

Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Süneklik Düzeyi Sınırlı Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımlarının Hesabı

Ertekin ÖZTEKİN^{1*} 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Müh.ve Doğa Bil. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

*ertekinotekin@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, süneklik düzeyi sınırlı dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin kesme dayanımının hesabı için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, kesit genişliği, kesit yüksekliği, beton örtüsü kalınlığı, karakteristik beton basınç dayanımı ve etriye aralığı değişken parametre olarak, dikdörtgen betonarme kesitin kesme dayanımı ise çıktı parametresi olarak tanımlanmıştır. Çalışmada değişken parametreler için önceden belirlenen tüm değerlerin kombinasyonu sonucu 600 adet örnek problem datası bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu modeli oluşturmak için kullanılan datanın haricinde 120 adet data ise oluşturulan modelin test edilmesinde kullanılmıştır. Test sonuçları üzerinde gerçekleştirilen irdelemelerde ortalama mutlak yüzde hata değeri % 0,22 olarak, korelasyon katsayısı $R^2 = 0.9997$ olarak elde edilmiştir. Elde edilen test sonuçları ve bu sonuçlar üzerinde yapılan irdelemeler ile bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modelinin, bu çalışmada belirtilen değişken parametrelere ait değer aralıklarında kalmak kaydıyla, dikdörtgen betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenmesinde rahatlıkla kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kiriş, Bulanık mantık, Kesme dayanımı, Sınırlı süneklik

Computation of shear strength of reinforced concrete beams with limited ductility using fuzzy logic approach

Abstract

In this study, fuzzy logic method has been used to compute the shear strength of rectangular reinforced concrete beams with limited ductility level. In the study, section width, section height, concrete cover thickness, characteristic concrete compressive strength and stirrup space are defined as variable parameters, and shear strength of rectangular reinforced concrete section is defined as output parameter. 600 sample problem data constituted by combination of all predetermined values for the variable parameters were used in the development of the fuzzy logic model. Apart from the data used to develop this model, 120 different sample data were used to test the model. In the examinations performed on the test results, the average absolute error value was found as 0.22% and the correlation coefficient was obtained as $R^2 = 0.9997$. It has been revealed with the test results obtained and the examinations made on these results that the fuzzy logic model developed in this study can be easily used in determining the shear strength of rectangular reinforced concrete beams, provided that the variable parameters remain within the value ranges of specified in this study.

Keywords: Reinforced concrete beam, Fuzzy logic, Shear strength, Limited ductility

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır deneysel çalışmalara dayalı olarak geliştirilen analitik bağıntılar, günümüzde halen betonarme hesap ve tasarımların yapıldığı bilgisayar paket programlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dijital çağ ile birlikte çok hızlı bir şekilde gelişen donanım teknolojilerine ve yazılım tekniklerine paralel olarak, yıllardır biriken veriler üzerinde işlemler yaparak, çözümler gerçekleştirmek, tahminler yapmak artık daha kolay ve daha cazip hale gelmiştir. Özellikle yapay zekâ adı verilen ve doğadaki hemen hemen tüm işleyişteki ve yaratılmışların en mükemmeli olan insandaki özelliklerden esinlenilerek geliştirilen bilgisayar yazılım teknikleri ile birçok problem artık çok daha hızlı ve yüksek hassasiyetle çözülebilir olmuştur. Bulanık mantık yöntemi de bu yapay zekâ yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, bulanık küme teorisi ve insanın tecrübe ettiği durumlardan yeni çıkarımlar yapabilme yeteneği birleştirilerek geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisi ilk defa Azeri kökenli Lütüfi Zadeh [1-3] tarafından ortaya atılmış, daha sonra birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Bu araştırmacıların en önemlilerinden birisi Mamdani dir. Mamdani çalışmalarında söylemsel ya da başka bir deyişle dilsel kavramları bulanık kontrol edicilerde kullanmayı başarmıştır[4-5].

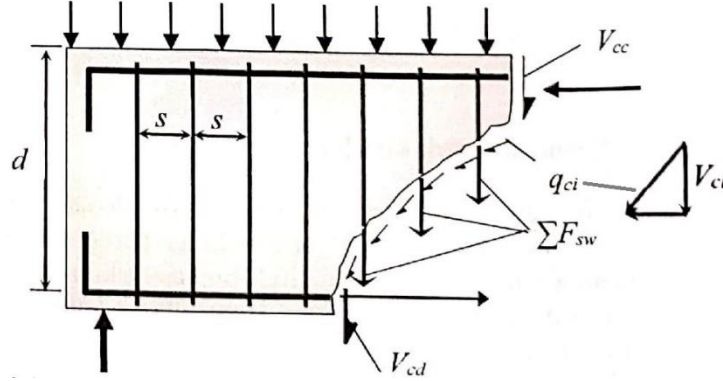
Hemen hemen tüm disiplinlerde yaygın olarak kullanılan bulanık mantık yöntemi, inşaat mühendisliği alanında da birçok farklı araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmalardan bazılarından şunlardır. Pakdamar ve Güler, betonarme yapıların performans değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır[6]. Jafer bulanık mantık yöntemini normal ve yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin nihai kesme kapasitesinin tahmininde kullanmıştır[7]. Nasrollahzadeh ve Basiri bulanık çıkarım sistemi kullanılarak FRP ile donatılmış betonarme kirişlerin kesme dayanımının tahmin etmeye çalışmışlardır[8]. Öztekin ve Kumaş, beton gerilme şekil değiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir[9]. Baykan ve diğerleri, tahribatsız test sonuçları kullanarak betonun basınç dayanımını tahmin etmek için bir bulanık mantık model geliştirmişlerdir[10]. Pöрге, üç eksenli beton basınç dayanımı modellerinin güvenilirliklerinin değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanmıştır[11]. Nagarkar ve diğerleri, bulanık mantık ve model ağacı kullanarak beton basınç dayanımının tahmin etmeye çalışmışlardır[12]. Literatürde inşaat mühendisliği alanında bulanık mantık yönteminin kullanıldığı daha birçok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada süneklik düzeyi sınırlı dikdörtgen kesitli betonarme kiriş tasarımı ve/veya denetimlerinde mutlaka gerçekleştirilmesi gereken hesaplardan birisi olan kiriş kesme dayanımının belirlenmesi için bir bulanık mantık modeli geliştirilmeye çalışılmış ve modelin geliştirilme aşamaları ile test edilerek doğrulanması başka bir deyişle kullanılabilirliğinin ortaya konulması ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAYANIMININ HESABI

Bu çalışmada gerçekleştirilen süneklik düzeyi sınırlı dikdörtgen betonarme kirişlerin hesabı için Türkiye’de halen yürürlükte olan geçerli olan iki yönetmelik esas alınmıştır. Bu yönetmeliklerden biri, “Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500-2000)” ve diğeri “Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)” dir [13,14]. Türk bina deprem yönetmeliğinde kesme kuvveti hesabı ve tasarımı süneklik düzeyi sınırlı ve süneklik düzeyi yüksek olan kirişler için ayrı ayrı verilmektedir. Bu çalışma, süneklik düzeyi sınırlı kirişler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kesme donatısı bulunan bir kirişte, dış yüklerden oluşan kesme etkisinin genel olarak, Şekil 1 de gösterildiği gibi kiriş kesitinin içinde oluşan dört farklı kuvvet ile taşındığı kabul edilir[15].



Şekil 1. Kesme donatısı ile donatılmış bir kirişte kesme kuvvetinin taşınması [15].

Şekil 1 de görülen V_{cc} , kiriş kesitinin çatlamamış basınç bölgesindeki beton tarafından taşınan kesme kuvvetidir. Bu şekilde, kiriş kesitinde kesme etkisi ile oluşan çatlakların yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetinin düşey bileşeni V_{ci} , kirişin çekme bölgesindeki boyuna donatı tarafından taşınan kesme kuvveti V_{cd} ve kesme donatısı tarafından taşınan kuvvet $V_w = \sum F_{sw}$ ile gösterilmektedir. Bu durumda bu kirişin taşıyabileceği kesme kuvveti 1 numaralı denklemde verilen bağıntı ile hesaplanabilir.

$$V_r = V_{cc} + V_{ci} + V_{cd} + V_w \quad (1)$$

Genel olarak betonarme hesapları kolaylaştırmak ve ek emniyet sağlamak açısından için kesit içindeki çatlaklarda oluşan sürtünme kuvvetinin düşey bileşeni (V_{ci}) ile kesitin çekme bölgesindeki boyuna donatının etkisi (V_{cd}) ihmal edilerek 2 numaralı denklemdeki gibi sadeleştirilen bağıntı betonarme hesaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$V_r = V_c + V_w \quad (2)$$

Denklem 2 de betonun kesiti tarafından taşınan kesme kuvveti V_c simgesi ile gösterilmiştir ve aşağıda verilen 3, 4, 5 ve 6 numaralı denklemler yardımı ile hesaplanır.

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} \quad (3)$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad (4)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} \quad (5)$$

$$f_{ctk} = 0.35 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (6)$$

4 numaralı denklemde verilen bağıntı; TS500-2000 yönetmeliğinde üzerindeki aksel kuvvet değeri yaklaşık sıfır olan kesme etkisi altındaki bir beton kiriş kesitin çatlama dayanımının belirlenmesi için önerilen bağıntıdır. Denklem 5 de hesaplanan f_{ctd} betonun çekmede hesap dayanımıdır ve karakteristik beton çekme dayanımının malzeme katsayısına bölünmesi ile hesaplanır. Burada beton için malzeme katsayısı $\gamma_{mc} = 1.5$ alınmıştır. Betonun karakteristik çekme dayanımı f_{ctk} ise TS500-2000 de beton karakteristik basınç dayanımı f_{ck} kullanılarak Denklem 6 ile hesaplanması önerilmektedir. Yukarıda verilen bağıntılara ilaveten TS500-2000 de, yüksek asal basınç gerilmeleri nedeniyle gövde betonunun ezilmesini önlemek amacıyla kirişe etkiyen kesme kuvveti için Denklem 7 de gösterilen koşul getirilmektedir. Eğer bu koşul sağlanamaz ise kesit boyutlarının artırılması gerekir.

$$V \leq 0.85 \times b_w \times d \times \sqrt{f_{ck}} \quad (7)$$

7 numaralı denklemde de d simgesi ile gösterilen parametre kiriş etkin yüksekliğidir ve kesit yüksekliğinden beton örtü kalınlığının çıkarılması ile elde edilir Kesme kuvvetinin kesme donatısı tarafından taşınan kısmı V_w ise Denklem 8 de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$V_w = \frac{A_{sw} \times f_{ywd} \times d}{s} \quad (8)$$

Bu denklemdeki A_{sw} , kesme donatısı alanıdır. Kesme donatısı alanı etriyelerin kol sayısına bağlı olarak değiştiğinden, hesaplamalarda etriye kol sayısı dikkate alınmalıdır. Buna göre n adet kol sayısı bulunan ϕ_w kesit alanına sahip bir etriyenin kesme hesaplarında kullanılacağı alanı Denklem 9 ile hesaplanabilir. Denklem 8 deki s etriyeler arasındaki mesafe ve f_{ywd} ise kesme donatısının hesap dayanımıdır ve karakteristik akma dayanımının kesme donatısının malzeme katsayısına ($\gamma_{ms} = 1.15$) bölünmesi ile hesaplanır.

$$A_{sw} = n \times \frac{\pi \times \phi_w^2}{4} \quad (9)$$

3. KESME DAYANIMI HESABI İÇİN BULANIK MANTIK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

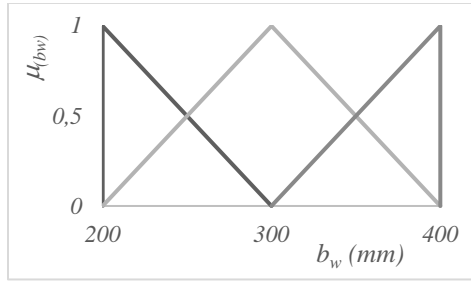
Kesme donatılı sınırlı sünekliğe sahip betonarme kirişlerin kesme dayanımını belirlemek için TS500-2000 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinde verilen koşullara uygun olarak, etriye çapı 8 mm ve donatı sınıfı B420 C sabit alınarak 600 farklı betonarme kiriş kesitinin kesme dayanımı hesapları yapılmıştır. Hesaplamalarda etriye kol sayısının $n=2$ ve kirişteki eksenel kuvvetin yaklaşık sıfır olduğu kabul edilmiştir. 600 adet betonarme çözümdeki değişken parametreler, kiriş genişliği (b_w), kiriş yüksekliği (h), beton örtü kalınlığı (c_c), karakteristik beton basınç dayanımı (f_{ck}) ve etriye aralığı (s) dir. Bu parametrelere ait bulanık kümeler, ve bu kümelerin üyeliği 1 e tekabül eden değerleri Tablo 1 de verildiği gibi seçilmiştir. Tablo 1 de verilen bulanık kümelerin tüm kombinasyonları kullanılarak bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Başka bir deyişle bulanık mantık modelinde $3 \times 4 \times 2 \times 5 \times 5 = 600$ farklı kural oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin tek çıktısı olarak kiriş kesme dayanımı (V_r) tanımlanmıştır. 600 adet farklı betonarme çözümünün sonunda 523 adet farklı V_r elde edilmiştir.

Tablo 1. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan bulanık kümeler

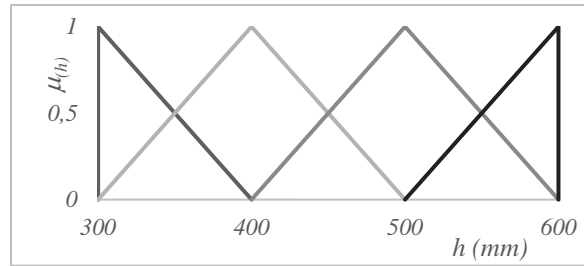
Değişkenler	Bulanık kümeler
b_w (mm)	200, 300, 400
h (mm)	300, 400, 500, 600
c_c (mm)	20, 25
f_{ck} (MPa)	10, 20, 30, 40, 50
s (mm)	50, 100, 150, 200, 250

Geliştirilen bulanık mantık modelindeki değişkenleri ve problem çıktısı üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanıklaştırılarak bulanık kümeler elde edilmiştir. Tablo 1 den de anlaşılacağı gibi kiriş genişliği (b_w) için 3, kiriş yüksekliği (h) için 4, beton örtü kalınlığı (c_c) için 2, karakteristik beton basınç dayanımı (f_{ck}) için 4, etriye aralığı (s) için 5 ve problem çıktısı olan kesme dayanımı (V_r) için 523 adet bulanık küme oluşturulmuştur. Problem değişkenlerine ait bulanık kümeler Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil

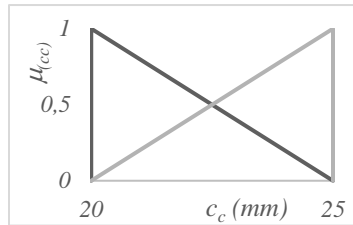
5 ve Şekil 6 da verilmektedir. Problem çıktısı (V_r) ye ait bulanık kümelerin sayısı çok olduğundan burada şekil olarak vermek mümkün olmamıştır.



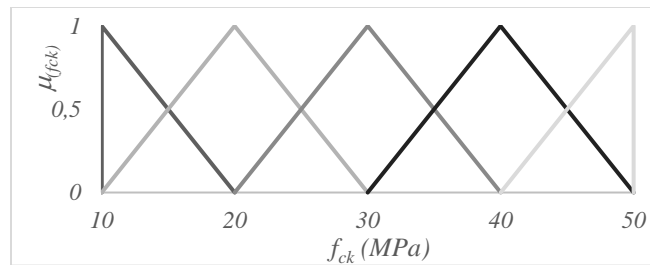
Şekil 2. Kiriş genişliğine (b_w) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



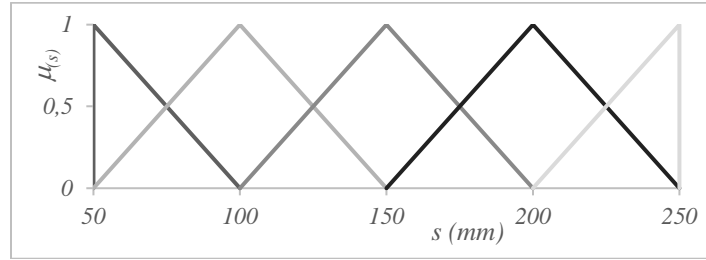
Şekil 3. Kiriş genişliğine (h) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 4. Beton örtüsü kalınlığına (c_c) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



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



Şekil 6. Etriye aralığına(s) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi

4. BULANIK MANTIK MODELİNİN DOĞRULANMASI

Geliştirilen bulanık mantık modelinin doğrulanmasında Tablo 2 'de de görüldüğü gibi bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan değerlerden farklı olmak üzere, kiriş genişliği (b_w) için 2, kiriş yüksekliği (h) için 2, ve karakteristik beton basınç dayanımı(f_{ck}) için 3 değer kullanılmıştır. Beton örtü kalınlığı (c_c) ve etriye aralığı(s) için oluşturulan model datasındaki aynı değerler kullanılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2 den anlaşılacağı üzere modelin doğrulanmasında değişkenler için kullanılan değerler bulanık mantık modeli oluşturulurken kullanılan verilerin en küçük ve en büyük değerleri arasında kalacak şekilde seçilmiştir. Kısaca belirtme gerekirse, Tablo 2 de verilen değişken değerlerinin tüm kombinasyonları sonucu oluşan $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 5 = 120$ adet farklı betonarme problem çözümü, süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımının bulanık mantık yöntemiyle hesaplanabilmesi için geliştirilen bulanık mantık modelinin doğrulanmasında kullanılmıştır.

Tablo 2. Bulanık mantık modelinin doğrulanmasında kullanılan bulanık kümeler

<i>Değişkenler</i>	<i>Bulanık kümeler</i>
b_w (mm)	250, 350
h (mm)	450, 550
c (mm)	20, 25
f_{ck} (MPa)	25, 35, 45
s (mm)	50, 100, 150, 200, 250

Teknik literatürde geliştirilen bir modelin veya yöntemin doğrulanması için genellikle, söz konusu yöntemin veya modelin geliştirilmesinde kullanılan veri sayısının en az % 10 kadar farklı veri ile test edilmesi gerektiği kanısı hâkimdir. Bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık yönteminin doğrulanması için modelin geliştirilmesinde kullanılan verinin % 20 si oranında farklı veri kullanılmıştır.

Çalışmada bulanık mantık yöntemi için Visual Basic görsel programlama dilinde yazar tarafından kodlanan bulanık mantık programı kullanılmıştır. Bulanık mantık çözümlerinde durulaştırıcı olarak “*Weight of Average Method*” yöntemi kullanılmıştır

“*Weight of Average Method*” yöntemi ile durulaştırılarak gerçek değerlere dönüştürülen bulanık mantık modelinin sonuçlarının doğruluğunu ortaya koymak için Denklem 10 da verilen eşitlik ile 120 adet betonarme çözüm ile bulanık mantık çıktıları arasında hata hesaplamaları gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar Tablo 3 de sunulmuştur. Tablo 3 'de verilen yüzde hatalar ile bu hataların ortalaması, mutlak değerce ortalaması ve mutlak değerce en büyük değeri belirlenmiştir. Betonarme çözümler ile bulanık

mantık çıktıları arasındaki uyumu ifade eden ilişim(korelasyon) katsayısı da bu çalışmada hesaplanmış ve hata değerleri ile birlikte Tablo 3'ün en alt kısmında verilmiştir.

$$\% Hata = \frac{V_r^{Bulanık\ Mantık} - V_r^{betonarme}}{V_r^{betonarme}} \times 100 \quad (10)$$

Tablo 3. Bulanık Mantık Modelinin Test edilmesinde kullanılan örnekler ile test sonuçları ve hata miktarları

<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>cc</i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V_r^{B.arme}</i> kN	<i>V_r^{B-Mantık}</i> kN	% Hata	<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>c_c</i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V_r^{B.arme}</i> kN	<i>V_r^{B-}</i> Mantık kN	% Hata
250	450	20	25	50	380.97	371.97	2.36	350	550	25	45	100	342.32	342.14	0.05
350	450	20	25	50	407.06	406.88	0.04	250	450	20	25	150	170.47	170.21	0.15
250	550	20	25	50	469.57	458.52	2.35	350	450	20	25	150	196.55	196.24	0.16
350	550	20	25	50	501.72	502.14	-0.08	250	550	20	25	150	210.11	209.82	0.14
250	450	25	25	50	376.54	367.39	2.43	350	550	20	25	150	242.27	241.59	0.28
350	450	25	25	50	402.32	401.89	0.11	250	450	25	25	150	168.49	168.09	0.23
250	550	25	25	50	465.14	453.41	2.52	350	450	25	25	150	194.27	193.83	0.23
350	550	25	25	50	496.99	495.85	0.23	250	550	25	25	150	208.13	207.69	0.21
250	450	20	35	50	392.92	392.45	0.12	350	550	25	25	150	239.98	239.41	0.24
350	450	20	35	50	423.79	423.87	-0.02	250	450	20	35	150	182.42	182.21	0.12
250	550	20	35	50	484.3	484.28	0	350	450	20	35	150	213.28	213.05	0.11
350	550	20	35	50	522.34	523.87	-0.29	250	550	20	35	150	224.84	224.6	0.11
250	450	25	35	50	388.35	388.25	0.03	350	550	20	35	150	262.88	262.26	0.24
350	450	25	35	50	418.86	418.09	0.18	250	450	25	35	150	180.3	180.07	0.12
250	550	25	35	50	479.73	478.92	0.17	350	450	25	35	150	210.8	210.55	0.12
350	550	25	35	50	517.41	515.58	0.36	250	550	25	35	150	222.72	222.42	0.13
250	450	20	45	50	403.25	403.05	0.05	350	550	25	35	150	260.4	259.93	0.18
350	450	20	45	50	438.25	438.47	-0.05	250	450	20	45	150	192.75	192.49	0.13
250	550	20	45	50	497.03	497.47	-0.09	350	450	20	45	150	227.75	227.51	0.11
350	550	20	45	50	540.17	540.84	-0.12	250	550	20	45	150	237.57	237.33	0.1
250	450	25	45	50	398.56	398.32	0.06	350	550	20	45	150	280.71	280.39	0.11
350	450	25	45	50	433.15	432.38	0.18	250	450	25	45	150	190.51	190.33	0.09
250	550	25	45	50	492.34	491.84	0.1	350	450	25	45	150	225.1	224.91	0.08
350	550	25	45	50	535.07	533.28	0.34	250	550	25	45	150	235.33	235.04	0.13
250	450	20	25	100	223.09	222.62	0.21	350	550	25	45	150	278.06	277.6	0.17
350	450	20	25	100	249.18	248.63	0.22	250	450	20	25	200	144.16	143.76	0.28
250	550	20	25	100	274.98	274.53	0.16	350	450	20	25	200	170.24	169.86	0.23
350	550	20	25	100	307.13	306.71	0.14	250	550	20	25	200	177.68	177.33	0.2
250	450	25	25	100	220.5	220.23	0.12	350	550	20	25	200	209.83	209.33	0.24
350	450	25	25	100	246.28	245.83	0.18	250	450	25	25	200	142.48	142.12	0.25
250	550	25	25	100	272.38	272.21	0.06	350	450	25	25	200	168.26	167.87	0.23
350	550	25	25	100	304.23	303.63	0.2	250	550	25	25	200	176	175.69	0.18
250	450	20	35	100	235.04	234.66	0.16	350	550	25	25	200	207.85	207.31	0.26
350	450	20	35	100	265.91	265.45	0.17	250	450	20	35	200	156.1	155.86	0.16
250	550	20	35	100	289.7	289.38	0.11	350	450	20	35	200	186.97	186.74	0.13
350	550	20	35	100	327.75	327.66	0.03	250	550	20	35	200	192.41	192.21	0.1
250	450	25	35	100	232.31	232.05	0.11	350	550	20	35	200	230.45	230.14	0.13
350	450	25	35	100	262.82	262.66	0.06	250	450	25	35	200	154.29	154.08	0.14
250	550	25	35	100	286.97	286.64	0.12	350	450	25	35	200	184.8	184.7	0.05
350	550	25	35	100	324.66	324.51	0.04	250	550	25	35	200	190.59	190.34	0.13
250	450	20	45	100	245.37	245.28	0.04	350	550	25	35	200	228.28	228.03	0.11
350	450	20	45	100	280.37	280.2	0.06	250	450	20	45	200	166.44	166.39	0.03
250	550	20	45	100	302.44	302.71	-0.09	350	450	20	45	200	201.43	201.28	0.07
350	550	20	45	100	345.58	345.96	-0.11	250	550	20	45	200	205.14	204.96	0.09
250	450	25	45	100	242.52	242.46	0.03	350	550	20	45	200	248.28	248.05	0.09
350	450	25	45	100	277.11	277.14	-0.01	250	450	25	45	200	164.5	164.41	0.06
250	550	25	45	100	299.59	299.38	0.07	350	450	25	45	200	199.09	199.02	0.03

Tablo 3. Devam

<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>cc</i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V_r^{B.arme}</i> kN	<i>V_r^{B-Mantık}</i> kN	% Hata	<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>c_c</i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V_r^{B.arme}</i> kN	<i>V_r^{B-Mantık}</i> kN	% Hata
250	550	25	45	200	203.21	202.94	0.13	350	550	20	35	250	210.99	210.61	0.18
350	550	25	45	200	245.94	245.8	0.05	250	450	25	35	250	138.68	138.38	0.22
250	450	20	25	250	128.37	128.07	0.23	350	450	25	35	250	169.19	168.85	0.2
350	450	20	25	250	154.45	153.98	0.31	250	550	25	35	250	171.32	171.01	0.18
250	550	20	25	250	158.22	157.84	0.24	350	550	25	35	250	209	208.58	0.2
350	550	20	25	250	190.37	189.82	0.29	250	450	20	45	250	150.65	150.6	0.03
250	450	25	25	250	126.87	126.58	0.23	350	450	20	45	250	185.65	185.44	0.11
350	450	25	25	250	152.66	152.17	0.32	250	550	20	45	250	185.68	185.6	0.04
250	550	25	25	250	156.73	156.3	0.28	350	550	20	45	250	228.82	228.64	0.08
350	550	25	25	250	188.58	187.96	0.33	250	450	25	45	250	148.9	148.69	0.14
250	450	20	35	250	140.32	140.12	0.14	350	450	25	45	250	183.49	183.21	0.15
350	450	20	35	250	171.18	170.87	0.18	250	550	25	45	250	183.93	183.6	0.18
250	550	20	35	250	172.95	172.67	0.16	350	550	25	45	250	226.66	226.28	0.17

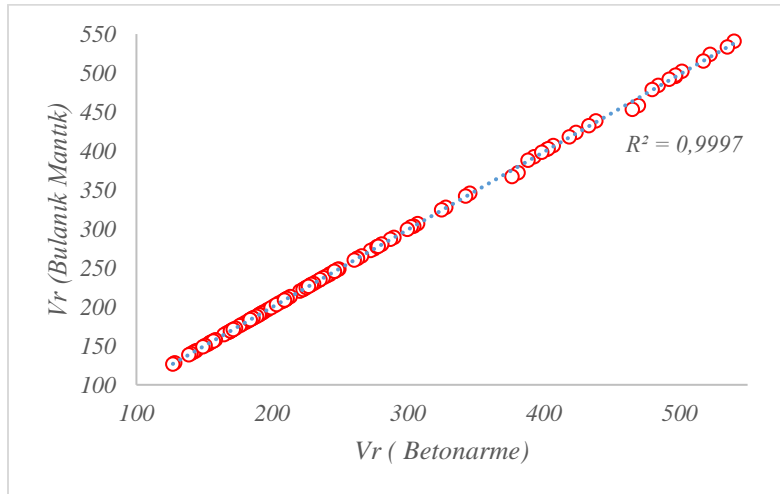
Ortalama % Hata = 0.21

Ortalama mutlak % Hata = 0.22

En büyük mutlak % Hata = 2.52

Korelasyon Katsayısı $R^2 = 0.9997$

Tablo 3' ün son satırlarından da anlaşılacağı gibi, betonarme hesap sonuçları ile bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli ile elde edilen çıktılar arasında, ortalama % hata değeri 0.21 olarak, ortalama mutlak % hata değeri 0.22 olarak, en büyük mutlak % hata değeri 2.52 olarak ve korelasyon katsayısı $R^2 = 0.9997$ olarak hesaplanmıştır. Bu sayısal sonuçlar, bulanık mantık çıktılarının betonarme hesap sonuçlarına oldukça yakın ve onlarla uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Bu uyum ve ilişim(korelasyon) Şekil 7 den de rahatlıkla anlaşılabilir.



Şekil 7. Bulanık mantık çıktıları ile betonarme çözümler arasındaki uyum ve korelasyon

Elde edilen hata ve korelasyon değerlerin için, betonarme hesaplardaki belirsizlikler ve yapılan kabuller dikkate alındığında gerçekten çok iyi sonuçlar olduğu kanısına varılabilir. Başka bir deyişle, elde edilen bu sonuçlar, geliştirilen bulanık mantık modelinin, problem değişkenleri için bu çalışmada kullanılan değer aralıkları içinde kalmak kaydıyla, doğru ve hassas bir biçimde süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımının hesabında kullanılabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımını hesaplamak için bir bulanık mantık modeli başarıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık mantık modeli, modelin tasarlama aşamasında kullanılan hesap verisinin % 20 si ne tekabül eden sayıda ve bu verilerden farklı örnekler üzerinde gerçekleştirilen klasik betonarme hesap sonuçları ile test edilmiştir. Test sonuçlarında, $R^2=0.9997$, ortalama % hata 0.21, ortalama mutlak % hata 0.22, en büyük mutlak % hata 2.52 elde edilmiştir. Bu sonuçlar geliştirilen bulanık mantık yönteminin, çalışmadaki değişken değer sınırları da dikkate alınarak, B420 C sınıfı 8 mm çapa sahip tek kollu etriye kullanılan süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımı hesaplamalarında rahatlıkla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma ile kullanılabilen kanıtlanan bulanık mantık modeli, farklı etriye çapı, farklı etriye donatı sınıfı, değişken parametrelere ait daha geniş değer aralıkları ve süneklik düzeyi yüksek betonarme kesitler için geliştirilerek rahatlıkla betonarme paket programlara entegre edilerek kullanılabilir.

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] Pakdamar, F., and Guler, K. (2008, October). Fuzzy logic approach in the performance evaluation of reinforced concrete structures (flexible performance). In The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, October (pp. 12-17).
- [7] Jaafer, A. A. (2013). Prediction of ultimate shear capacity of reinforced normal and high strength concrete beams without stirrups using fuzzy logic. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 1(4), 75-81.
- [8] 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.
- [9] Öztekin, E., ve Filiz, K. (2015). Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi, Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu, Bayburt.
- [10] Baykan, u. n. , Erdal, m., & Ugur, l. o. , (2017). Fuzzy logic model for prediction of compressive strength of concrete by use of non-destructive test results. revista romana de materiale-romanian journal of materials , vol.47, no.1, 54-59.
- [11] 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.
- [12] Nagarkar, V., Kulkarni, P., and Londhe, S. (2020). Prediction of Concrete Compressive Strength Using Fuzzy Logic and Model Tree. In Advances in Structural Engineering (pp. 231-240). Springer, Singapore.

- [13] Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2018). Türk Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY-2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi, Ankara, Türkiye.
- [14] Türk Standardı, (2000). Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500-2000), Ankara, Türkiye, Türk Standartları
- [15] Doğangün, A., (2019). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, (16. Baskı) Ankara, Türkiye, Birsen Yayınevi.