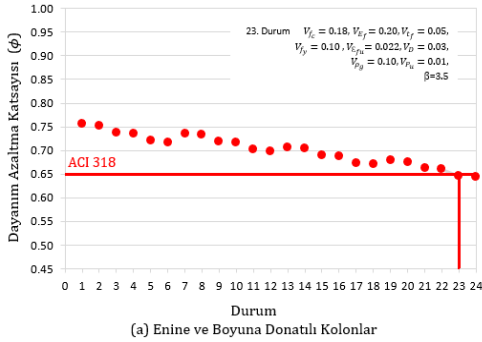
Tablo 4. Lifli polimer ile sargılı enine ve boyuna donatısız kolon numunelerinin özellikleri

Makale	Numune Adı	D (mm)	f'_c (MPa)	$n \cdot t_f$ (mm)	E_f (GPa)	ε_{fu} (mm/mm)	P_u (kN)
Lin ve Li [33]	A1	150	17.59	0.11	232	0.018	656.65
	A2	120	17.05	0.11	232	0.018	474.60
	A3	100	17.17	0.11	232	0.018	348.15
	A4	150	17.59	0.22	232	0.018	947.63
	A5	120	17.05	0.22	232	0.018	690.55
	A6	100	17.17	0.22	232	0.018	539.94
	A7	150	17.59	0.33	232	0.018	1250.73
	A8	120	17.05	0.33	232	0.018	931.46
	A9	100	17.17	0.33	232	0.018	705.23
	B1	150	22.31	0.11	232	0.018	772.07
	B2	120	22.29	0.11	232	0.018	534.39
	B3	100	22.60	0.11	232	0.018	433.49
	B4	150	22.31	0.22	232	0.018	1053.69
	B5	120	22.29	0.22	232	0.018	836.74
	B6	100	22.60	0.22	232	0.018	618.89
	B7	150	22.31	0.33	232	0.018	1436.00
	B8	120	22.29	0.33	232	0.018	992.02
	Karabiniş ve Rousakis [34]	B9	100	22.60	0.33	232	0.018
C1		150	24.51	0.11	232	0.018	833.42
C2		120	24.93	0.11	232	0.018	613.69
C3		100	24.53	0.11	232	0.018	470.46
C4		150	24.51	0.22	232	0.018	1186.96
C5		120	24.93	0.22	232	0.018	884.54
C6		100	24.53	0.22	232	0.018	684.13
C7		150	24.51	0.33	232	0.018	1508.44
C8		120	24.93	0.33	232	0.018	1074.21
C9		100	24.53	0.33	232	0.018	827.24
Karabiniş ve Rousakis [34]	C7	200	47.50	0.23	240	0.0155	1617.92
	C8	200	47.50	0.23	240	0.0155	1570.80
	C9	200	47.50	0.23	240	0.0155	1727.88
	C13	200	47.50	0.35	240	0.0155	2104.87
	C14	200	47.50	0.35	240	0.0155	1617.92
	C10	200	43.50	0.23	240	0.0155	1570.80
	C11	200	43.50	0.23	240	0.0155	1523.67
	C12	200	43.50	0.23	240	0.0155	1570.80
	C16	200	43.50	0.35	240	0.0155	1979.20
	C17	200	43.50	0.35	240	0.0155	2120.58
C18	200	43.50	0.35	240	0.0155	2057.74	

Ayrıca Tablo 1 ve 2'de verilen varyasyon katsayılarının herbir durumu için ϕ değerinin değişimi donatılı ve donatısız kolonlar için Şekil 3a ve 3b' de ayrı ayrı gösterilmiştir. Diğer değişkenlere ilişkin varyasyon katsayıları sabit olmak üzere f'_c , E_f ve t_f değişkenlerine ilişkin varyasyon katsayılarının artması, ϕ katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Bu da varyasyon katsayılarının artması ile, kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin azalması anlamına gelmektedir. İncelenen donatılı ve donatısız kolon numuneleri için belirlenen ϕ katsayısı üzerinde diğer değişkenlerle karşılaştırıldığında f'_c 'nin etkisinin en fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 3a'da, donatılı kolonlarda ϕ katsayısının ortalama değerinin 24.durum dışında tüm durumlar için yönetmelikte önerilen $\phi=0.65$ değerinden ve Şekil 3b'de ise donatısız kolonlarda tüm durumlar için $\phi=0.60$ değerinden büyük olduğu ve yönetmelik koşullarını sağladığı, diğer bir anlatımla ihtiyatlı yönde oldukları görülmektedir.

Şekil 3’de ise her bir durum için enine ve boyuna donatılı ve donatısız kolonlar için hesaplanan ϕ katsayıları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada boyuna ve enine donatılı kolonlarda ϕ katsayılarının, donatısız kolonlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Donatılı kolonlarda lifli polimerle birlikte enine ve boyuna donatının katkısı, kolonun taşıma gücünü artırdığı için ϕ katsayısının değeri donatısız kolona göre daha fazla elde edilmiştir.

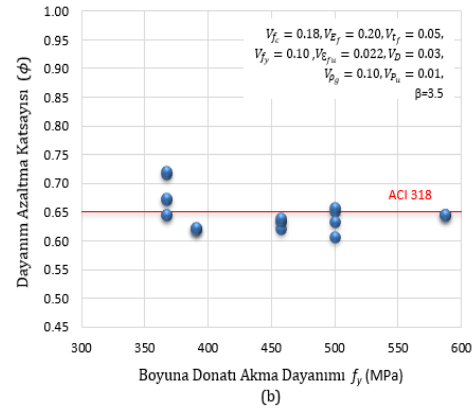
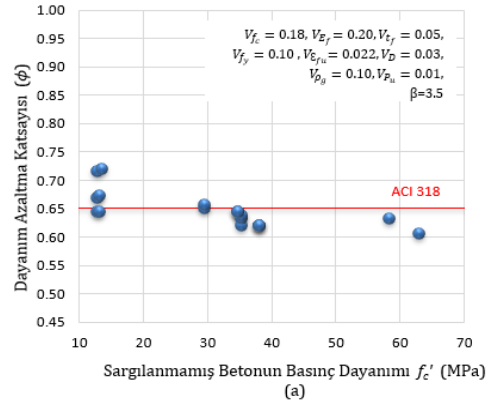


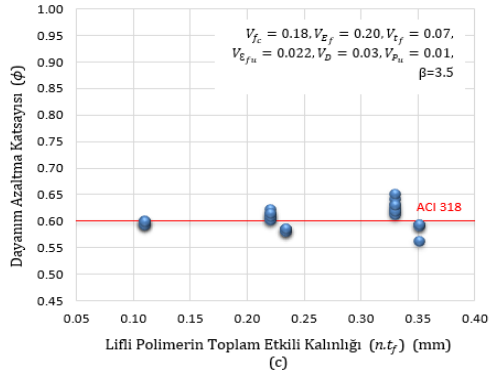
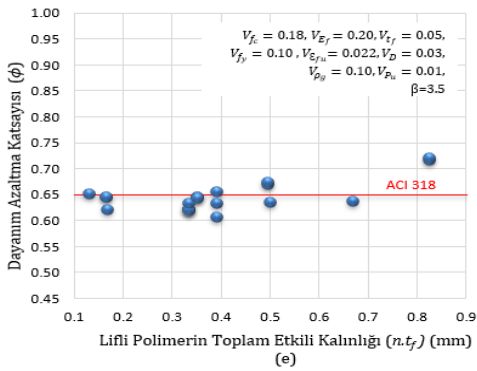
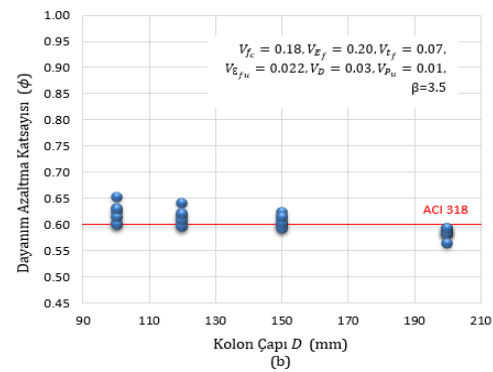
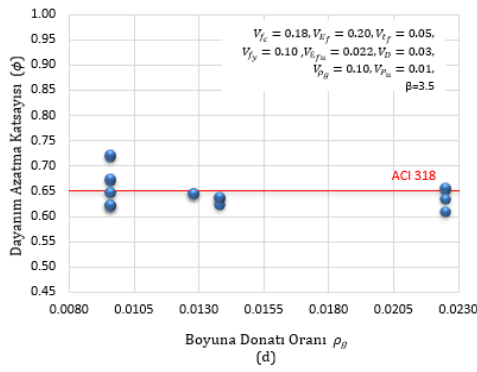
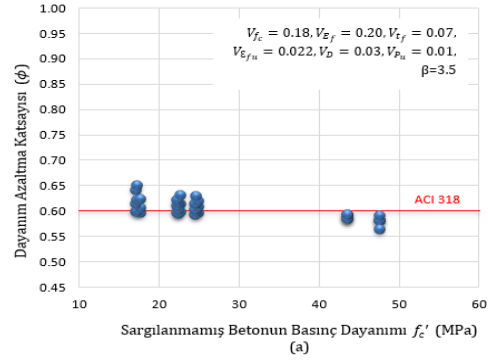
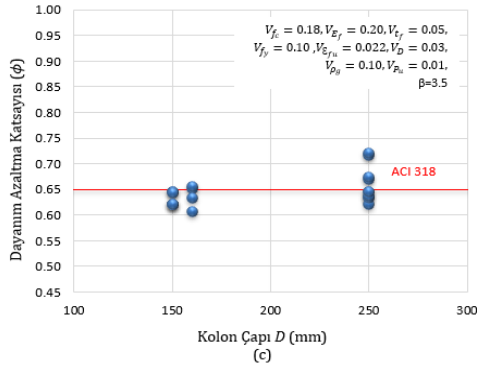
Şekil 3. Lifli polimer ile sargılı kolonlarda $\beta = 3.5$ için varyasyon katsayılarının değişiminin ϕ üzerindeki etkisi

6. Rasgele Değişkenler İle ϕ Katsayısının Değişimi

Yapılan hesaplamalar sonucunda incelenen enine ve boyuna donatılı kolonlarda $\beta = 3.5$ ve 23 nolu durum için ϕ katsayısının 0.607~0.721 aralığında değiştiği, numunelerin yaklaşık %62’sinde ϕ katsayısının ACI 318-19’da önerilen $\phi=0.65$ değerinden düşük olduğu ve yönetmelik koşullarının sağlanmadığı, %38’inde büyük olduğu ve koşulların sağlandığı gözlenmiştir.

Benzer şekilde donatısız kolonlarda 24 nolu durum için ϕ katsayısının 0.563~0.651 aralığında değiştiği, değişkenlerin yaklaşık %34’ünde ϕ katsayısının $\phi=0.60$ değerinden düşük olduğu ve yönetmelik koşullarını sağlamadığı, %66’sında ise büyük olduğu ve koşulları sağladığı görülmüştür. Deney sonuçlarına göre donatılı kolonlarda ϕ katsayısının değişim aralığının donatısız kolona göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.





Şekil 4. Lifli polimer ile sargılı enine ve boyuna donatılı kolonlarda $\beta = 3.5$ için değişkenlerin ϕ üzerindeki etkisi

Şekil 4 ve 5'te donatılı ve donatısız dairesel kolonlarda, $\beta = 3.5$ için performans fonksiyonunu oluşturan sargılanmamış betonun basınç dayanımı f'_c , boyuna donatı akma dayanımı f_y , kolon enkesit çapı D , boyuna donatı oranı ρ_g ve lifli polimerin toplam etkili sargı kalınlığı $n.t_f$ değişkenlerindeki artışların ϕ üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5. Lifli polimer ile sargılı enine ve boyuna donatısız kolonlarda $\beta = 3.5$ için değişkenlerin ϕ üzerindeki etkisi

Şekil 4 ve 5'te görüldüğü gibi incelenen numunelerin sayılarının yetersiz olmasından dolayı donatılı ve donatısız kolonlarda, rasgele değişkenlerin değerlerindeki artışların ϕ üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. Değişkenlerin değerlerindeki artışların ϕ üzerindeki değişimi hakkında net sonuçlar elde etmek için numunelerin sayılarının artırılması gerekmektedir.

7. Sonuçlar

ACI 318-19 yönetmeliğinde eksenel yük etkisindeki kolonların ϕ katsayıları, spiral donatılı kolonlar için 0.75, etriyeli kolonlar için 0.65 ve donatısız kolonlar için 0.60 olarak önerilmiştir. Bu çalışmada spiral etriyeli örnek numuneler göz önüne alınmamıştır. Literatürden sağlanmış lifli polimer ile sargılı boyuna ve enine donatılı (dairesele etriye) ve donatısız eksenel yük etkisindeki dairesele kolonların deney sonuçları kullanılarak ikinci moment yöntemine göre ϕ değerleri araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Enine ve boyuna donatılı kolonlar için önerilen $\phi=0.65$ değerinin, $\beta=3.5$ için, değişkenlerin varyasyon katsayılarının $V_{f_c'} = 0.18$, $V_{t_f} = 0.05$, $V_{E_f} = 0.20$, $V_{E_{fu}} = 0.022$, $V_D = 0.03$, $V_{\rho_g} = 0.10$ ve $V_{f_y} = 0.10$ olduğu duruma karşılık geldiği görülmüştür. Varyasyon katsayılarının bu değerlerin altında olması durumunda lifli polimerle sargılı enine ve boyuna donatılı kolonlarda ACI 318-19'da öngörülen $\phi=0.65$ değerinin göz önüne alınması ihtiyatlı olup kolonun güvenilirliğinin artmasına, aksi durumda azalmasına neden olur.
- Enine ve boyuna donatısız kolonlarda ise $\phi=0.60$ değerinin, $\beta=3.5$ için, değişkenlerin varyasyon katsayılarının $V_{f_c'} = 0.18$, $V_{t_f} = 0.07$, $V_{E_f} = 0.20$, $V_{E_{fu}} = 0.022$ ve $V_D = 0.03$ olduğu duruma karşılık geldiği görülmüştür. Değişkenlerin varyasyon katsayılarının bu değerlerin altında olması durumunda ACI 318-19'da öngörülen $\phi=0.60$ değerinin göz önüne alınması ihtiyatlı bir yaklaşımdır.
- Enine ve boyuna donatının katkısı, kolonun eksenel kuvvet taşıma gücünü artırdığı için ϕ katsayısının değeri donatısız kolonlara göre daha büyük elde edilmiştir. Bu nedenle ACI 318-19'da etriyeli kolonlar için önerilen $\phi=0.65$ değeri, donatısız kolonlar için önerilen $\phi=0.60$ değerinden daha büyüktür.
- Tüm deney numunelerinde her bir durum için performans fonksiyonunu oluşturan değişkenlerin varyasyon katsayıları arttıkça ϕ katsayısının değeri azalmaktadır. Bu da değişkenlerin yapısında var olan belirsizliğin artmasının kolonun taşıma gücünü azalttığını göstermektedir.
- Donatılı ve donatısız dairesele kolonlarda, performans fonksiyonunu oluşturan

değişkenlerin değerlerinin artışının ϕ üzerindeki değişimi hakkında net bir sonuç elde edilebilmesi için incelenen numunelerin sayılarının artırılması gerekmektedir.

- ACI 440.2R-17' de lifli polimerle sargılı donatılı ve donatısız dairesele kolonlar için ACI 318'deki katsayılar yerine literatürdeki deney sonuçları kalibre edilerek lifli polimer etkisi de göz önüne alınarak yeni dayanım azaltma katsayıları öngörülebilir.

8. Kaynakça

- [1] Tarawneh A., Sereen Majdalaweyh S., (2020). Design and reliability analysis of FRP-reinforced concrete columns, Structures, Cilt 28, s.1580-1588. DOI:10.1016/j.istruc.2020.10.009
- [2] Xiao Y., Wu H., 2000. Compressive Behavior of Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Jackets, Journal of Materials in Civil Engineering, Cilt. 12(2), s. 139-146. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2000)12:2(139)
- [3] Zou Y., Hong H.P., 2008. Reliability Assessment of FRP-Confined Columns Designed for Buildings, Structure and Infrastructure Engineering, Cilt. 7(3), s. 243-258. DOI: 10.1080/15732470802416998
- [4] Alqam M., Bennett R.M., Zureick A-H. 2004. Probabilistic Based Design of Concentrically Loaded Fiber-Reinforced Polymeric Compression Members, Journal of Structural Engineering, Cilt. 130(12), s. 1914-1920. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:12(1914)
- [5] Yingwu Z., Feng X., Lili S. (2013). Reliability Assessments of Concrete Filled FRP Tube Columns, Applied Mechanics and Materials, Cilt 405-408, s.731-734. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.405-408.731
- [6] Mirza S.A. 1996. Reliability-Based Design of Reinforced Concrete Columns, Structural Safety, Cilt. 18(2), s. 179-194. DOI: 10.1016/0167-4730(96)00010-0
- [7] Arslan, G., Alacalı, S. N., Sağıroğlu, A. 2015. The Investigation of the Strength Reduction Factor in Predicting the Shear Strength, Journal of Theoretical and Applied Mechanics (JTAM), Cilt. 53(2), s. 371-381. DOI: 10.15632/jtam-pl.53.2.371
- [8] Arslan, G., Alacalı, S., Sağıroğlu, A. 2016. Assessing Reduction in Concrete Shear Strength Contribution, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Building, Cilt. 169(4), s. 237-244. DOI: 10.1680/jstbu.14.00102
- [9] Alacalı, S., Arslan, G., 2018. Assessment of the Strength Reduction Factor in Predicting the Flexural Strength, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Cilt. 56(4) s. 1043-1053. DOI: 10.15632/jtam-pl.56.4.1043
- [10] American Concrete Institute Committee 318 (ACI318), 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary, Farmington Hills, MI
- [11] American Concrete Institute Committee 318 (ACI318), 2014. Building Code Requirements for

- Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, Farmington Hills, MI
- [12] American Concrete Institute Committee 318 (ACI318), 2019. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary, Farmington Hills, MI
- [13] American Concrete Institute Committee 440 (440.2R-17), 2017. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, Farmington Hills, MI
- [14] Ang A.H.S., Tang W.H., 1984. Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Cilt. 2-Decision, Risk and Reliability, Wiley, NY
- [15] Hao H., Li Z.X., Shi Y. 2015. Reliability Analysis of RC Columns and Frame with FRP Strengthening Subjected to Explosive Loads, Journal of Performance of Constructed Facilities, 04015017, DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000748
- [16] Ali O. 2017. Structural Reliability of Biaxial Loaded Short/Slender-Square FRP-Confined RC Columns, Construction and Building Materials, Cilt. 151, s. 370-382. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.032
- [17] Jafari F. 2014. Reliability of FRP Reinforced Concrete Columns, 1. Persian Gulf International Conference on Sustainable Concrete, 17-18 December, Bandar Abbas
- [18] Val D., Bljucer F., Yankelevsky D. 1997. Reliability Evaluation in Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures, Structural Safety, Cilt. 19, s. 203-217. DOI: 10.1016/S0167-4730(96)00025-2
- [19] Atadero R.A., Karbhari V. M. 2007. Calibration of Resistance Factors for Reliability Based Design of Externally Bonded FRP Composites, Composites: Part B, Cilt. 39, s. 665-679. DOI: 10.1016/j.compositesb.2007.06.004
- [20] Hong H.P., Zhou W. 1999. Reliability Evaluation of RC Columns, Journal of Structural Engineering, Cilt. 125(7), s. 784-790. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:7(784)
- [21] Monti G., Santini S. 2002. Reliability Based Calibration of Partial Safety Coefficient for Fiber-Reinforced Plastic, Journal of Composites for Construction, Cilt. 6(3), s. 162-167. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2002)6:3(162)
- [22] Kim J.H., Lee S.H., Paik I., Lee H.S. 2015. Reliability Assessment of Reinforced Concrete Columns Based on the P-M Interaction Diagram Using AFOSM, Structural Safety, Cilt. 55, s. 70-79. DOI: 10.1016/j.strusafe.2015.03.003
- [23] Val D.V. 2003. Reliability of Fiber-Reinforced Polymer-Confined Reinforced Concrete Columns, Journal of Structural Engineering, Cilt. 129(8), s. 1122-1130. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:8(1122)
- [24] Taki A., Firouzi A., Mohammadzadeh S. 2018. Life Cycle Reliability Assessment of Reinforced Concrete Beams Shear-Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer Strips in Accordance with Fib Bulletin 14, Structural Concrete, Cilt. 19(6), s. 2017-2028. DOI: 10.1002/suco.201700289
- [25] Wieghaus K.T., Atadero R.A. 2011. Effect of Existing Structure and FRP Uncertainties on the reliability of FRP-Based Repair, Journal of Composites for Construction, Cilt. 15(4), s. 635-643. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000197
- [26] Okeil A.M., El-Tawil S., Shahawy M. 2002. Flexural Reliability of Reinforced Concrete Bridge Girders Strengthened with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates, Journal of Bridge Engineering, Cilt. 7(5), s. 290-299. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2002)7:5(290)
- [27] Ruiz S.E., Aguilar J.C. 1994. Reliability of Short and Slender Reinforced-Concrete Columns, Journal of Structural Engineering, Cilt. 120, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9445(1994)120:6(1850)
- [28] Jiang Y., Yang W. 2012. An Approach Based on Theorem of Total Probability for Reliability Analysis of RC Columns with Random Eccentricity, Structural Safety, Cilt. 41, s. 37-46. DOI: 10.1016/j.strusafe.2012.11.001
- [29] Chastre C., Silva M.A.G., 2010. Monotonic Axial Behavior and Modelling of RC Circular Columns Confined with CFRP, Engineering Structures, Cilt. 32, s. 2268-2277. DOI: 10.1016/j.engstruct.2010.04.001
- [30] Benzaid R., Mesbah H.A., 2014. The Confinement of Concrete in Compression Using CFRP Composites-effective Design Equations, Journal of Civil Engineering and Management, Cilt. 20(5), s. 632-648. DOI: 10.3846/13923730.2013.801911
- [31] Faustino P., Chastre C., Paula R., 2013. Design Model for Square RC Columns under Compression Confined with CFRP, Composites: Part B, Cilt. 57, s. 187-198. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.09.052
- [32] Peker Ö., 2005. Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [33] Lin C.T., Li Y.F., 2003. An Effective Peak Stress Formula for Concrete Confined with Carbon Fiber Reinforced Plastics, Canadian Journal of Civil Engineering, Cilt. 30, s. 882-889. DOI: 10.1139/L03-047
- [34] Karabinis A.I., Rousakis T.C., 2002. Concrete Confined by FRP Material: a plasticity approach, Engineering Structures, Cilt. 24, s. 923-932. DOI: 10.1016/S0141-0296(02)00011-1