

Enine donatısız betonarme kirişlerin kesme mukavemetinin çoklu regresyon modelleriyle tahmini

Selim Murtazaoğlu^{1*}, Aydoğan İbiş²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

²Boğaziçi Üniversite, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

*selimmurtaz@hotmail.com

Özet

Enine donatısız betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetlerinin tahminine yönelik; yönetmelik ve araştırmalarda, çok sayıda bağıntı önerilmiştir. Bu çalışmada ise; enine donatısız betonarme kirişlerin kesme mukavemetlerinin tahmini için, mevcut matematik modellere alternatif olarak çoklu regresyon modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan 3 adet çoklu regresyon modeli, yönetmelik ve araştırmalarda; önerilen 5 adet bağıntı ile performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yönetmelik ve araştırmalarda kullanılan birbirine bağımlı birden çok ve karmaşık denklem yerine, çoklu regresyon modeli yardımıyla tek bir denklem ile betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetleri hesaplanmasında; daha iyi sonuçların alındığı öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, kiriş, kesme mukavemeti, çoklu regresyon modeli

Prediction of shear strength of reinforced concrete beams without stirrups by multiple regression modelling approach

Abstract

To predict cracking strength of reinforced concrete beams without stirrups, suggested lots of equations in the regulations (norms) and studies. In the study, regression models are constructed by existing mathematical models as alternatives in order to predict cracking strength of reinforced concrete beams without stirrups. Derived three multi-regression model, in the known regulations and conductions, compared by guessed five reliable equations performance. As a result of the study, instead of used lots of complicated equations that relating to each other in the norms/regulations and researches, by using multi-regression model and constructed an equation; during calculating the cracking and shear strength of reinforced concrete beams, determined the better consequences.

Keywords: Concrete, beam, cracking strength, multi regression model

1. GİRİŞ

Enine donatısız betonarme kirişlerin çatlama kesme mukavemetlerinin tahmini, birçok araştırmacı ve akademisyenin oldukça fazla ilgisini çekmiştir ve çekmektedir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına göre çok düşük olup basınç dayanımının değerinin (beton kalitesine bağlı olarak) yaklaşık %5 ile %9 düzeyindedir. Beton basınç dayanımını etkileyen faktörlerin çekme dayanımı içinde geçerli olduğu söylenebilir. Bunlar arasında agrega boyutlarının dengeli dağılımı, tanecik yapısı, kullanılacak mukavemet değerini etkileyecek su-çimento oranı ve 28 günlük numunenin göstermiş olduğu basınç performansı çekme-kesme dayanımlarını etkilemektedir. Bu veriler ışığında ve deneysel sonuçlar yardımı ile kesme-çatlama basınçlarını ifade eden ampirik bağıntılar oluşturulmuş ve birçok yönetmelik ve çalışma kapsamına alınmıştır.

Enine donatısız betonarme kirişlerin kesme mukavemetini veren pek çok bağıntı olmakla birlikte, bu bağıntıların bağlı oldukları geometrik ve/veya mekanik değişkenler dikkate alınacak olursa, bunların kısıtlı bir süreçte yorumlanması pratik uygulamalarda zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu açıdan mevcut iş gücü, finansal durum ve özellikle zaman faktörü gibi temel parametreler göz önüne alındığında, spesifik bir çıktının veya çıktıların mevcut yapı stoğunu temsil edici yüksek performanslı bir matematiksel model ile yeterli hassasiyetle tahmin edilmesi, mühendislik pratiğinde oldukça önemlidir. Ancak, çok sayıdaki bağımsız değişkene karşılık gelen bir veya birden fazla çıktı ile girdiler arasındaki matematiksel ilişki, gerçek uygulamalarda çoğunlukla karmaşık ve doğrusal olmayan bir formülasyon ortaya koymaktadır. Bu maksatla, mevcut bir olay için geliştirilen matematiksel modeller, gerçek olayların bir temsilcisi olup, söz konusu çıktı parametresini belirli bir hassasiyetle tahmin etmekte kullanılmaktadır. Dolayısıyla, yüksek korelasyonlu (düşük istatistiksel hatalara sahip) bir model geliştirilmesi, anılan konu ile ilgili farklı senaryoların değerlendirilmesi ve deney maliyetinin minimize edilmesi açısından oldukça önemlidir. L. O. Uğur ve A. R. Sivri, “Toplu Konut Projelerinde Maliyetlerin Regresyon Metodu ile İncelenmesi” çalışmasında Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ)’nin yapımını gerçekleştirdiği toplu konut projelerinde kattaki daire sayıları, kat adetleri, yapı blok sayısı, toplam alan (m²), yapım yılı maliyetleri, yapım yılı ve 2013 yılı m² (ÜFE) maliyetleri ilişkisini göstermişlerdir[1]. R. Kanit ve U. N. Baykan yaptıkları “Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi” isimli çalışmada ise, kamuya ait bina yatırımları arasından sağlık ocakları örneklenerek bölge, süre, ihale indirimi ve tahmini m² maliyet parametrelerinin yaklaşık maliyet ile ilişkisi incelemişlerdir[2]. Geliştirilen modellerde, çalışma sınırlarının ortaya koyulması söz konusu modelin pratikte kullanılabilirliği açısından önemli ve gerekli bir koşuldur [3].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Mevcut matematik modeller

Çalışma kapsamında, enine donatısız betonarme kirişlerin kesme mukavemetini tahmin eden dört adet matematik model incelenmiştir. Bu modeller birbirine bağlı birçok denklem ve değişkenden oluşmaktadır. Bu da tasarımcılar için pratik ve hızlı sonuçlar üretme zorluğu yaratmaktadır.

2.1.1. ACI 318

$$V_c = 0.16 \sqrt{f_c} + 17 \rho (V_u d / M_u) \leq 0.29 \sqrt{f_c} \quad (1)$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{f_c} \quad (2)$$

Kesme-çatlama mukavemeti bağıntısı, karakteristik basınç mukavemeti baz alınarak oluşturulmuştur. Üst limit ile sınırlandırılan bağıntı da iki esas denklem elde edilmiştir. Elde edilen denklemlerden birincisinde, kiriş üzerine yüklenen kesme mukavemeti, kiriş etkili derinliği ve kiriş eğilme momenti ile bu verilere dayandırılan donatı oranı ile ampirik kesme-çatlama mukavemeti elde edilmiştir. Esas değişken

karakteristik basınç mukavemeti olup, kullanılan verilerin sağladığı modelde (2) bağıntısında tanımlanan veridir [4].

2.1.2. TS500

$$V_{cr} = 0.65 f_{ct} \quad (3)$$

$$V_c = 0.80 V_{cr} \quad (4)$$

Oluşturulan bu denklemde, elde edilen karakteristik basınç mukavemeti ile çatlama mukavemeti elde edilmiştir. Sonraki aşamada elde edilen veri ile kesme mukavemeti elde edilmiştir. Yapısal güvenilirlik nedeni ile elde edilen katsayı ile çarpılan kritik kesme mukavemeti ile mukavemeti düşürülmüş tasarımda kullanılacak kesme-çatlama mukavemetine ulaşılır [5].

2.1.3. EN1992:2004

$$V_c = 0.12k(100\rho f_c) \geq^{1/3} 0.035k^{3/2} \sqrt{f_c} \quad (5)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \quad (6)$$

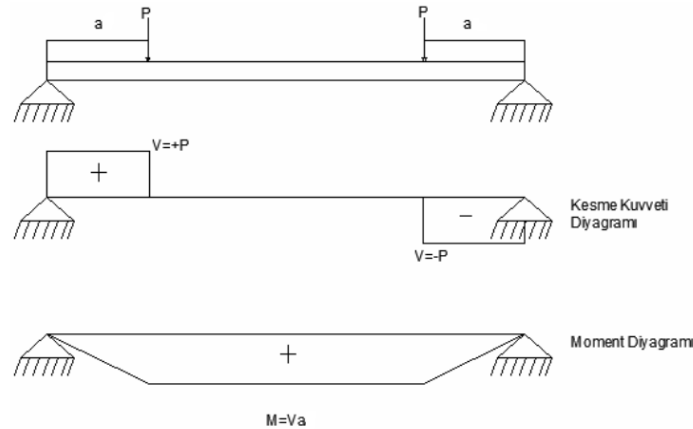
$$\rho \leq 0.02 \quad (7)$$

Kullanılacak denklemde boyuna donatı oranı üst limiti, etkili derinliğe bağlı oluşturulan ve kiriş etkili yüksekliğine bağlı parametre ile elde edilen değer, karakteristik mukavemet ile birlikte kullanılması ile oluşturulan model; kiriş kesme-çatlama mukavemeti değerini vermektedir [6].

2.1.4. Zsutty's

$$V_c = 2.2 \left(\frac{f_c \rho}{a/d} \right)^{1/3} \quad (8)$$

DeneySEL çalışmalar sonucunda oluşturulan bağıntıda; karakteristik basınç mukavemeti, boyuna donatı oranı ve kesme açıklığı etkili yüksekliğe oranı ile kesme-çatlama mukavemetine ulaşılmaktadır [7].



Şekil 1. Kullanılan kesme açıklığının tanımı

Kullanılan tüm dataları sağlayan bağıntıların tamamı a/d şartını sağlamaktadır ve $a/d < 2.5$ tur. Yapılacak modelde kullanılacak veriler Çizelge 1’de belirtildiği gibi özetlenmiştir. Gerekli açıklamalar ise yanlarına yazılmıştır.

Çizelge 1 Kullanılan değişkenlerin açıklaması

Veriler	Açıklamalar
f_c	Karakteristik basınç mukavemeti
ρ	Boyuna donatı oranı
V_u	Kesme Kuvveti
D	Kiriş etkili derinliği
M_u	Kiriş üzerinde oluşan moment değeri
V_c	Kesme-çatlama mukavemeti değeri
f_{ct}	Çekme mukavemeti
A	Kesme kuvvetinin kiriş açıklığı üzerinde mesnete uzaklığı (kesme açıklığı)
K	Kiriş etkili yüksekliğine (derinliğine) bağlı parametre

2.2. Çoklu regresyon modeli

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan istatistiksel analiz yöntemidir. Tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çoklu regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır.

Çoklu regresyon analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak bağımlı değişken üzerindeki değişimin etkisini açıklamaya çalışmaktadır. Çoklu regresyon analizi sosyal bilimlerin (pazarlama, sosyoloji ve psikoloji) yanında birçok mühendislik dalında da kullanım alanı bulmaktadır. Sosyal bilim dallarında davranışsal hareketlerin belirlenmesinde, ekonomide zaman serisi türü ekonomik değişkenleri etkileyen faktörlerin tespiti ve geleceğe yönelik tahmininde kullanım alanı bulmaktadır. Mühendislik alanlarında ise şekillendirme proseslerinde, maliyet analizlerinde ve optimizasyon alanlarında başarıyla uygulanmıştır [8,9,10].

2.2.1. Çoklu regresyon model değişkenlerinin tanımı

Mevcut matematik modellerin incelenmesi ve yapılan ön çalışmalar neticesinde sonuç çıktı üzerinde yüksek korelasyonu olduğu görülen, donatı çapı (ρ), kiriş genişliği (b), etkili derinlik (d), paspay (d') ve agrega çapı (da) değişken olarak seçilmiştir [4,5,6,7].

2.2.2. Veri tabanının oluşturulması

Çoklu regresyon modeli oluşturulurken veri setinin yüksek sayıda veri içermesi, oluşturulan modelin korelasyonu çoğu zaman yükseltmektedir. İlgi konu hakkında literatürde sınırlı sayıda veri yer almakla birlikte, veritabanı oluşturulurken literatürde yer alan mevcut çalışmalardan elde edilen 50 adet deneysel veriden oluşturulmuştur [11,12,13,14,15]. Çizelge 2’de oluşturulan veri tabanındaki mevcut verilerinin tanımlayıcı istatistiksel analizi yapılmıştır.

2.2.3. Çoklu regresyon modelinin oluşturulması

Oluşturulan veri tabanı, 298 adet iki boyutlu (2D) ve 242 adet üç boyutlu (3D) regresyon modeli içeren DataFit® bilimsel programı (Copyright© 1995-2008 Oakdale Engineering V9.0.59) tarafından değerlendirilmiştir. Regresyon modelleri çözümlenirken, elde edilen modeller en uygundan başlayarak kendi içinde otomatik olarak sıralanmıştır. Deneysel veriler, açık veri kaynağı olarak kullanılan Microsoft® Excel veritabanı bağlantısından alınmış ve regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. DataFit® programıyla elde edilen çok değişkenli regresyon modelleri

DataFit® programı yardımıyla kesme mukavemetlerinin tahmini için yapılan çalışma neticesinde, biri eksponansiyel ikisi lineer denklemden oluşan üç farklı çoklu regresyon modeli elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modeli (eksponansiyel model) formülasyon şeklinde ifade edilmek istenirse;

$$v_u = \exp [(0,1561833) \rho + (-1,289 \times 10^{-3}) \times b + (-8,96 \times 10^{-4}) \times d + (-7,023 \times 10^{-3}) \times d' + (-1,848 \times 10^{-2} \times da) + 1,66936] \quad (9)$$

şeklindedir.

Çizelge 3’de t oranının yüksek ve p değerinin düşük olduğu değişkenler, model için etkin girdileri ifade etmektedir [16,17].

Çizelge 2. Model verisinin tanımlayıcı istatistiksel analizi.

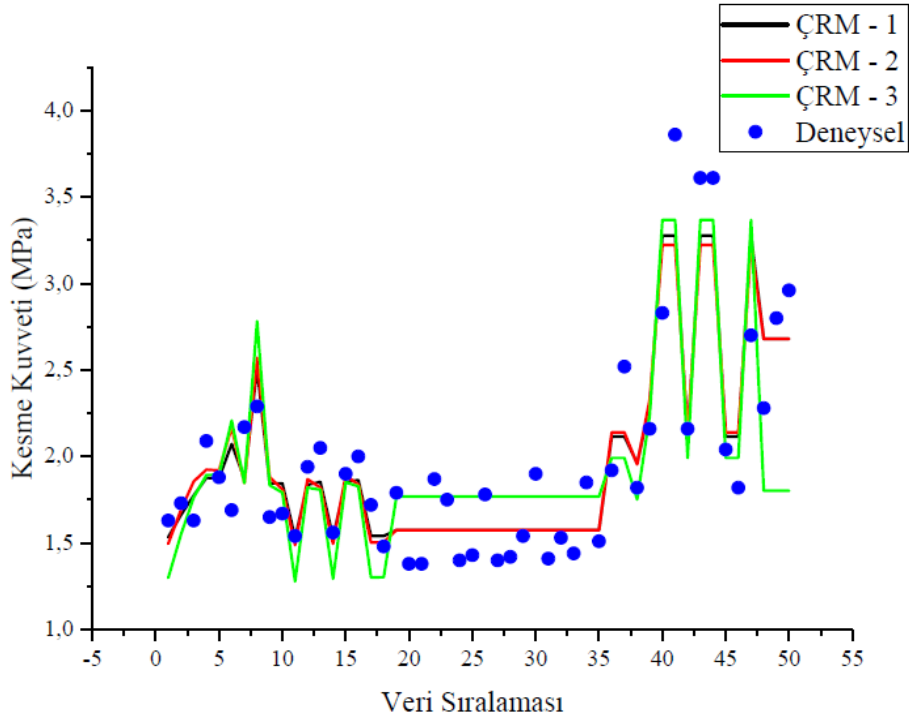
Veriler	Açıklamalar	Birim	Maks. Değer	Min. Değer	Ort. Değer	Std. Sapma
ρ	Boyuna donatı oranı	%	4,16	0,98	2,32	0,76
b	Kiriş genişliği	mm	307,3	150	217,68	57,60
d	Kiriş etkili derinliği	mm	466,1	254	403,41	86,07
d'	Paspay	mm	52	35	50,26	3,94
da	Kiriş agrega çapı	mm	25	19	21,10	2,84
v_u	Deneysel kesme-çatlama mukavemeti	MPa	3,86	1,38	1,97	0,59

Çizelge 3. Kesme mukavemeti tahmininde deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modelinin (eksponansiyel model) katsayıları ve modele ait bazı istatistiksel sonuçlar.

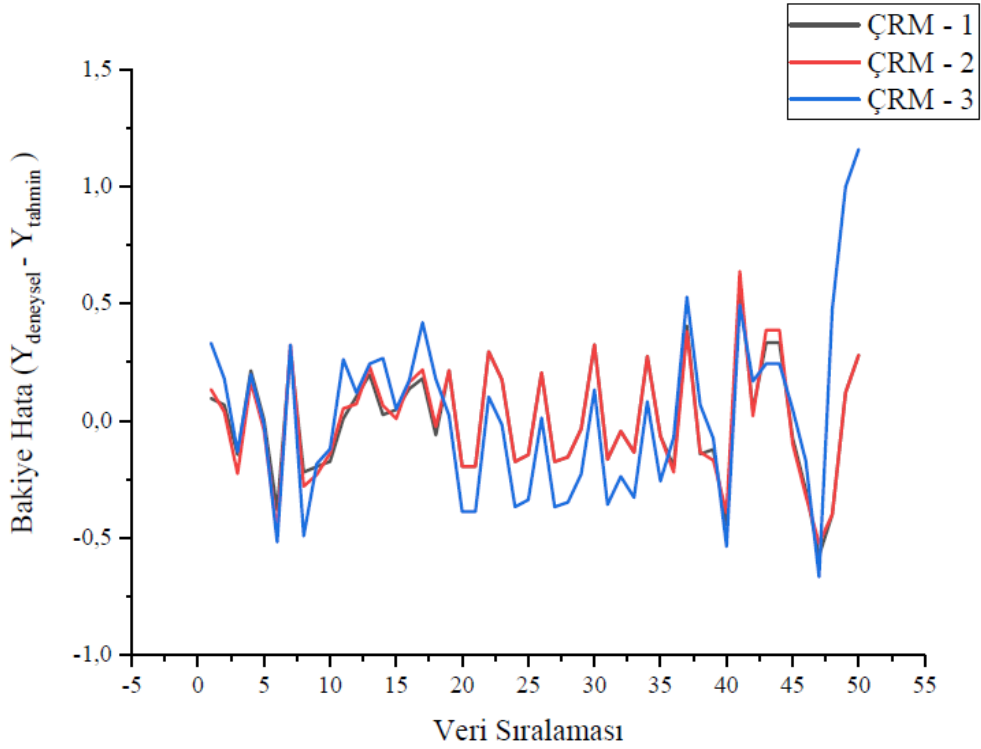
Katsayılar ve Sabit Terim (i)	Girdi Değişkenleri	t oranı	p oranı
a = 0,1561833	Boyuna donatı oranı	7,742480372	0,0
b = -1,289x 10 ⁻³	Kiriş genişliği	-2,36752047	0,02237
c = -8,96 x 10 ⁻⁴	Kiriş etkili derinliği	-2,90297261	0,00576
d = -7,023 x 10 ⁻³	Paspay	-1,84304958	0,07206
e = -1,848 x 10 ⁻²	Kiriş agrega çapı	-2,10301146	0,04122
f = 1,66936	Sabit Terim	6,93932847	0,0

3.2. Tahmin sonuçlarının validasyonu/verifikasyonu

Model sonuçlarının doğrulanması model geliştirmenin en önemli unsurudur. Bunun için görsel ve sayısal yöntemler mevcuttur. Görsel yöntemler, model performansını sezgisel bir şekilde ortaya koymaktadır. Sayısal yöntemler ise matematiksel ifadelerle yer verdiğinden modelin doğrulanması için daha sağlam bir zemin sağlamaktadır [16,17]. Bu çalışmada ortaya konan çoklu regresyon modellerinin validasyonu/verifikasyonu hem görsel hem sayısal yöntemler ile ortaya konmuştur. Şekil 2’de deneysel kesme mukavemetlerin, çoklu regresyon modelleri yardımıyla elde edilen kesme mukavemetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel verilere en iyi uyum sağlayan eğri olarak ÇRM-1 modeli, en az uyum sağlayan eğri ise ÇRM-3 modelidir. Şekil 3’te çoklu regresyon modellerinin bakiye hata grafiklerine yer verilmiştir. Bu egride sıfır bakiye hata ekseninden en az sapan eğrinin ÇRM-1 olduğu görülmüştür. Çizelge 4’te ise oluşturulan üç çoklu regresyon modellerinin ve bu çalışmada incelenen diğer modellerin determinasyon katsayısı (R^2) değerlerine yer verilmiştir. Determinasyon katsayısının yüksek olması oluşturulan ve mevcut modellerin model-veriseti uyumunun yüksek olduğunu göstermektedir. Tüm deneysel veriler kullanılan modelin doğrusu üzerinde yer alabilseydi, hesaplanan R^2 değeri 1’e eşit olacaktır. Aynı şekilde, deneysel verilerin kullanılan modelin doğrusu üzerinde hiçbiri yer almasaydı ise R^2 değeri 0’e eşit olacaktır. Bu bilgiler ışığında oluşturulan 3 model ve incelenen 5 model arasında en başarılı modelin ÇRM-1 olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Regresyon sonucu elde edilen kesme mukavemetinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 3. Regresyon modellerinin bakiye hata grafiği

Çizelge 4 Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörü.

Performans İndikatörü	ÇRM - 1	ÇRM - 2	ÇRM - 3	ACI 318	TS500	NZS	EN1992:2004	Zsutty's
Determinasyon Katsayısı (R ²)	0,83	0,82	0,61	0,57	0,52	0,54	0,62	0,67

4. SONUÇ

Bu çalışmada, enine donatısız betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetlerinin tahmini için DataFit® programı yardımıyla üç adet çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Bu çalışma sayesinde enine donatısız betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetlerinin hesabında matematiksel bir metodolojiye sahip çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır.
2. Çalışma kapsamında, birbirine bağlı çok sayıda denklem yerine tek bir ampirik denklem ile enine donatısız betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetleri tahmin edilmiştir.
3. Tek denklemin mevcut olması enine donatısız betonarme kirişlerin eğik çatlama kesme mukavemetlerine ulaşmak için zaman, maliyet ve hesap sırasındaki hata yapma olasılığını azaltmaktadır.
4. Mevcut problemin çözümü için aynı veritabanı kullanılarak oluşturulan farklı modeller ortaya konulduğunda, yeni modelin başarısının anlaşılabilmesi için regresyon modeli bir karşılaştırma parametresi olarak kullanılabilir.

Bu çalışma geliştirilmeye açık olup;

- a) Veri tabanına eklenecek yeni deneysel veriler ile elde edilen korelasyon değeri artırılabilir ve daha etkin bir model yapısının oluşturulması sağlanabilir.
- b) Farklı türde matematiksel formülasyona sahip regresyon modellerinin mevcut problemde uygulanmasıyla daha yüksek korelasyonlu modeller üretebilir.
- c) Konvansiyonel regresyon modellerine alternatif olarak yüksek kapasiteli yapay zekâ modellerinin (yapay sinir ağları, bulanık mantık, uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi, vb.) mevcut probleme entegre edilmesi neticesinde tahmin performansının üst seviyelere çıkarılması sağlanabilir.

REFERANSLAR

- [1] L. O. Uğuru, A. R. Sivri, “Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2 (2014) 251–270.
- [2] R. Kanit, U. N. Baykan, “Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi”, Politeknik Dergisi, 2004
- [3] Yetilmezsoy, K., “Treatability of Poultry Manure Wastewater Using Anaerobic Sludge Bed Reactor”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008
- [4] ACI Committee 318, Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary, ACI, Farmington Hills, 2008.
- [5] TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [6] Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1, General Rules and Rules For Buildings, CEN, Brussels, EN 1992-1-1:2004.
- [7] Zsutty, T. C., Shear Strength Prediction For Separate Categories of Simple Beam Tests, ACI J Proceed, 68(2): 138-143, 1971.
- [8] Lowe, D., Emsley, M., and Harding, A. ”Predicting Construction Cost Using Multiple Regression Techniques.” J. Constr. Eng. Manage., 132(7), 750–758, 2006.
- [9] Chang, H., Park, D., Lee, Y. ve Yoon, B., “Multiple time period imputation technique for multiple missing traffic variables: nonparametric regression approach” ,Canadian Journal of Civil Engineering, 39(4): 448-459, 2012.
- [10] Mata J, “Interpretation of concrete dam behaviour with artificial neural network and multiple linear regression models”, Engineering Structures, 33(3): 903–910, 2011.
- [11] Bresler B., Scordelis A.C., 1961, Shear strength of reinforced concrete beams, Structures and Materials Research, 100, 3, Dept. of Civil Engineering, University of California, Berkeley, USA.
- [12] Krefeld, W. J.; Thurston, C. W. 1966. Studies of the shear and diagonal tension strength of simply supported reinforced concrete beams, ACI Journal 63(4): 451–476.
- [13] Bresler B., Scordelis A.C., 1966, Shear strength of reinforced concrete beams - Series III. Report No. 65 – 10, Structures and Materials Research, University of California, Berkeley, USA.
- [14] Placas A., Regan P.E., 1971, Shear failure of reinforced concrete beams, ACI Journal, 68, 10, 763-773.

- [15] Mattock A.H., Wang Z., 1984, Shear strength of reinforced concrete members subject to high axial compressive stress, ACI Structural Journal, 11, 3, 287-298.
- [16] Türkdoğan Aydınol, F.İ. ve Yetilmezsoy, K., “A Fuzzy- Logic- Based Model to Predict Biogas and Methane Production Rates in a Pilot- Scale Mesophilic UASB Reactor Treating Molasses Wastewater”, Journal of Hazardous Materials, 182(1-3): 460-471., 2010.
- [17] Akkoyunlu, A., Yetilmezsoy, K., Ertürk, F. ve Öztemel, E., “A neural Network- Based Approach for the Prediction of Urban SO₂ Concentrations in İstanbul Metropolitan Area”, Int. J. Environment and Pollution, 40(4): 301-321, 2010.

Geliş/Received: 5 Nis 2019/5 Apr 2019

Kabul Ediliş/Accepted: 15 May 2019/15 May 2019