



Bitlis Yöresi İgnimbiritleri ile Oluşturulan Numunelerin Dayanım Sonuçlarının Tespitinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Nusret BOZKURT¹, Erden Ozan KARACA^{2*}

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis

² Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis

¹ <https://orcid.org/0000-0002-3737-8205>

² <https://orcid.org/0000-0003-1111-1710>

*Sorumlu yazar: eokaraca@beu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.04.2022

Kabul tarihi: 09.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Bulanık mantık
Korelasyon
İgnimbirit
Taş tozu

ÖZ

Bu çalışma kapsamında; Bitlis yöresi ignimbiritlerinden olan ponza taşı, Ahlat taşı ve Güroymak taşlarının toz haline getirilmesiyle elde edilen harç numunelerinin dayanım sonuçları bulanık mantık yöntemiyle incelenmiştir. %10, %20 ve %40 oranında taş tozunun çimentoyla ikame edilmesiyle oluşturulan numunelere sırasıyla ultrasonik ses geçirgenlik, eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak her bir deney için birer bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bu model ile deney sonuçlarının karşılaştırılması sonucu; yüzdesel olarak ortalama hata, ortalama mutlak hata, en büyük mutlak hata ve korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile bulanık model sonuçları arasında %99 oranında benzerlik oranı elde edilmiştir. Bu durum bulanık mantık yönteminin inşaat mühendisliği laboratuvar deneyleri için kullanılabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Investigation of the Usability of the Fuzzy Logic Method in Determining the Strength Results of the Samples Created by Bitlis Region Ignimbrites

Research Article

Article History:

Received: 14.04.2022

Accepted: 09.03.2023

Published online: 04.12.2023

Keywords:

Fuzzy logic
Correlation
Ignimbrite
Stone dust

ABSTRACT

Within the scope of this study, the strength results of the mortar samples obtained by pulverizing the pumice stone, Ahlat stone and Güroymak stones, which are ignimbrites of Bitlis region, were examined by fuzzy logic method. Ultrasonic sound permeability, flexural tensile and compressive strength tests were applied to the samples formed by replacing 10%, 20% and 40% stone dust with cement, respectively. Using the obtained results, a fuzzy logic model was created for each experiment. By comparing the experimental results with this model; the mean error, mean absolute error, maximum absolute error and correlation coefficient were obtained. As a result, a similarity rate of 99% was obtained between the experimental results and the fuzzy model results. This situation revealed that the fuzzy logic method can be used for civil engineering laboratory experiments.

To Cite: Bozkurt N., Karaca EO. Bitlis Yöresi İgnimbiritleri ile Oluşturulan Numunelerin Dayanım Sonuçlarının Tespitinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1834-1850.

1. Giriş

İnsanoğlunun akıl yoluyla karar verebilmek gibi eşsiz bir yeteneği olması nedeniyle ; karşılaştığı problemler karmaşılaştıkça çözüm için yeni yollar ve araçlar geliştirmektedir. Çözüm yolları

açısından bakıldığında; parametrelerdeki değişkenler ve karar vericiyi etkileyen birçok faktörün olması gibi nedenlerden ötürü karar vermede bulanıklık ve çokluk oluşması kaçınılmazdır (Kentli, 2011). İnsanoğlunun sahip olduğu karar verebilme yetisini cansız varlıklara da aktarabilme isteği “yapay zekâ” terimini ortaya çıkartmıştır. Yapay zekâ terimi günümüzde kabaca; derin öğrenme, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, görüntü işleme ve bu çalışmanın da temelini oluşturan bulanık mantık yöntemlerine ayrılmaktadır (Gültekin ve Doğan, 2021). Her insanda mevcut olan farklı özellikler neticesinde karar vermede oluşan bu bulanıklık ve çokluk hali ise şaşırtıcı bir durum değildir. Karar analizindeki belirsizliği modellemeye çalışan araştırmalar; temel olarak olasılık teorisi ve/veya bulanık küme teorisi aracılığıyla yapılır. Temel olarak olasılık teorisi; , karar analizinin skolastik doğasını sunarken, bulanık küme teorisi insan davranışının öznelliğine benzemektedir. İstatistiksel karar analizi gibi bir karar yöntemi insan davranışındaki belirsizliği ölçmemektedir. Bu yöntem daha ziyade, insanları saran dış çevre hakkındaki eksik bilgileri modellemenin bir yoludur. Bulanık küme teorisi ise ne rastgele ne de skolastik olan zihinsel fenomenlerden kaynaklanan belirsizliği modellemek için mükemmel bir araçtır.(Cümle anlaşılıyor tekrar yazılmalı). İnsanoğlu, karar analizi sürecine yoğun bir şekilde dâhil olur. Karar vermeye yönelik rasyonel bir yaklaşım, yalnızca nesnel olasılık ölçütlerini kullanmak yerine insan öznelliğini hesaba katmalıdır. İnsan davranışının belirsizliğine yönelik bu tutum, yeni bir karar analizi alanı olan bulanık karar verme çalışmasına yol açmıştır. (Chen ve Hwang, 1992).

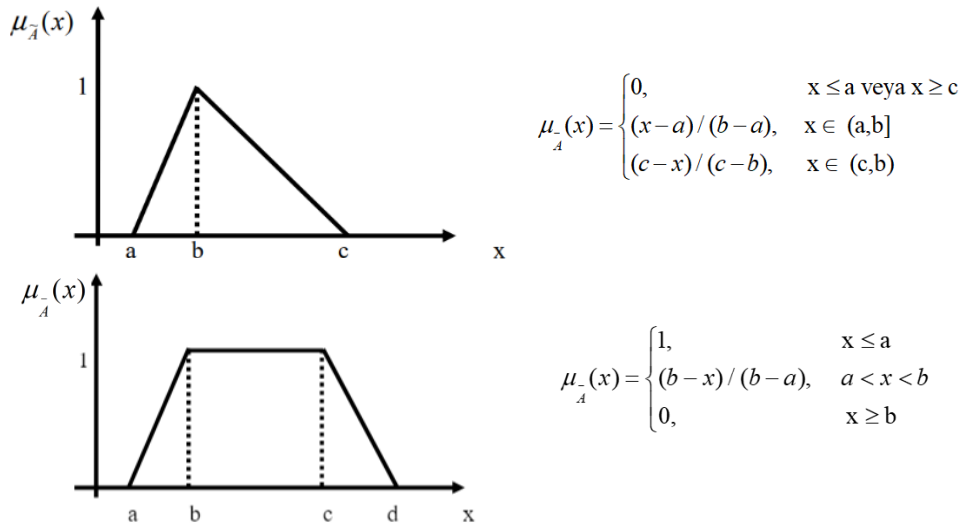
2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık; modellerin ve sistemlerin tanımlanmasında ve kontrolünün yapılmasında oldukça sık kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Uygunoğlu ve Yurtçu, 2006). Bahsedilen yöntem ilk olarak Zadeh (1965) tarafından tanımlanmıştır. Zadeh’in belirsizlik içeren sistemlerin incelemesi üzerine yaptığı bu çalışmayla farklı bir boyut kazanan konu hakkında bulanık küme terimi ancak 1975 yılında kullanılmıştır. Bu noktada yine Zadeh (1973, 1975a, 1975b, 1975c) tarafından yapılan devam niteliğindeki çalışmaların karmaşık ve belirsizlik içeren sistemlerde bulanık mantık kullanımı hakkında olması konunun popüleritesini artırmıştır. Devamında bulanık mantık kullanılmasına yönelik ilk uygulama ise 1974 yılında bir buhar makinesinin kontrolüne yönelik yapılmıştır (Mamdani, 1974). Zadeh’e göre bulanık mantık yönteminin ilkeleri aşağıdaki gibidir;

- Kesin olarak belli olan değerler yerine bulanık değerler kullanılır.
- Bulanık mantıkta veriler çok küçük, küçük, büyük, çok büyük şeklinde sözel ifadeler kullanılarak tanımlanır.
- Tanımlanacak tüm değerler 0 ile 1 aralığında bir üyelik derecesi ile tanımlanır.
- Matematiksel olarak modellenmesi karmaşık ve zor olan sistemler bulanık mantık yöntemi için uygundur.
- Mantıksal olarak belirtilen her ifade bulanık hale dönüştürülebilir (Elmas, 2007).

Sıfır ile bir $\{0-1\}$ değerlerinden ikisine sahip olabilecek şekilde işleyen klasik mantık anlayışında elemanlar için kısmi bir üyelikten bahsedilemez. Sıfır ile bir aralığındaki $[0-1]$ ikiden fazla değere sahip olacak şekilde ilerleyen bulanık mantık ise; felsefe, fen, sosyal ve mantık gibi konulara gerçekçi çözümler sunmasından ötürü gün geçtikçe önemi artan popüler bir konu konumundadır (Keskenler, 2017).

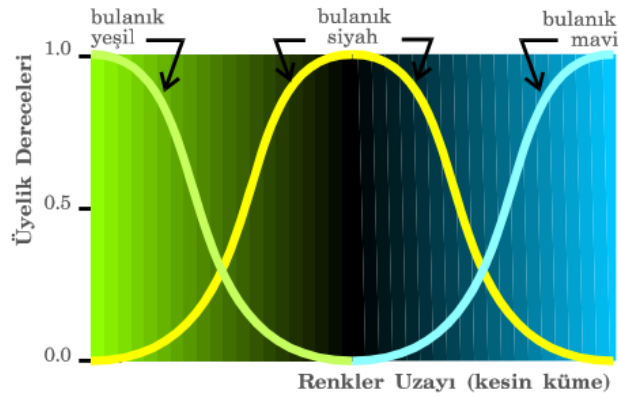
Bulanık mantık teriminin çalışma alanı bulanık kümelerden oluşmaktadır ve bulanık kümeler tanımlanacak olan üyelik fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Bulanık kümeler farklı üyelik (ait olma) derecelerine sahip elemanlardan oluşmaktadır. Elemanların sıfır ile bir arasında farklı değerler alabildiği bir bulanık küme; bir üyelik fonksiyonu yardımıyla tanımlanmaktadır. Kümeye dâhiliyeleri net olmayan yani bulanık olan elemanların üyelik değerleri ise sıfır ile bir arasında bulunan bir değer ile tanımlanmaktadır (Altaş, 1999). Elemanları sıfır ya da birden oluşan, yani elemanın bir kümeye ait olması veya elemanın kümenin dışında olması gibi kesin ve keskin sınırlı klasik mantığa göre bulanık mantık bu noktada ayrılmaktadır. Bir bulanık küme oluşturmanın değişik yolları olmakla birlikte en yaygın olarak kullanılan yöntemin üyelik fonksiyonları tanımlamak olduğu söylenebilir (Klir ve Yuan, 1996). Dünyamızın keskin sınırlar içermeyip bulanık oluşunu bulanık mantık yöntemi iyi bir şekilde betimlemektedir. Bulanık fonksiyonları tanımlamak üzere kullanılan üçgen, yamuk, çan, sinüsoid, sigmoid ve cauchy gibi farklı üyelik fonksiyonları vardır (Özdemir ve Kalinkara, 2020) ve bunlar arasından üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarına ait gösterim ve formülasyon aşağıda sunulmuştur (Ayçın, 2011);



Şekil 1. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ve matematiksel gösterimleri

Şekil 2’de görüldüğü üzere renk uzayı; yeşil, siyah ve mavi olmak üzere üç farklı renkten oluşmaktadır (Altaş, 1999);. Burada mevcut renkler kesin sınırlara sahip olmayıp üç rengin de tonları mevcuttur. Yani kümede soldan sağa doğru gidildikçe yeşil renk koyulaşarak siyaha, siyah rengin de maviye doğru tonu değişmekte ve küme nihayetinde mavi renk ile bitmektedir. Bu kümede seçilecek

bir noktanın hangi renge ait olduğunun bulunmasında üç renge ait birer bulanık küme oluşturulabilir. Burada örneğin yeşilden siyaha doğru gidildikçe yeşil renge ait olan üyelik derecesi azalırken siyah renge ait olan üyelik derecesi ise artacaktır. Aynı durum siyahtan mavi renge geçişte de benzer özellik gösterecektir. Ayrıca mavi-siyah tonlarının hâkim olduğu bir bölgede yeşil renge ait kümenin hiçbir üyeliği bulunmadığı gibi benzer durum yeşil-siyah bölgede mavi renge ait kümenin üyelik derecesi için geçerlidir. Bulanık mantığa göre seçilen bölgeler arasında açık yeşil ya da koyu mavi gibi kesin olmayan tanımlar kullanılabilirken bu durum kesin sınırlarla tarif edilen klasik mantıkta söz konusu olmayacaktır. Bulanık mantıkta bu durumun; elemanın kümeye aitliğini (üyeliğini) (0-1) gibi sadece iki değerlerle tanımlamak yerine [0-1] arasındaki ikiden fazla değer yardımıyla tarif edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2. Üç farklı renkten oluşan bulanık renk kümeleri

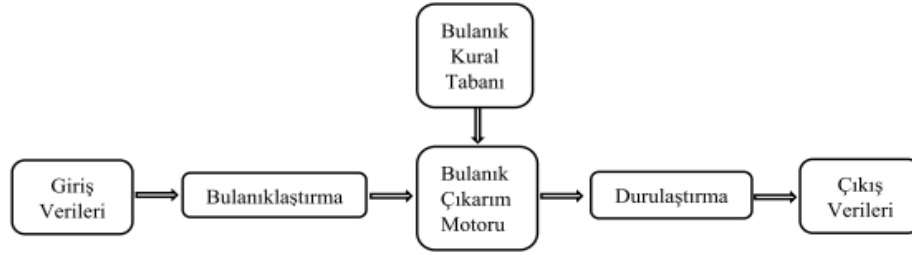
Kısaca bulanık kümeler; elemanların ait olma derecelerini birer üyelik fonksiyonu yardımıyla ifade edebilir. Bulanık mantık ile klasik yaklaşım kıyaslanacak olursa şu şekilde üstünlükleri olduğu görülmektedir;

- Bulanık mantık yaklaşımında denetimler dilsel niteleyicilerle yapıldığından ötürü insan düşünüşe benzerlik göstermektedir.
- Bulanık mantıkta herhangi bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmadığından doğrusal olmayan ya da zamanla değişen sistemler en çok verim alınan sistemlerdir.
- Bulanık mantıkta geniş alanlara yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevine indirilmesi sonuca ulaşmayı hızlandırmaktadır.

Yukarıda belirtilen üstünlüklerin yanı sıra aşağıdaki sakıncalar da mevcuttur;

- Üyelik işlemlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması ve sistemin bir öğrenme yetisinin bulunmaması,
- Bir sistem için belirlenen üyelik işlevi bu sisteme özgüdür ve başka bir sisteme uygulanamaz,
- Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi kolay bir işlem olmayıp mutlaka uzman deneyimine dayandırılarak belirlenmesi gerekmektedir (Elmas, 2003).

Bir bulanık mantık modelinde bulunan öğeler Şekil 3'te sunulmuştur (Alakara ve Ağaoğlu, 2022).



Şekil 3. Bulanık mantık modelinde bulunan öğeler

Bulanık mantık yöntemi kullanılarak inşaat mühendisliği özelinde yapılan çalışmalar derlenecek olursa;

Öztekin (2022) çalışmasında betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin tespitinde bulanık mantık yöntemini kullanmıştır. Bu kapsamda girdi parametreleri olarak kiriş kesitinin özellikleri, donatı oranı ve karakteristik beton dayanımı tanımlanıp çıkış parametresi olarak da kiriş taşıma momenti belirlenmiştir. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında toplamda 240 adet örnek çözümün kullanıldığı çalışmada sonuç olarak en büyük hata %6,45 iken ortalama %2,31'lik hata payıyla taşıma gücü momentinin belirlenmesinde kabul edilebilir sınırlardaki hata paylarıyla bulanık mantığın kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Deney sonuçlarının bulanık mantıkla yorumlanmasıyla hedef değeri verebilecek kombinasyonların tespiti; deneme yoluyla tespitine karşın şüphesiz daha hızlı olacaktır. Bu arada zamandan tasarruf edilmesine ek olarak harcanacak enerji ve maddiyatta da benzer bir tasarruf sağlanacaktır. Bu konuya ilişkin olarak uçucu külün belli oranlarda çimentoyla ikame edilmesiyle üretilen numunelerin basınç mukavemetlerinin bulanık mantıkta işlenmesiyle pik basınç mukavemetini verecek ikame oranının elde edildiği ve bunun laboratuvar ortamında ispat edildiği çalışmalar (Uygunoğlu ve ark., 2005; Uygunoğlu ve Ünal, 2005) örnek olarak gösterilebilir. Sarıdemir (2008) çalışması kapsamında beton içerisinde geri dönüştürülmüş katı atıkların kullanılabilirliğini ve etkisini araştırmıştır. Çalışmada kullandığı geri dönüştürülmüş malzemeler; atık otomobil lastikleri ve atık gaz beton agregalarıdır. Bu malzemelerle üretilmiş betonların mukavemet özelliklerinin tahmininde ise yapay zekâ uygulamalarından olan yapay sinir ağları ve bulanık mantıktan faydalanmıştır. Deney sonuçları ve model sonuçları arasındaki sonuçlar %10'u geçmeyen düşük farklılıklar göstermiş, böylece deney sonuçlarının kısa sürede ve kabul edilebilir hata payı ile elde edilebileceğini vurgulamıştır.

Uygunoğlu ve Ünal (2006) uçucu kül katkısının beton basınç dayanıma etkisini araştırdığı çalışmada bulanık mantık yönteminden faydalanmıştır. En yüksek %15,4 oranında bir hata payı olan model ve deneysel sonuçları üzerinden; zamandan, malzemeden ve maliyetten tasarruf elde ettikleri belirtilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan yapı malzemesine yönelik çalışmalarda hedeflenen pik değerleri verecek karışım oranlarının bulunması çalışmaların genel amacı olarak gösterilebilir. Buna karşın

deney sonuçlarına etkiyen değişken sayısının fazla olmasına örnek olarak karışımda kullanılacak malzeme oranlarından kür türüne/süresine ve ortam sıcaklığına varıncaya dek geniş bir skaladaki parametreler gösterilebilir. Kullanılacak malzemelerin maliyeti ve harcanacak süre göz önünde bulundurulduğunda pik değeri verecek karışım oranlarının tespiti her zaman mümkün olamamaktadır. Yapılan bir deneysel çalışma verilerinin yapay zekâ yöntemleriyle incelenmesi ile aranan karışım oranı bulunması mümkün olmaktadır ve bu durum maliyet ve zamandan tasarruf imkânı sağlamaktadır. Bu konuya örnek olarak en iyi basınç dayanımını verecek uçucu kül oranının belirlenmesine yönelik olarak yapay sinir ağı yöntemleriyle belirlenmesine ilişkin çalışma (Topçu ve ark., 2006) örnek olarak gösterilebilir. Bulanık mantık sistemi yapıların nonlineer davranışlarının analizinde yetenekli olduğu için (Aldawod ve ark., 2001) diğer yapısal mühendislik çalışmalarında da kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmalara da örnek olarak; araştırmacılar Avustralya’da bulunana 76 katlı bir betonarme binanın rüzgâr etkisine karşı sergilediği davranışı bulanık mantık yöntemi ile kontrolünü amaçlamışlardır. Sonuç olarak klasik kontrol yöntemlerine karşın bulanık kontrol sisteminin daha güvenilir olduğu belirlenmiştir (Aldawod ve ark., 2001). Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) çalışmalarında çelik kirişlerin plastik analizinde bilinmesi gereken göçme yük faktörünün belirlenmesinde bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Burada elde ettikleri sonuçlar ile klasik yöntemlerle elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu belirtilmiştir. Öztekin (2022) çalışmasında oluşturduğu bulanık mantık modeli neticesinden bu uygulamanın betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının hesaplanmasında kullanılabilir olduğunu belirtmiştir.

Beton basınç dayanımlarının tespitinde bulanık mantık yönteminin kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmada ise (Çakıroğlu ve ark., 2010) geliştirilen bulanık mantık modelinin tahmin ettiği sonuçlar ile deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen yüksek tahmin oranı neticesinde modelin basınç dayanımı tahmininde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonların çökme değeri, çökme yayılması miktarı ve basınç dayanımlarının tahminine yönelik yapılan çalışmada (Topsakal ve Özel, 2012) elde ettikleri yüksek belirleyicilik katsayıları neticesinde oluşturulan modelin kullanılabileceği sonuca varmışlardır.

Ülkemiz gibi aktif depremlere maruz ülkeler için deprem sonrası binaların hasar tespit işleminin hızlı bir şekilde yapılması önemli bir husustur. Burada keskin sınırlara sahip klasik değerlendirme yöntemlerine karşın insan doğasına uygun, daha muğlak alanlara sahip bulanık mantık yönteminin kullanılmasına yönelik bir çalışma literatürde mevcuttur (Kömür ve Altan, 2005). Çalışma sonunda bulanık mantık yönteminin insanoğlunun düşünüş ve karar verme özelliklerine daha uygun olduğundan ötürü bu tür uygulamalarda kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında öncelikle Bitlis yöresi ignimbiritlerinden olan Bitlis ponzası (BP), Bitlis-Ahlat yöresi taşı (AT) ve Bitlis-Güroymak yöresi taşı tozlarının (GT) beton içerisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla yukarıda sayılan taş atıkları toz haline getirilerek %0, %10, %20 ve %40

oranlarında çimentoyla ikame edilmiştir. Burada kullanılan çimento tipi CEN-1 42,5 N tipi olup ve CEN tipi standart deney kumu numunelerin üretiminde kullanılmış olup bunların özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir (Bozkurt ve Karaca, 2019). Verilen karışım oranlarıyla üretilen 4*4*16 cm ölçülerine sahip numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük standart su kürü uygulanmıştır. Kür yaşlarını tamamlayan numunelerin dayanım özelliklerinin tespitinde sırasıyla ultrasonik ses geçirgenlik deneyi (USG) ve TS EN 196-1’e uygun olacak şekilde eğilme çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bahsedilen çalışmanın amacı; inşaat uygulamalarında zayıf olan malzemelerin beton içerisinde çimentoya bir ikame malzemesi olarak kullanımının araştırılmasıdır. Bu yolla sadece uygulamalarda zayıf olan malzemelerin tekrar kullanılması haricinde, çimento üretiminde kullanılan doğal kaynaklara olan talebin farklı malzemelerle bir alternatif olarak azaltılabilmesi hedeflenmiştir. Burada bahsedilen malzemelerin puzolonik aktivite özelliğine sahip olup olmadıkları; yani beton içerisinde ilerleyen kür yaşlarında mukavemete olumlu etkisinin olup olmadığı çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu yolla çimento yerine bu malzemelerin kullanılabilirliği araştırılmıştır ve detaylı bilgiler Bozkurt ve Karaca (2019)’da mevcuttur.

Laboratuvar ortamında elde edilen verilerin yapay zekâ yöntemleriyle değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada ise bulanık mantık yöntemi seçilmiştir. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında MATLAB programından faydalanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan karışım oranları Tablo 3’de, elde edilen ultrasonik ses geçirgenlik, eğilme ve basınç deneylerinin sonuçları da Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 1. CEN-1 42,5 N tipi çimentonun özellikleri

Analiz sonuçları	TİP I 42,5 N
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51
SO ₃ (%)	2,6
MgO (%)	2,1
CI (%)	0,007
Kızdırma Kaybı (%)	1,7
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,3
Özgül yüzey (cm ² /g)	3749
Priz Başlancı (dakika)	161
Priz Sonu (saat)	04:20
Hacim Sabitliği (mm)	0,4
Serbest Kireç (%)	0,5
Eşdeğer Alkali	-
Su İhtiyacı (Vicac Suyu) (%)	29,6

Tablo 2. CEN tipi deney kumunun özellikleri

Tane Büyüklük Dağılımı Kare Göz Açıklığı	Standart	Analiz Sonuçları
2 mm	%0	%0,00
1,6 mm	%7 ± 5	%7,06
1 mm	%33 ± 5	%32,69
0,5 mm	%67 ± 5	%67,90
0,16 mm	%85 ± 5	%87,32
0,08 mm	%99 ± 1	%99,42
Rutubet	%0,20	%0,13

Tablo 3. Karışım içerikleri

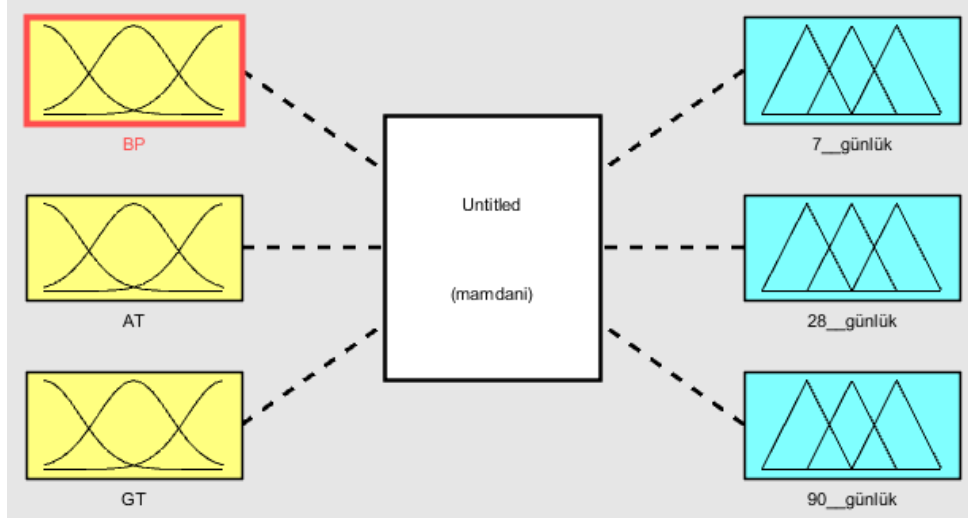
İçerik	Çimento Miktarı (gr)	Kullanılan Toz (gr)	Kum (gr)	Su (gr)
Kontrol (K)	450	0	1350	250
%10 BP	405	45	1350	250
%20 BP	360	90	1350	249
%40 BP	270	180	1350	247
%10 AT	405	45	1350	250
%20 AT	360	90	1350	248
%40 AT	270	180	1350	245
%10 GT	405	45	1350	250
%20 GT	360	90	1350	246
%40 GT	270	180	1350	245

Tablo 4. Deney sonuçları

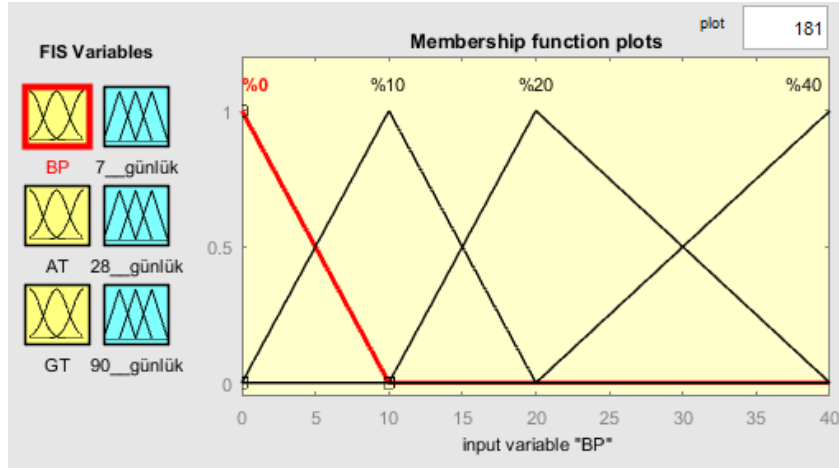
İçerik	USG (m/s)			Eğilme Day. (MPa)			Basınç Day. (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün	7 gün	28 gün	90 gün	7 gün	28 gün	90 gün
Kontrol (K)	4218	4508	4539	5,39	7,23	8,84	17,44	18,09	24,85
%10 BP	4203	4369	4519	6,15	6,44	7,01	16,81	18,81	24,77
%20 BP	4108	4282	4519	6,36	7,09	7,37	15,51	17,41	25,28
%40 BP	3877	4251	4371	4,29	6,03	6,39	10,01	16,5	21,18
%10 AT	4295	4347	4429	5,65	6,39	7,66	13,65	20,57	24,27
%20 AT	4286	4295	4332	5,04	6,35	7,2	12,07	18,77	20,97
%40 AT	4010	4050	4346	3,43	5,23	6,22	7,41	11,48	18,12
%10 GT	4156	4271	4342	5,13	6,69	7,02	11,21	19,41	23
%20 GT	3387	4148	4438	4,96	5,48	6,5	10,35	17,5	23,25
%40 GT	3316	3871	4302	4,05	4,78	6,26	8,63	9,76	18,57

Tablo 4’de sonuçları verilen dayanım deneyleri sonuçları kullanılarak MATLAB ortamında bulanık mantık modelleri oluşturulmuştur. USG, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri kullanılarak oluşturulan 3 farklı modele ait görsel aşağıda sunulmuştur. Giriş verileri olarak her 3 taş tozu için %0,

%10, %20 ve %40'lık ikame oranları kullanılmış olup, çıkış verileri olarak da 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarıyla oluşturulan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Şekil 4'te verilen giriş/çıkış verilerine ait görsel ile Şekil 5'te verilen üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasına ait MATLAB programının görselleri USG deney sonuçları için modele aittir. Eğilme ve basınç dayanımlarına ait model görselleri de Şekil 4-5 ile aynıdır.



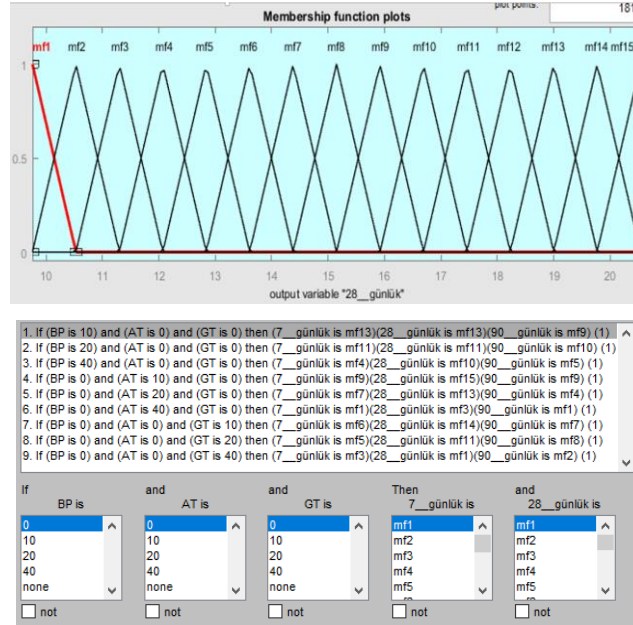
Şekil 4. USG sonuçları için hazırlanan bulanık mantık modeli-Giriş/Çıkış verileri



Şekil 5. USG sonuçları için hazırlanan bulanık mantık modeli-üyelik fonksiyonları

Yukarıda bahsedildiği gibi USG, eğilme dayanımı ve basınç dayanımları için üç farklı model oluşturulmuştur. USG için oluşturulan üyelik fonksiyonu sayısı belirtilecek olursa; 7 günlük deney sonuçları için 11, 28 günlük deney sonuçları için 7, 90 günlük deney sonuçları içinde 5 üyelik fonksiyonu oluşturulmuş. Eğilme dayanımı için 7, 28 ve 90 günlük kür sonuçlarına karşılık oluşturulan üyelik fonksiyonu sayısı her bir kür süresi için 10ar tanedir ve basınç dayanımı için de 15'er üyelik fonksiyonu mevcuttur. Burada kullanılan üyelik fonksiyonu sayısı bulanık çıktılarının doğruluğunu yakından etkilemektedir. Bundan ötürü en yüksek ve en düşük deney sonuçlarının arasındaki fark gözetilerek yukarıda bahsedilen sayılardaki üyelik fonksiyonları yüksek korelasyon

sayısı verecek şekilde belirlenmiştir. Modeller bu şekillerde oluşturulduktan her deney türü için 9 kural hazırlanmıştır. Burada dokuz kural oluşturulmasının sebebi 3 farklı numune içeriğinin 3 farklı kür yaşı sonucunun incelenmesinden kaynaklanmaktadır. Oluşturulan üyelik fonksiyonları içerisinde deney sonucuna karşılık/yakın gelenler belirlenerek kural tablosu tamamlanmıştır. Burada üyelik fonksiyonlar “and” bağlacıyla oluşturulmuştur. Her kür süresi için ayrı ayrı model oluşturmak yerine tüm kür süresi sonuçlarının and bağlacı kullanılmasıyla model sayısı ve harcanacak süreden tasarruf maksatlı bu yol izlenmiştir. Ayrı ayrı model oluşturulması bulanık çıktı sonuçlarında bir farklılığa sebep olmamaktadır. Tüm kural tablolarına ait görseller benzer olduklarından ötürü Şekil 6’da örnek olması amacıyla sadece basınç dayanıma ait üyelik fonksiyonlarına ve kural tablosuna ait görsel paylaşılmıştır.

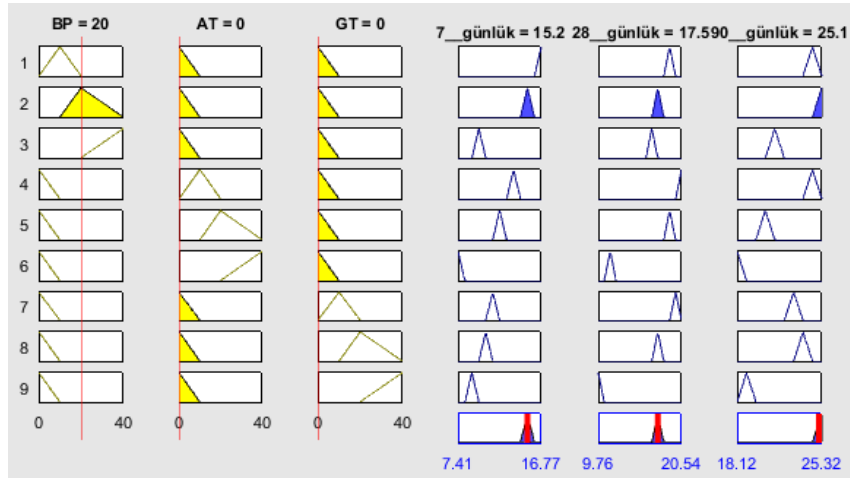


(a)

(b)

Şekil 6. Basınç dayanımından kullanılan üyelik fonksiyonları (a) ve kural tablosu (b)

Bu şekilde tamamlanan model sonuçlarıyla birlikte Tablo 5-7 ve Şekil 8-10 hazırlanmıştır. Tamamlanan modellerin sonuçlarının okunduğu MATLAB ekranı görseli ise Şekil 7’de sunulmuştur. Şekilde basınç dayanımına ait sonuç ekranı paylaşılmış olup; diğer modellerdeki sonuç ekranları da benzer olmasından ötürü paylaşılmamıştır. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken ise üçgen tipi üyelik fonksiyonları tercih edilmiş ve durulama işlemi bu üçgenlerin ağırlık merkezlerine göre sonuç vermiştir.



Şekil 7. Basınç dayanımına ait sonuç ekranı

4. Bulgular ve Tartışma

Oluşturulan modeller sonucu yapılan analiz ile model sonuçları elde edilmiştir. 7, 28 ve 90 günlük kür sonucu elde edilen deneysel sonuçlar, bulanık mantık yoluyla elde edilen sonuçlar (bulanık çıktı) ve bunların farkları kullanılarak oluşturulan tablolar; Tablo 5, 6 ve 7’de sunulmuştur. Belirtilen tablolarda bulanık mantık modelinden elde edilen değerlere ilişkin yüzdesel olarak ortalama hata, ortalama mutlak hata, en büyük mutlak hata ve korelasyon katsayısı da verilmiştir.

Tablo 5. USG deneyi sonuçları ve bulanık mantık ile bulunan sonuçlar (m/s²)

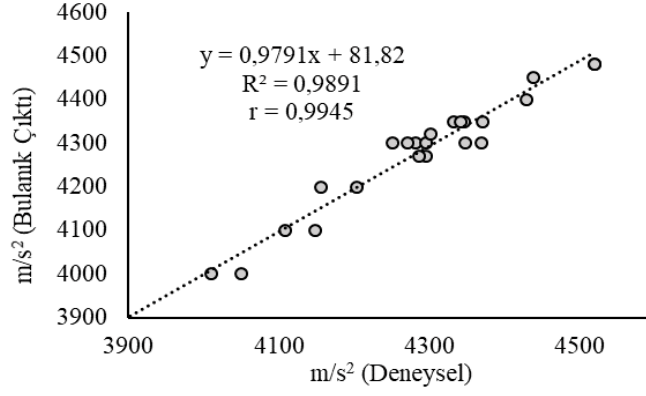
Num. İçeriği	7			28			90		
	Günlük Sonuçlar r	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçlar r	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçlar r	Bulanık Çıktı	Fark (%)
%10 BT	4203	4200	-0,07	4369	4300	-1,58	4519	4480	-0,86
%20 BT	4108	4100	-0,19	4282	4300	0,42	4519	4480	-0,86
%40 BT	3877	3900	0,59	4251	4300	1,15	4371	4350	-0,48
%10 AT	4295	4270	-0,58	4347	4300	-1,08	4429	4400	-0,65
%20 AT	4286	4270	-0,37	4295	4300	0,12	4332	4350	0,42
%40 AT	4010	4000	-0,25	4050	4000	-1,23	4346	4350	0,09
%10 GT	4156	4200	1,06	4271	4300	0,68	4342	4350	0,18
%20 GT	3387	3400	0,38	4148	4100	-1,16	4438	4450	0,27
%40 GT	3316	3300	-0,48	3871	3900	0,75	4302	4320	0,42

Ortalama % Hata = -0,12

En Büyük Mutlak % Hata = 1,58

Ortalama Mutlak % Hata = 0,61

Korelasyon Katsayısı r = 0,9945



Şekil 8. Bulanık model ile USG sonuçlarının arasındaki ilişki

Tablo 6. Eğilme deneyi sonuçları ve bulanık mantık ile bulunan sonuçlar (MPa)

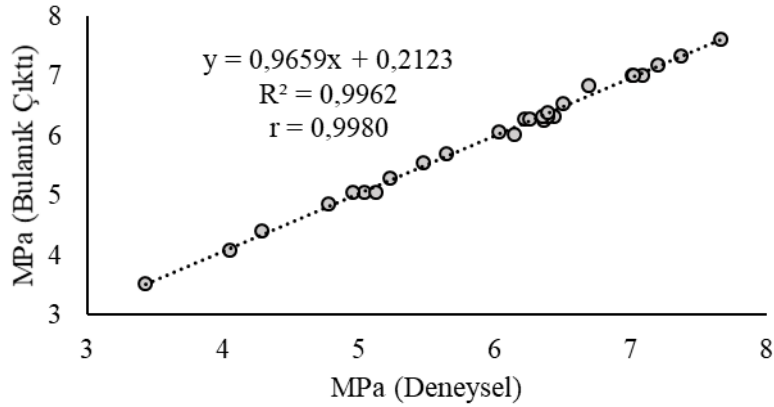
Num. İçeriği	7 Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	28 Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	90 Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)
% 10 BT	6,15	6,03	-1,95	6,44	6,32	-1,86	7,01	7,02	0,14
% 20 BT	6,36	6,26	-1,57	7,09	7,01	-1,13	7,37	7,34	-0,41
% 40 BT	4,29	4,41	2,80	6,03	6,06	0,50	6,39	6,38	-0,16
% 10 AT	5,65	5,7	0,88	6,39	6,32	-1,10	7,66	7,61	-0,65
% 20 AT	5,04	5,06	0,40	6,35	6,32	-0,47	7,20	7,18	-0,28
% 40 AT	3,43	3,53	2,92	5,23	5,29	1,15	6,22	6,28	0,96
% 10 GT	5,13	5,06	-1,36	6,69	6,84	2,24	7,02	7,02	0,00
% 20 GT	4,96	5,06	2,02	5,48	5,55	1,28	6,50	6,54	0,62
% 40 GT	4,05	4,08	0,74	4,78	4,86	1,67	6,26	6,28	0,32

Ortalama % Hata = **-0,28**

En Büyük Mutlak % Hata = **2,92**

Ortalama Mutlak % Hata = **1,09**

Korelasyon Katsayısı $r = 0,9980$



Şekil 9. Bulanık model ile eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının arasındaki ilişki

Tablo 7. Basınç deneyi sonuçları ve bulanık mantık ile bulunan sonuçlar (MPa)

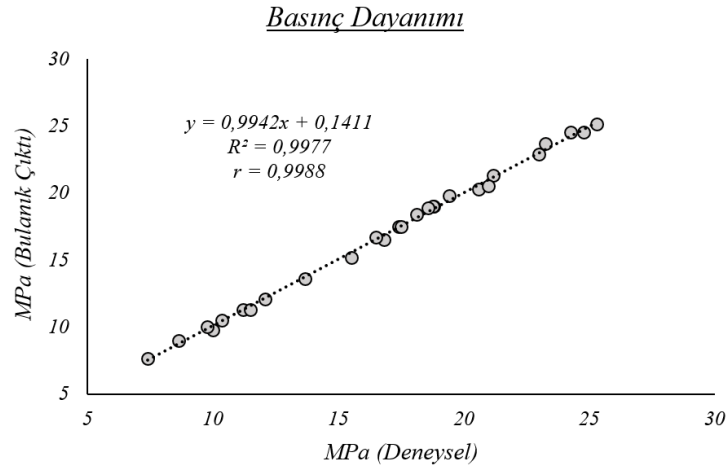
Num. İçeriği	7			28			90		
	Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)
%10 BP	16,81	16,5	-1,84	18,81	19	1,01	24,77	24,5	-1,09
%20 BP	15,51	15,2	-2,00	17,41	17,5	0,52	25,28	25,1	-0,71
%40 BP	10,01	9,75	-2,60	16,5	16,7	1,21	21,18	21,3	0,57
%10 AT	13,65	13,6	-0,37	20,57	20,3	-1,31	24,27	24,5	0,95
%20 AT	12,07	12,1	0,25	18,77	19	1,23	20,97	20,5	-2,24
%40 AT	7,41	7,64	3,10	11,48	11,3	-1,57	18,12	18,4	1,55
%10 GT	11,21	11,3	0,80	19,41	19,8	2,01	23	22,9	-0,43
%20 GT	10,35	10,5	1,45	17,5	17,5	0	23,25	23,7	1,94
%40 GT	8,63	8,97	3,94	9,76	9,98	2,25	18,57	18,9	1,78

Ortalama % Hata = **0,38**

En Büyük Mutlak % Hata = **3,94**

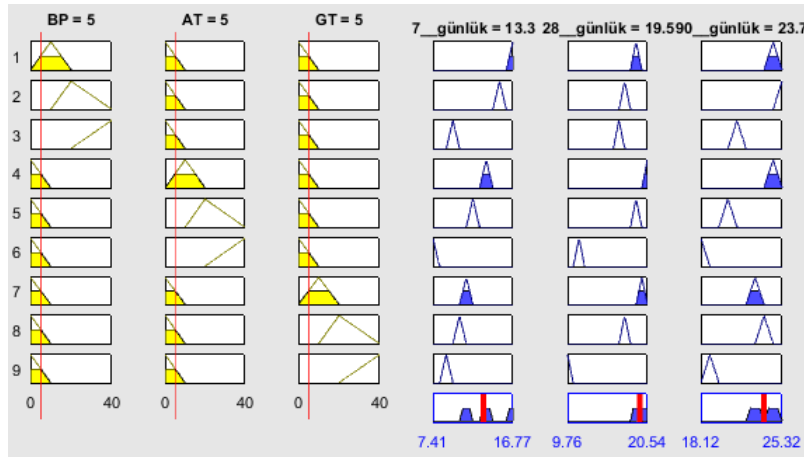
Ortalama Mutlak % Hata = **1,4**

Korelasyon Katsayısı $r = 0,9988$

**Şekil 10.** Bulanık model ile basınç dayanımı deneyi sonuçlarının arasındaki ilişki

Tablo 5-7 incelenecek olursa; toplam 81 adet numunenin (3*3*9) laboratuvar ortamında elde edilen deney sonuçları ve bunlardan hareketle oluşturulan bulanık mantık modelleri sonuçları görülmektedir. Bulanık model oluşturulurken yapılan deneyler göz önünde bulundurularak USG, eğilme ve basınç deneyleri için ayrı bulanık modeller oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar fiziki deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Verilen tablolara en yüksek farklar ortalama mutlak ve yüzde hatalar ile korelasyon sayıları eklenmiştir. Burada verilen yüzdeler; bulanık sonuç ile gerçek sonucun farkının, gerçek sonuca bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. USG ile alakalı olan Tablo 3 incelendiğinde en büyük hatanın %-1,58 olduğu ve ortalama hatanın ise %-0,12 olduğu görülmektedir. Eğilme deneyine ilişkin; en büyük hata %2,92 olarak elde edilmişken ortalama hata ise %0,28'dir. Son olarak basınç dayanımına ilişkin olarak %3,94 şeklinde en büyük hata bulunmuş ve bu deney için ortalama hata ise %0,38 olmuştur. Laboratuvar ortamında harcanan zaman, malzeme ve maliyet unsurları göz önüne alındığında bunlardan tasarruf sağlayarak sağlıklı deney sonuçları elde edilebilmesi adına bahsedilen bu hata paylarının makul olduğu görülmektedir.

Şekil 8-10'da ise elde edilen bulanık mantık analizi sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında mantıklı bir ilişki bulunup bulunmadığına dair korelasyon değerleri tespit edilmiştir. Yapılan üç deney için de elde edilen sonuçların %99 oranında uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Üyelik fonksiyonların belirlenmesinde deney sonuçlarının en yüksek ve en düşüklerinin farkının üyelik sayısına bölünmesi yoluna gidilmiştir. Kullanılacak fonksiyon sayısının artırılmasıyla; en yüksek yüzde hatalarda azalması olacaktır. Genel anlamda, elde edilen korelasyon değerlerinin %99 gibi yüksek bir oranda olmasından ötürü çalışma kapsamında üyelik fonksiyonu sayısının artırılarak yeni bir bulanık model oluşturulmasına gerek duyulmamıştır. Elde edilen bu yüzdesel oran; yapılan deneysel çalışma kapsamında hedeflenen farklı karışım karışım oranları (%5 pomza + %10 ahlat taşı tozu içeren numune gibi) ve en yüksek dayanım sonuçlarını verecek karışım oranlarının tespiti için yeni karışım ve deneyler yapılmadan; bulanık model yardımıyla belirlenecek karışım oranının ve bu orandaki numuneden elde edilecek sonucun fiziki metotlarla %99 oranında benzer şekilde elde edileceğini göstermektedir. Örnek olarak Şekil 7'deki sonuç ekranı üzerinde yapılacak inceleme ile pomza, Ahlat ve Güroymak taş tozlarının her birinin %5'yle oluşturulacak bir numunenin basınç dayanımı değerleri okunabilir. Şekil 11'de sonuçları gösterilen bu durum neticesinde, oluşturulacak böyle bir numunenin 90 gün kür sonunda yaklaşık olarak 23,7 MPa basınç dayanımına sahip olacağı söylenebilir. Bu yöntem zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesinin sağlayacak olup, bu durumla alakalı örnekler literatür taraması kısmında detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 11. Bulanık çıktı verileri üzerinden farklı karışım oranlarının vereceği tahmini sonuçların okunması

5. Sonuçlar

Günümüzde ilerleyen teknolojinin sunduğu avantajlardan yararlanma noktasında çeşitli yapay zekâ yöntemlerinin inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılması bu duruma örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan bulanık mantık sahip olduğu ve sunduğu özellikler nedeniyle bu çalışmada tercih edilen yöntemdir. En yüksek dayanım değerlerinin elde edilmesi; yapılan fiziki çalışmanın en genel amacı olup pik değeri verecek karışım oranının tespit edilmesi ve farklı karışım oranları ile üretilecek beton numunelerinin dayanım özelliklerinin belirlenmesi zaman

ve malzeme açısından maliyetli bir işlemdir. Ayrıca deney sonuçlarını etkileyecek gerek numunenin hazırlanması sırasında gerek kür aşamasında birçok parametrenin olması bu durumu daha karmaşık bir hale getirmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen korelasyon değerlerinin %99 gibi yüksek bir oranda olması; bulanık model ile tespit edilecek karışım oranının deneysel çalışmada elde edilecek dayanım sonucuyla neredeyse aynı olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum bulanık mantık uygulamalarının bu çalışmaya benzer inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Alakara EH., Ağaoğlu MN. Beton ve mermer atıkları kullanılarak üretilen bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm miktarının bulanık mantık yöntemi ile tahmin edilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2022; 14(1): 31-44.
- Aldawod M., Samali B., Naghdy F., Kwok KCS. Active control of along wind response of tall building using a fuzzy controller. Engineering Structures 2001; 23(11): 1512-1522.
- Altaş İH. Bulanık mantık: bulanıklılık kavramı. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e 1999; 62: 80-85.
- Ayçın E. Kural tabanlı bulanık modelleme ve fiyat tahminleme sürecinde bir uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2011.
- Bozkurt N., Karaca EO. Atık taş tozları ile üretilen harçların dayanım ve durabilite özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 31(1): 11-20.
- Çakıroğlu MA., Terzi S., Kasap S., Çakıroğlu MG. Beton basınç dayanımının bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010; 6(2): 1-8.
- Chen SJ., Hwang CL. Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications. New York: Springer; 1992.
- Elmas Ç. Bulanık mantık denetleyicileri (kuram, uygulama, sinirsel bulanık mantık). Ankara: Seçkin Yayıncılık; 2003.
- Elmas Ç. Yapay zekâ uygulamaları. Ankara: Seçkin Yayınevi; 2007.
- Gültekin B., Doğan G. İnşaat mühendisliğinde yapay zekâ çalışmaları. İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi 2021; 2(2): 117-138.
- Kentli A. Studies on fuzzy decision making in turkish universities: an overview. Marmara Fen Bilimleri Dergisi 2011; 23(4): 140-159.
- Keskenler MF., Keskenler EF. Bulanık mantığın tarihi gelişimi. Takvim-i Vekayi 2017; 5(1): 1-10.

- Klir GJ., Yuan B. Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. New Jersey: Prentice hall; 1996.
- Kömür M., Altan M. Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık. İTÜ Dergisi 2005; 4(2): 43-52.
- Mamdani EH. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 1974; 121(12): 1585-1588.
- Özdemir O., Kalıncara Y. Bulanık mantık: 2000-2020 yılları arası tez ve makale çalışmalarına yönelik bir içerik analizi. ACTA Infologica 2020; 4(2): 155-174.
- Öztekin E. Tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin bulanık mantık metodu ile belirlenmesi. ALKU Journal of Science 2022; Özel Sayı: 11-20.
- Öztekin E. Bulanık mantık yaklaşımıyla süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının hesabı. ALKU Journal of Science 2022; Sayı 4(1): 1-10
- Sarıdemir M. Farklı agregalarla üretilmiş beton özelliklerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile tahmin edilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Eskişehir, Türkiye, 2008.
- Tanyıldızı H., Yazıcıoğlu S. Bulanık mantık metodu ile tekil yükler altında iki açıklıklı kirişlerin plastik göçme yük faktörü değerinin bulunması. İMO Teknik Dergi 2006; 17(84): 3961-3971.
- Topçu İB., Uygunoğlu T., Sivri M. Puzolanların beton basınç dayanıma etkisinin yapay sinir ağlarıyla incelenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006; 2: 1-10.
- Topsakal A., Özel C. Kendiliğinden yerleşen betonların yerleştirme zamanına bağlı taze ve sertleşmiş özelliklerinin bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2012; 12: 1-7.
- Uygunoğlu T., Ünal O. Uçucu külün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı. 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2005, Konya.
- Uygunoğlu T., Ünal O. A new approach to determination of compressive strength of fly ash concrete using fuzzy logic. Journal of Scientific & Industrial Research 2006; 65: 894-899.
- Uygunoğlu T., Yurtcu Ş. Yapay zekâ tekniklerinin inşaat mühendisliği problemlerinde kullanımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006; 2(1): 61-70.
- Uygunoğlu T., Ünal O., Yücel KY. Seyitömer uçucu külünün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2005; 1(1): 13-20.
- Zadeh LA. Fuzzy sets. Information and Control 1965; 8(3): 338-353.
- Zadeh LA. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 1973; 3(1): 28-44.
- Zadeh LA. The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. Information Sciences 1975a; 8(3): 199-249.
- Zadeh LA. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II. Information Sciences 1975b; 8(4): 301-357.

Zadeh LA. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III.
Information Sciences 1975c; 9(1): 43-80.