

Tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin bulanık mantık metodu ile belirlenmesi

Ertekin Öztekin^{1*} 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Müh.ve Doğa Bil. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Gümüşhane, Türkiye
*ertekinoztekin@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, yapay zekâ yöntemlerinden birisi olan bulanık mantık yöntemi kullanılarak tek donatılı dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki taşıma gücü momentinin hesaplanması için geliştirilen bir model sunulmaktadır. Bu amaç için, karakteristik beton dayanımı, kiriş kesit genişliği, kiriş kesit yüksekliği ve donatı oranı değişken girdi parametreleri olarak, kesit taşıma gücü momenti ise çıktı parametresi olarak alınarak bir bulanık mantık model oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan 240 adet örnek çözümün haricinde, 144 adet farklı çözüm modelin test aşamasında kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda oluşturulan modelin geçerliliği; test aşamasında elde edilen ortalama % 1.31 hata, ortalama % 2.31 mutlak hata, en büyük % 6.45 mutlak hata ve $R^2 = 0.9981$ korelasyon ile ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kiriş, Bulanık mantık, Eğilme, Taşıma gücü momenti

Determination of bearing moment capacities of singly reinforced concrete beams by fuzzy logic method

Abstract

In this study, using the fuzzy logic method, which is one of the artificial intelligence methods, a model developed for the computation of the moment capacity under bending effect of singly reinforced rectangular reinforced concrete beams is presented. In the study, a fuzzy logic model has been constituted by taking concrete characteristic strength, beam section width, beam section height and reinforcement ratio as input parameters, and moment capacity of beam cross-section as output parameter. Apart from the 240 sample solutions used in the constitution of the fuzzy logic model, 144 different solutions were used in the testing phase of the model. At the end of the study, the validity of the developed model was tried to be revealed by computing the correlation coefficient and percent errors.

Keywords: Reinforced concrete beam, Fuzzy logic, Bending, Moment capacity

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak birçok bilgisayar yazılımında ve birçok cihazda klasik çözüm ve hesaplama teknikleri yerini yapay zekâ uygulamalarına bırakmaktadır. Yapay zekânın birçok alanda yaygın şekilde kullanılan yöntemlerinden birisi de bulanık mantık yöntemidir. Bulanık küme kavramına dayanan bu yöntem ilk defa Zadeh[1-3] tarafından ortaya atılmış, daha sonra birçok araştırmacı tarafından kullanılarak ve geliştirilerek günümüzdeki halini almıştır[4,5]. Bulanık mantık yöntemi, insanoğlunun yeterince tecrübe ettiği durumlara benzer durumlar karşısında çıkarım yapma ve tahminde bulunma yeteneğinin yapay zekâdaki karşılığıdır.

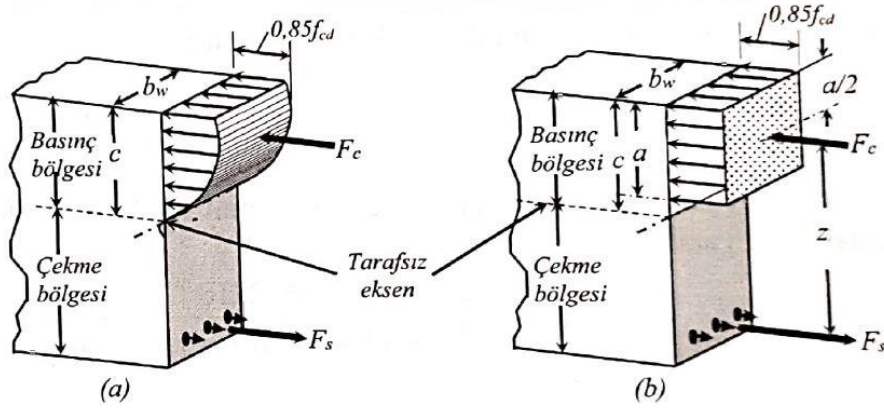
Birçok farklı bilim disiplinde kullanım alanı bulan bulanık mantık yöntemi, inşaat mühendisliği alanında da birçok farklı araştırmada başarıyla kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Güler ve diğerleri [6] tarafından bulanık mantık yaklaşımı ile yüksek dayanımı betonların gerilme şekildeğiştirme modellemesi, Akkurt ve diğerleri [7] tarafından çimento basınç dayanımının tahmini için bulanık mantık modeli, Chao, ve Cheng [8] tarafından betonarme yapılarıdaki çatlakları teşhis etmek için bulanık örüntü tanıma modeli, Nasrollahzadeh ve Basiri [9] tarafından bulanık çıkarım sistemi kullanılarak FRP ile donatılmış betonarme kirişlerin kesme dayanımının tahmini, Karbhari ve Stein [10] tarafından kolonların FRP ile güçlendirilmesine yönelik bulanık mantık tabanlı yaklaşım, Doran ve diğerleri [11] tarafından CFRP ile sarılmış RC kolonları için yanal sargılama katsayısının tahmininde bulanık mantık yaklaşımının uygulanması, Öztekin ve Kumaş[12] tarafından beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi, Pörge[13] tarafından üç eksenli beton basınç dayanımı modellerinin güvenilirliklerinin bulanık mantık yaklaşımı ile incelenmesi olarak verilebilir. Teknik literatürde bulanık mantığın inşaat mühendisliği problemlerine uygulandığı daha birçok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli tek donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisinde taşıyabileceği en büyük eğilme momentinin başka bir deyişle taşıma gücü momentinin belirlenmesi için bir bulanık mantık modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

2. TEK DONATILI DİKDÖRTGEN KESİTLİ KİRİŞLERİN TAŞIMA GÜCÜ MOMENTİNİN HESABI

Eğilme etkisi altındaki kesitlerin taşıma gücü momenti, kesitte kullanılan betonun ve donatının mekanik özellikleri ile kesitin geometrisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Betonun gerilme şekildeğiştirme eğrisi söz konusu kesitin basınç bölgesine yerleştirilir. Kesitin basınç etkisinde kalan bölgesi ile çekme gerilmeleri etkisinde kalan bölgesini ayıran tarafsız eksenin yeri, betonun basınç altındaki birim ezilme kısılması ile donatının akma birim uzaması kullanılarak Bernoulli Navier hipotezi (düzlem kesitler şekildeğiştirmeden sonra düzlem kalır) yardımıyla belirlenir. Daha sonra kesin basınç etkisinde kalan bölgesine yerleştirilen gerilme şekildeğiştirme diyagramı ile bu bölgede oluşan ve beton tarafından taşınan toplam basınç kuvveti (F_c) hesaplanır(Şekil 1-a). Hesaplamalarda kolaylık için kesitin basınç bölgesinde oluşan gerçek gerilme şekildeğiştirme bloğu yerine, genellikle aynı bileşke kuvvetine ve etkime noktasına sahip eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu kullanılır (Şekil 1-b).

Kesit yüksekliği h , etkin kesit yüksekliği (faydalı yükseklik) d , çekme bölgesindeki Asal çekme donatısı alanı A_s , tarafsız eksen derinliği c olan bir kesitin taşıma gücü momenti denklem 1 ile hesaplanabilmektedir. denklem 2 ile betonarme kiriş kesitindeki mevcut donatı oranı hesaplanırken, denklem 3 ve denklem 4 ile minimum ve maksimum donatı oranlarının yönetmeliklerdeki sınırları belirlenir. Bu ilk dört denklemin içerisindeki diğer parametreler Denklem 6, 7, 8, 9 ve 10 ile eşitliklerle belirlenebilmektedir[14].



Şekil 1. Tek donatılı kirişlerin taşıma gücü momentinin hesabı için (a) gerçek gerilme şekil değiştirme bloğu ile (b) Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu [14]

$$M_r = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (1)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (2)$$

$$\rho_{min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (3)$$

$$\rho_{max} \leq \begin{cases} 0.85\rho_b & (TS 500 - 2000) \\ 0.02 & (TBDY - 2018) \end{cases} \quad (4)$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max} \quad (5)$$

$$f_{ctd} = \frac{0.35\sqrt{f_{ck}}}{1.5} \quad (6)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} \quad (7)$$

$$\rho_b = 0.85k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{600}{600+f_{yd}}\right) \quad (8)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (9)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_w} \quad (10)$$

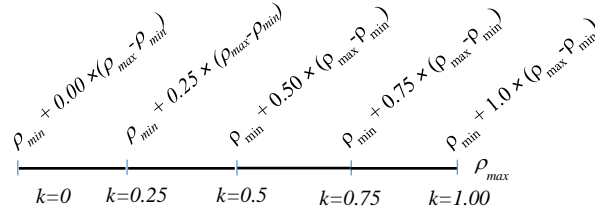
Hesaplamalarda betonun ezilme şekildeğiştirilmesi $\varepsilon_{cu} = 0.003$, donatının elasto-plastik davranış gösterdiği varsayımı ile ve elastisite modülü $E_s = 2.10^5 \text{ MPa}$ olarak alınır. Denklem 1 de yer alan ve Denklem 10 ile hesaplanan "a" parametresi eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliğidir. k_1 parametresi eşdeğer gerilme bloğunu tanımlayan parametrelerden biridir ve $k_1 = a/c$ eşitliği ile hesaplanır. Kesit etkin yüksekliği veya faydalı yükseklik olarak tanımlanan d parametresi ise kesit yüksekliğinden beton örtü kalınlığının çıkarılması ile elde edilir. Bu hesaplamalarla ilgili çok daha detaylı bilgiler birçok betonarme kitabında daha açık bir şekilde verilmektedir[14, 15].

3. BULANIK MANTIK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentini bulanık mantık yardımıyla belirleyebilmek amacıyla Denklem 1-10 ile verilen bağıntılar kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümlerde, donatı sınıfı olarak piyasada günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan B420 C sınıfı donatı çeliği, 25 mm 'lik beton örtü kalınlığı ve eşdeğer gerilme bloğunu tanımlayan k_1 parametresinin değeri $k_1 = 0.8$ olarak sabit alınmışlardır.

Geliştirilmeye çalışılan bulanık mantık modelinin sayısal verisinin oluşturulmasında kiriş genişliği (b_w) kiriş yüksekliği (h), karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) ve donatı oranının Denklem 11 de ve Şekil 2'deki gibi maksimum ile minimum donatı oranı arasında dikkate alınabilmesini sağlayan ve değeri 0 ile 1 arasında değer alan bir k katsayısı değişken parametreler olarak dikkate alınmışlardır.

$$\rho = \rho_{min} + k \times (\rho_{max} - \rho_{min}) \quad (11)$$



Şekil 2. Donatı oranına ait bulanık kümelerin belirlenmesi

Donatı oranı bu çalışmada doğrudan değişken olarak alınmamıştır. Bunun sebebi taşıma gücü hesaplamalarında donatının kesitteki miktarının alt ve üst sınırlarını tanımlayan minimum ve maksimum donatı oranı değerlerinin problemin diğer parametrelerinin (f_{ck} , f_{yk} , k_1) değerlerine bağlı olarak farklı değerler almasıdır. Diğer bir ifade ile, farklı dayanıma sahip beton ve donatı sınıfı kullanılması durumunda minimum ve maksimum donatı oranı değerleri farklı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle geliştirilen modelde tüm kesitlerde kullanılacak donatı oranı için belirli bir minimum ve maksimum donatı oranı sınırlarından bahsetmek mümkün olmamaktadır. Donatı oranı parametresi için oluşturulacak bulanık kümelerin belirli ortak değerler ile oluşturulması problem çözümlerinin ya çok kısıtlı bir değer aralığı için gerçekleştirilmesine ya da yönetmeliklerin [16, 17] şart koştuğu minimum ve maksimum donatı oranı sınırlarının dışında çözümler yapılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle geliştirilen bulanık mantık modelinin daha genel çözümlere hitap edebilmesi ve bu çalışmadaki tüm kiriş kesit geometrilerinde yönetmeliklerin şart koştuğu minimum ve maksimum sınırları aşmayan donatı oranlarına ilişkin ortak bulanık kümelerin tanımlanması gerekmektedir. Bu gerekliliği karşılamak için 11 numaralı denklemde kullanılan k katsayısı değişken olarak tanımlanmıştır. Bu parametre ile herhangi bir kiriş kesitinde

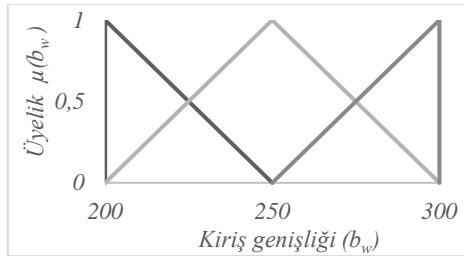
kullanılabilecek farklı minimum ve maksimum donatı oranı değerlerinin oluşturduğu değer aralığında belirli aralıklarla donatı oranı değerleri tanımlanabilmektedir.

Bulanık mantık algoritmasının problemi tecrübe etmesi için yukarıda bahsedilen dört değişken parametreye ait bulanık kümeler Tablo 1 deki gibi oluşturulmuştur.

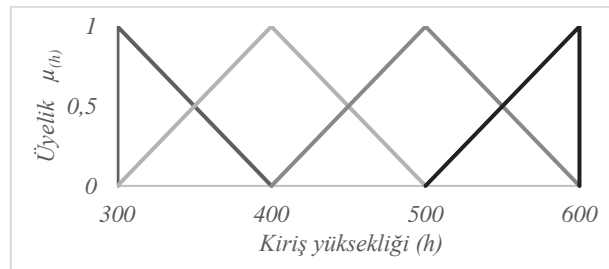
Tablo 1. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan bulanık kümeler

<i>Değişkenler</i>	<i>Bulanık kümeler</i>
b_w (mm)	200, 250, 300
h (mm)	300, 400, 500, 600
f_{ck} (MPa)	20, 30, 40, 50
k ($0 \leq k \leq 1$)	0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00

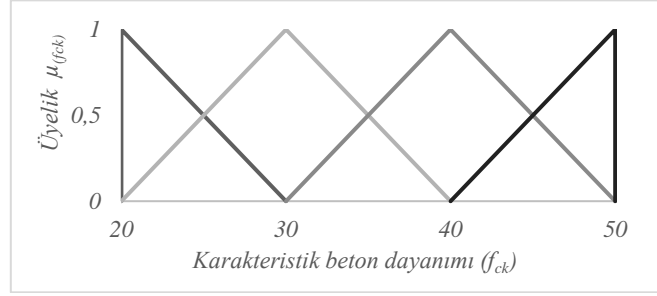
Tablo 1 'den anlaşılacağı üzere kiriş genişliği için 3 adet, kiriş yüksekliği için 4 adet, beton basınç dayanımı için 4 adet ve donatı oranının belirlenmesinde kullanılan k katsayısı için 5 adet bulanık küme tanımlanmıştır. Bu dört değişken parametrenin bulanık kümeleri üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



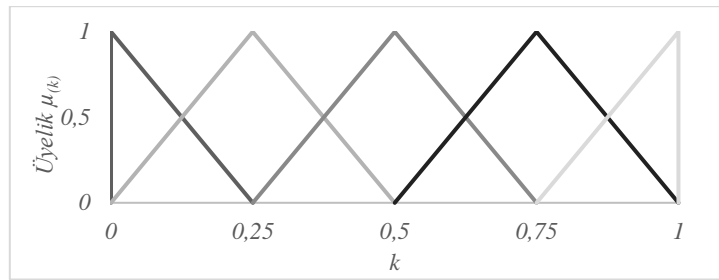
Şekil 3. Kiriş genişliğine (b_w) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 4. Kiriş yüksekliğine (h) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 5. Karakteristik beton dayanımına (f_{ck}) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 6. Donatı oranını tanımlayan (k) parametresine ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi

Bulanık model; tek çıktısı kiriş taşıma gücü momenti M_r olacak şekilde tasarlanmıştır. M_r çıktısı için 234 adet bulanık küme üçgen üyelik fonksiyonları ile oluşturulmuştur. Bu bulanık kümelerin oluşturulması için değişken parametrelerin bulanık kümelerinin üyelikleri 1'e karşılık gelen değerlerinin yani Tablo 1 de verilen değerlerin tüm kombinasyonları için $3 \times 4 \times 4 \times 5 = 240$ adet klasik betonarme hesapları gerçekleştirilmiştir. 240 adet farklı kiriş çözümü sonunda 234 adet farklı çıktı elde edilmiştir. Bu nedenle M_r çıktısı için 234 adet bulanık küme oluşturulmuştur. M_r çıktısına ait bulanık küme sayısı çok fazla olduğunda burada grafik olarak verilememiştir. Bulanık modelin kural tablosu için tüm farklı çözümler için yani farklı 240 çözüm için 240 adet kural oluşturulmuştur.

4. BULANIK MANTIK MODELİNİN TEST EDİLMESİ

Geliştirilen bulanık mantık modeli b , h , f_{ck} ve k değişkenlerinin bulanık kümelerinin üyelikleri 1'e karşılık gelen değerlerinin dışında ve en küçük ve en büyük bulanık küme değerleri arasında kalacak şekilde değerler kullanılarak test edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Bulanık mantık modelinin test edilmesinde kullanılan değerler

Değişkenler	Değerler
b_w (mm)	220, 240, 260, 280
h (mm)	350, 450, 550
f_{ck} (MPa)	25, 35, 45
k	0.15, 0.40, 0.65, 0.90

Tablo 2 ‘den de görülebileceği gibi, b_w parametresi için 4, h parametresi için 3, f_{ck} parametresi için 3 ve k parametresi için 4 farklı değer kombine edilerek 144 adet farklı test çözümü oluşturulmuştur. Bulanık mantık modelinin çözüm üretme yeteneğini iyi bir şekilde ortaya koymak için, genellikle modelin oluşturulmasında kullanılan data sayısının % 10’unun makul olarak kabul edildiği test sayısı, bu çalışmada model oluşturma dasetinin %60 ‘ına tekabül eden yüksek bir sayıda tutulmuştur.

Bulanık mantık hesaplamaları için yazar tarafında Visual Basic programlama dilinde yazılmış bir bilgisayar kodu kullanılmıştır. Bulanık mantık çözümlenmeleri kapsamında “*Weighth of Avarage Method*” olarak anılan yöntem bu çalışmada durulaştırma yöntemi olarak kullanılmıştır.

Geliştirilen bulanık mantık modelin çıktılarının doğru olup olmadığını ortaya koymak için bu çıktılar, aynı örnekler için gerçekleştirilen klasik betonarme hesap sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda 144 adet test örneği için % hata değerleri Denklem 12 de verilen eşitlik ile hesaplanarak Tablo 3 teki gibi belirlenmiştir. Daha sonra hataların ortalama değerleri, mutlak değerce hataların ortalama değerleri, mutlak değerce en büyük hata değerleri belirlenmiş ve son olarak istatistiksel olarak bulanık mantık çıktıları ile betonarme hesap sonuçları arasındaki ilişkiyi ifade eden ilişki(korelasyon) katsayısı (R^2) hesaplanarak Tablo 3 ün sonunda verilmiştir.

$$\% \text{ Hata} = \frac{M_r^{\text{Bulanık Mantık}} - M_r^{\text{betonarme}}}{M_r^{\text{betonarme}}} \times 100 \quad (12)$$

Tablo 3. Bulanık Mantık modelinin test edilmesinde kullanılan test örnekleri ile sonuçlar ve % hata miktarları

b_w mm	h mm	f_{ck} MPa	k	$M_r^{\text{B.arme}}$ kNm	$M_r^{\text{B-Mantık}}$ kNm	% Hata	b_w mm	h mm	f_{ck} MPa	k	$M_r^{\text{B.arme}}$ kNm	$M_r^{\text{B-Mantık}}$ kNm	% Hata
220	350	25	0.15	40.99	40.31	1.66	280	450	45	0.15	140.46	132.39	5.74
240	350	25	0.15	44.72	42.67	4.58	220	550	45	0.15	168.41	161.69	3.99
260	350	25	0.15	48.44	48.20	0.51	240	550	45	0.15	183.72	171.88	6.45
280	350	25	0.15	52.17	50.15	3.88	260	550	45	0.15	199.03	193.61	2.72
220	450	25	0.15	70.10	68.25	2.63	280	550	45	0.15	214.34	200.78	6.33
240	450	25	0.15	76.47	72.32	5.43	220	350	25	0.40	64.08	64.45	-0.59
260	450	25	0.15	82.84	81.76	1.31	240	350	25	0.40	69.90	67.99	2.73
280	450	25	0.15	89.22	85.03	4.69	260	350	25	0.40	75.73	76.81	-1.42
220	550	25	0.15	106.97	103.82	2.94	280	350	25	0.40	81.56	79.90	2.02
240	550	25	0.15	116.69	110.05	5.69	220	450	25	0.40	109.58	109.36	0.20
260	550	25	0.15	126.41	124.20	1.76	240	450	25	0.40	119.54	115.31	3.54
280	550	25	0.15	136.14	129.01	5.24	260	450	25	0.40	129.50	130.29	-0.60
220	350	35	0.15	53.03	51.63	2.64	280	450	25	0.40	139.46	135.60	2.77
240	350	35	0.15	57.85	54.81	5.26	220	550	25	0.40	167.21	165.92	0.77
260	350	35	0.15	62.67	61.94	1.17	240	550	25	0.40	182.41	174.82	4.16
280	350	35	0.15	67.50	64.35	4.66	260	550	25	0.40	197.62	197.48	0.07
220	450	35	0.15	90.69	88.02	2.94	280	550	25	0.40	212.82	205.66	3.36
240	450	35	0.15	98.93	93.53	5.46	220	350	35	0.40	86.94	87.50	-0.64
260	450	35	0.15	107.18	105.44	1.62	240	350	35	0.40	94.85	92.40	2.58
280	450	35	0.15	115.42	109.31	5.29	260	350	35	0.40	102.75	104.29	-1.49
220	550	35	0.15	138.39	133.44	3.57	280	350	35	0.40	110.65	108.39	2.04
240	550	35	0.15	150.97	141.68	6.15	220	450	35	0.40	148.68	148.39	0.19
260	550	35	0.15	163.55	159.65	2.38	240	450	35	0.40	162.19	156.65	3.42
280	550	35	0.15	176.13	165.63	5.96	260	450	35	0.40	175.71	176.60	-0.51
220	350	45	0.15	64.54	62.92	2.50	280	450	35	0.40	189.22	183.51	3.02
240	350	45	0.15	70.40	66.87	5.02	220	550	35	0.40	226.87	224.81	0.91
260	350	45	0.15	76.27	75.20	1.41	240	550	35	0.40	247.50	237.13	4.19
280	350	45	0.15	82.14	77.92	5.13	260	550	35	0.40	268.12	267.63	0.18
220	450	45	0.15	110.36	106.66	3.35	280	550	35	0.40	288.75	278.46	3.56

240	450	45	0.15	120.4	113.49	5.74		220	550	45	0.40	109.47	110.19	-0.65
260	450	45	0.15	130.43	127.8	2.02		240	350	45	0.40	119.42	116.37	2.55
									350					

Tablo 3. 'ün devamı

<i>bw</i>	<i>h</i>	<i>f_{ck}</i>	<i>k</i>	<i>M_r^{B.arme}</i>	<i>M_r^{B-Mantık}</i>	%	<i>bw</i>	<i>h</i>	<i>f_{ck}</i>	<i>k</i>	<i>M_r^{B.arme}</i>	<i>M_r^{B-Mantık}</i>	%
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>		<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Hata</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>		<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Hata</i>
260	350	45	0.40	129.37	131.23	-1.44	280	450	45	0.65	325.52	319.48	1.85
280	350	45	0.40	139.32	136.38	2.11	220	550	45	0.65	390.28	393.58	-0.84
220	450	45	0.40	187.20	186.54	0.35	240	550	45	0.65	425.76	416.12	2.27
240	450	45	0.40	204.22	197.00	3.53	260	550	45	0.65	461.24	468.45	-1.56
260	450	45	0.40	221.24	222.33	-0.5	280	550	45	0.65	496.72	485.02	2.36
280	450	45	0.40	238.25	231.14	2.99	220	350	25	0.90	103.10	105.18	-2.01
220	550	45	0.40	285.66	282.86	0.98	240	350	25	0.90	112.47	110.44	1.81
240	550	45	0.40	311.63	298.62	4.18	260	350	25	0.90	121.85	124.67	-2.32
260	550	45	0.40	337.59	337.16	0.13	280	350	25	0.90	131.22	129.91	1.00
280	550	45	0.40	363.56	350.7	3.54	220	450	25	0.90	176.31	178.38	-1.18
220	350	25	0.65	84.78	86.34	-1.84	240	450	25	0.90	192.34	187.54	2.49
240	350	25	0.65	92.49	90.89	1.73	260	450	25	0.90	208.37	211.82	-1.66
260	350	25	0.65	100.20	102.67	-2.47	280	450	25	0.90	224.39	220.57	1.70
280	350	25	0.65	107.91	106.91	0.93	220	550	25	0.90	269.04	270.52	-0.55
220	450	25	0.65	144.98	146.28	-0.89	240	550	25	0.90	293.50	284.46	3.08
240	450	25	0.65	158.16	153.98	2.64	260	550	25	0.9	317.96	321.82	-1.22
260	450	25	0.65	171.34	173.94	-1.51	280	550	25	0.9	342.41	335.39	2.05
280	450	25	0.65	184.52	181.09	1.86	220	350	35	0.9	143.98	147.36	-2.35
220	550	25	0.65	221.24	221.67	-0.19	240	350	35	0.9	157.07	154.96	1.35
240	550	25	0.65	241.35	233.25	3.35	260	350	35	0.9	170.16	174.88	-2.77
260	550	25	0.65	261.46	263.63	-0.83	280	350	35	0.9	183.25	182.00	0.68
280	550	25	0.65	281.57	274.65	2.46	220	450	35	0.9	246.22	250.8	-1.86
220	350	35	0.65	117.26	119.77	-2.14	240	450	35	0.9	268.6	263.890	1.76
240	350	35	0.65	127.92	126.36	1.22	260	450	35	0.9	290.98	297.22	-2.14
260	350	35	0.65	138.58	142.66	-2.94	280	450	35	0.9	313.37	308.90	1.43
280	350	35	0.65	149.24	148.22	0.68	220	550	35	0.9	375.72	380.28	-1.22
220	450	35	0.65	200.52	203.08	-1.28	240	550	35	0.9	409.87	400.17	2.37
240	450	35	0.65	218.75	214.03	2.16	260	550	35	0.9	444.03	449.78	-1.30
260	450	35	0.65	236.98	241.10	-1.74	280	550	35	0.9	478.18	466.91	2.36
280	450	35	0.65	255.21	250.42	1.88	220	350	45	0.9	184.82	189.67	-2.62
220	550	35	0.65	305.98	307.26	-0.42	240	350	45	0.9	201.62	199.82	0.9
240	550	35	0.65	333.80	323.6	3.05	260	350	45	0.9	218.42	225.72	-3.34
260	550	35	0.65	361.62	364.66	-0.84	280	350	45	0.9	235.23	234.7	0.22
280	550	35	0.65	389.43	379.01	2.68	220	450	45	0.9	316.06	323.18	-2.25
220	350	45	0.65	149.56	152.67	-2.08	240	450	45	0.9	344.79	340.64	1.2
240	350	45	0.65	163.16	161.12	1.25	260	450	45	0.9	373.52	383.52	-2.68
260	350	45	0.65	176.76	181.9	-2.91	280	450	45	0.9	402.25	397.9	1.08
280	350	45	0.65	190.35	188.94	0.74	220	550	45	0.9	482.28	495.62	-2.76
220	450	45	0.65	255.76	258.61	-1.11	240	550	45	0.9	526.13	524.31	0.35
240	450	45	0.65	279.01	272.94	2.18	260	550	45	0.9	569.97	584.71	-2.59
260	450	45	0.65	302.27	307.79	-1.83	280	550	45	0.9	613.82	601.5	2.01

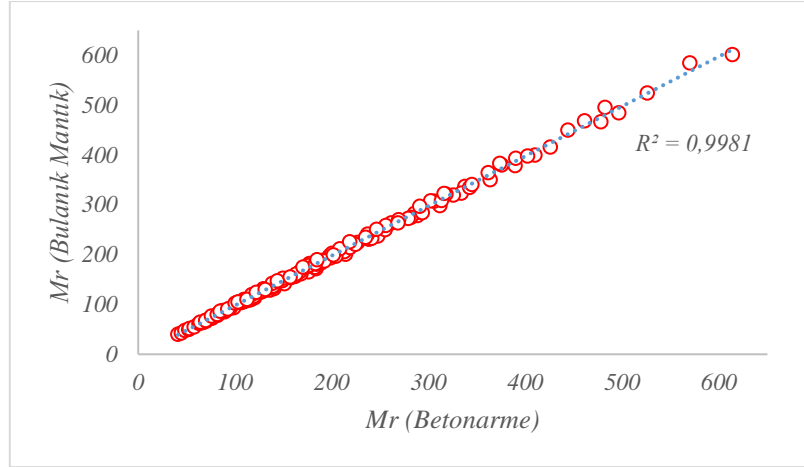
Ortalama % Hata = 1.31

Ortalama mutlak % Hata = 2.31

En büyük mutlak % Hata = 6.45

Korelasyon Katsayısı $R^2 = 0.9981$

Tablo 3 ün alt satırlarında verildiği gibi bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli 144 farklı tek donatılı dikdörtgen kiriş için, ortalama 1.31 yüzde hata ile, ortalama 2.31 mutlak yüzde hata ile, en büyük 6.45 mutlak değerce hata ile ve $R^2 = 0.9981$ korelasyon ile sonuç üretmiştir. Bu sonuçların betonarme hesaplarla oldukça uyumlu olduğu Şekil 7 den kolayca anlaşılabilir. Yaklaşık 6.5 olarak hesaplanan en büyük mutlak % hata değerinin, betonarme hesaplamalarda yapılan birçok kabul ve belirsizlikler dikkate alındığında, oldukça makul ve kabul edilebilir bir hata miktarı olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Bulanık çıktılar ile betonarme çözümler arasındaki uyum ve ilişileşim

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, eğilme momenti etkisindeki tek donatılı dikdörtgen kirişlerin taşıma gücü momentleri yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık yaklaşımı ile başarıyla hesaplanabilmiştir. Oluşturulan bulanık mantık modeli, TS500 ve Türk Bina Deprem Yönetmeliklerindeki maksimum ve minimum donatı oranları arasındaki donatı oranları için geliştirilmiştir. Bu donatı oranları dışındaki donatı kullanımında model, doğru sonuç üretmeyeceği için kullanılamaz. Benzer şekilde bu çalışmada geliştirilen modelin, Tablo 1 de gösterilen değişken parametrelere ait en küçük ve en büyük değerlerinin dışındaki değerler için kullanılamayacağı bu yöntemin doğası gereğidir. Daha yaygın kullanım için Tablo 1 de verilen değişken değer aralıklarının büyütülerek yeni bir modelin oluşturulması gerekmektedir. Son olarak, bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirilen modelin, yapısal analiz ve tasarım yazılımlarındaki tek donatılı kirişlerin taşıma gücü momentlerinin belirlenmesinde, çalışmanın içeriğinde belirtilen problem parametrelerine ait değer aralıkları içinde kalmak kaydıyla ve kabul edilebilir bir hata miktarı ile kullanılabilceği ortaya konulmuştur.

6. REFERANSLAR

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. Fuzzy sets, 8(3), 338-353.
- [2] Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, (1), 28-44.
- [3] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. Information sciences, 9(1), 43-80.
- [4] Mamdani, E. H., and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International journal of man-machine studies, 7(1), 1-13.
- [5] Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. International Journal of Man-Machine Studies, 8(6), 669-678.

- [6] Güler, K., Demir, F., and Pakdamar, F. (2012). Stress–strain modelling of high strength concrete by fuzzy logic approach. *Construction and Building Materials*, 37, 680-684.
- [7] Akkurt, S., Tayfur, G., and Can, S. (2004). Fuzzy logic model for the prediction of cement compressive strength. *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1429-1433.
- [8] Chao, C. J., and Cheng, F. P. (1998). Fuzzy pattern recognition model for diagnosing cracks in RC structures. *Journal of computing in civil engineering*, 12(2), 111-119.
- [9] Nasrollahzadeh, K., and Basiri, M. M. (2014). Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams using fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1006-1020.
- [10] Karbhari, V. M., and Stein, M. (2007). Fuzzy logic based approach to FRP retrofit of columns. *Composites Part B: Engineering*, 38(5-6), 651-673.
- [11] Doran, B., Yetilmezsoy, K., and Murtazaoglu, S. (2015). Application of fuzzy logic approach in predicting the lateral confinement coefficient for RC columns wrapped with CFRP. *Engineering Structures*, 88, 74-91.
- [12] Öztekin, E., ve Kumaş, F. (2015). Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi, *Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, Bayburt.
- [13] Pörge, B. (2019). Investigation of reliabilities of the triaxial concrete compressive strength models by fuzzy logic approach, *Yüksek Lisans Tezi*, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- [14] Doğangün, A., (2019). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, (16. Baskı) Ankara, Türkiye, Birsen Yayınevi.
- [15] Ersoy, U., Canbay, E. ve Özcebe, G. (2019), *Betonarme Cilt 2 - Özel Konular: TS 500-2000 ve TBDY-2019'a Uygun Olarak Geliştirilmiş Yeni Baskı* (9. Baskı), İstanbul, Türkiye, Evrim Yayınevi
- [16] Türk Standardı, (2000). *Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500-2000)*, Ankara, Türkiye, Türk Standartları
- [17] Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2018). *Türk Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY-2018)*, Afet ve Acil Durum Yönetimi, Ankara, Türkiye.