

## BULANIK MANTIK MODELİ İLE ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

### CLASSIFICATION OF THE SOILS USING MAMDANI – FUZZY INFERENCE SYSTEM

Eray Yıldırım<sup>-1</sup>, Emrah DOĞAN<sup>-2</sup>, Can Karavul<sup>-3</sup>, Metin Aşçı<sup>-4</sup>, Ferhat Özçep<sup>-5</sup> Hasan Arman<sup>-6</sup>

**Posta Adresi:** Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 54187 ESENTEPE/SAKARYA Tel:(0 264) 295 57 05

**E-posta:** erayy@sakarya.edu.tr, erayjeo@hotmail.com, emrahd@sakarya.edu.tr

---

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, Bulanık Mantık, Mamdani, AASHTO, Zemin Sınıflaması

**ÖZ** Bu çalışmada AASHTO (Amerikan devlet otoyolları ve resmi taşımacılık birliği) zemin sınıflama kriterlerini kullanarak Bulanık Mantık (BM) Mamdani metodunda zemin tanımlama sistem oluşturulmuştur. AASHTO zemin sınıflama sisteminde kullanılan 10, 40 ve 200 nolu eleklerin geçen danelerin yüzdesi, 40 nolu elekten geçen kısmın Likit limit ve Plastisite İndisi özellikleri ve Grup İndisi değerleri BM-Mamdani metodunda girdiyi ve zemin tanımını ise çıktı olarak tanımlanmıştır. Girdiler ve çıktı için üyelik fonksiyonları oluşturularak dilsel ifadelerle ( elek üstü, elek altı, çok az, az, orta, fazla, çok fazla gibi) dönüştürülmüştür. Zemin tanımlaması için kural tabanı oluşturulmuştur. Bulanık çıkarım ve durulaştırma işlemi sonucunda BM-Mamdani metodu ile oluşturulan model zemin tanımını, AASHTO sistemine benzer şekilde verebilmektedir. Oluşturulan modeli test etmek için rasgele girdi değerleri verilerek AASHTO daki tanım ile BM-Mamdani deki tanım karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda %100 lük bir uyum olduğu görülmüştür. Genel olarak BM-Mamdani metodunun zeminlerde ve benzeri durumlarda sınıflama yapabileceği görülmüştür.

**ABSTRACT** In this study, classification of the soils have been done using AASHTO criteria by applying Mamdani-Fuzzy Inference Systems (Mamdani-FIS). The percentage values that is passing through the numbers of 10, 40, 200 sieves, liquid limit, plasticity index and group index were chosen as input vectors while the classification of the soil was chosen as a output vector. Rules for the classification of the soils were determined using FIS. After determining of the rules input values were given randomly into the Mamdani-FIS model and FIS model produced results. These results were compared with the AASHTO results. After the comparing of the results, it is shown that FIS results are the same with AASHTO results. It can be said that Mamdani-FIS can be used for classification of the soils.

## GİRİŞ

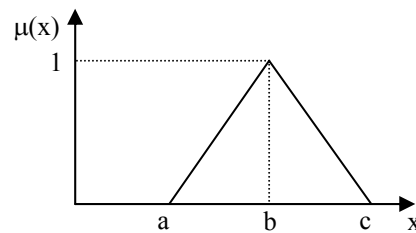
Zemin sınıflama sistemi mühendisler için bir nevi iletişim, ortak dil gibidir. Bir zemine atanabilecek birkaç harf veya sayı mühendise zeminin olası fiziksel özellikleri, hatta mekanik davranışı hakkında çok hızlı olarak bir fikir sağlamaktadır (Önalp, 2002). Zemin ile ilgili alanlarda yapılan çalışmalar, araştırmalar, zemin sınıfı belirtilerek yayınlanmaktadır. Zemin sınıfı belirtilmezse, bilgilerin birikimi veya geleceğe aktarılması olanaksız olacaktır (Uzuner, 2000). Son 50 yıldır pek çok zemin sınıflama sistemi önerilmiştir. Zemin sınıflaması önceleri tarım, jeoloji ve inşaat mühendisliği ayrı yaklaşım ve kriterlerle özel amaca yönelik yapılmıştır (Önalp, 2004). Günümüzde Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (USCS) ve AASHTO sınıflama sistemleri inşaat mühendisliği

uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. USCS nin az değiştirilmiş şekilleri A.B.D. dışında başta İngiltere’de ve başka yerlerde yaygın kullanımı söz konusudur. AASHTO sınıflama sistemi ilk olarak Hogentogler ve Terzaghi tarafından 1929 yılında geliştirilmiştir. 1929’dan beri birkaç kez yeniden düzenlenerek sistem 1945’de son şeklini alarak şimdiki AASHTO (1978) sistemi oluşmuştur. AASHTO sistemi 1’den 8’e kadar zeminleri sınıflamıştır (Hogentogler v.d., 1929, Holtz v.d., 1981). Bu çalışmada, ASSHTO zemin sınıflama sistemi kriterleri göz önüne alınarak BM-Mamdani modeli oluşturulmuştur. Bulanık mantık metodu bir yapay zeka tekniğidir. Yapay zeka 20. yüzyılda çalışılmaya başlanan ve günümüzde pek çok disiplinin üzerinde çalıştığı bir tekniktir. Yapay zeka özellikle mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır (Temurtaş, 2005). Yapılan literatür araştırmasında yer bilimlerinde yapay zeka uygulamalarının çok fazla olmadığı görülmektedir.

## BULANIK MANTIK TEORİSİ VE UYGULAMA

Bulanık mantık kavramı genel olarak insanın düşünme biçimini modellemeye çalışır. Bulanık mantığın klasik matematiksel yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır. Belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilebilmesi, karmaşık sistemlerin modellenmesine bulanık mantığın getirdiği en büyük kolaylık olarak değerlendirilir. Bulanık mantık kavramında bir üyenin bir kümenin üyesi olup olmadığı üyelik fonksiyonları ile belirlenir. Bu kavram ile bulanık mantığın kullandığı çıkarım yöntemleri kullanılarak olaylar hakkında yorum yapmaya çalışılır. Buradan, bulanık kümelerin nesnel değil öznel olduğu sonucu çıkarılabilir. Bulanık kümedeki nesnenin üyelik derecesi, öznel olarak tanımlı üyelik fonksiyonuyla verilir. Bir nesnenin üyelik derecesinin değeri 0 ile 1 arasında değişir. Burada 1’in değeri tam üyeliği gösterir, 0’a yakın değer ise bulanık kümedeki nesne üyeliğinin zayıf olduğunu belirtir. Dolayısıyla değeri 0 olan nesne bulanık kümenin üyesi değildir. Bulanık mantık terminolojisinde sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyonu türleri; üçgen, trapez ve çan biçimli üyelik fonksiyonlarıdır. Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır (Gülbağ, 2006). Şekil 1’de Üçgen üyelik fonksiyonu ve fonksiyonun matematiksel ifadesi  $\{a,b,c\}$  parametreleriyle görülmektedir.

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , c \leq x \end{cases}$$

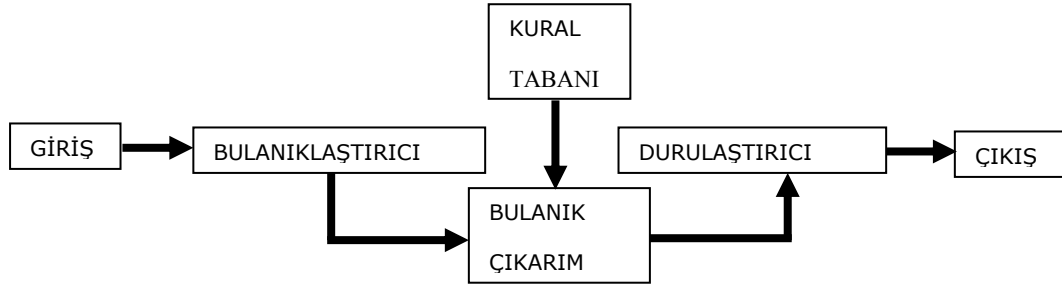


Şekil-1. Üçgen üyelik fonksiyonu ve matematiksel ifadesi

Bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı üç kısımdan oluşur: Bulanık kuralların seçimini içeren “kural tabanı”, bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarının bilgilerini içeren “veri tabanı” ve kurallar doğrultusunda verilen koşullara bağlı olarak çıkışları belirleyen “yargılama mekanizması”. Literatürde en çok Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemlerinin bahsi geçmektedir. Mamdani bulanık çıkarım sisteminde;  $A_i, B_i, C_i$  sırasıyla  $i=1,2, e \in E, f \in F$  ve  $g \in G$  için E, F ve G’de tanımlanmak üzere iki tane bulanık denetim kuralı aşağıdaki gibi ifade edilebilir; Sözel değişkenler (e,f ve g) arasındaki ilişki genelleştirilmiş bulanık ilişkiye bağlı olarak ve maksimum-minimum operatörleri kullanılarak tanımlanır.

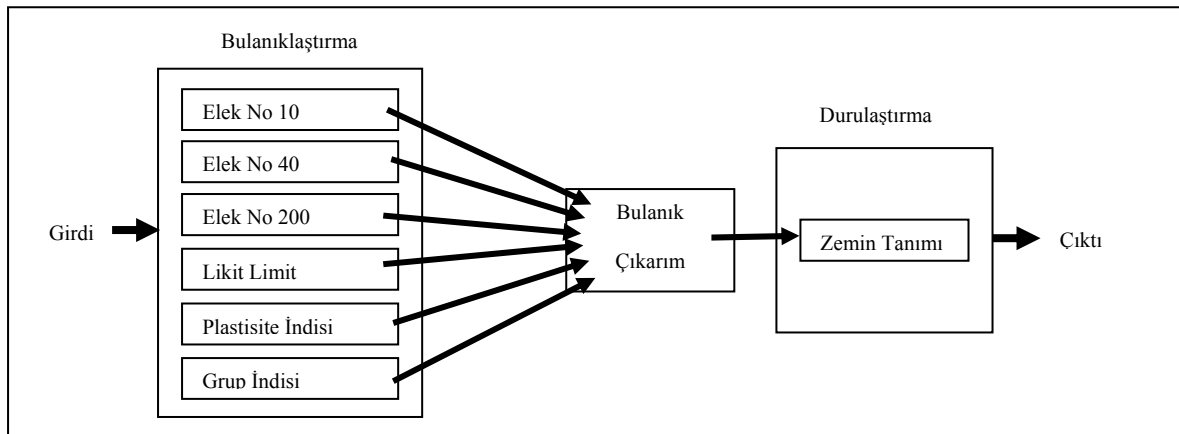
Eğer e  $A_1$  ve f  $B_1$  ise g  $C_1$

Eğer e  $A_2$  ve f  $B_2$  ise g  $C_2$



**Şekil-2.** Bulanık küme tabanlı bir sistemin genel yapısı

AASHTO sınıflandırma sisteminde; Zeminin granülometri eğrisinden elde edilen 10, 40 ve 200 No.lu eleklerle ait yüzdelere, likit limit, plastisite indisi, grup indisi kullanılarak sınıflandırma yöntemine ait tabloda soldan sağa doğru eliminasyon ile gidilerek, sınıf belirlenir. İlk sağlayan sınıf, zemin sınıfıdır. Oluşturulan BM-Mamdani modelinde No 10 elek, No 40 elek, No 200 elek, No 40 elekten geçen kısmın Likit Limiti, Plastisite İndisi ve Grup İndeksi olmak üzere 5 girdiden ve Zemin tanımı olmak üzere 1 çıktıdan oluşmaktadır (Şekil 3). Girdiler ve çıktı için kendi içerisinde üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Her bir üyelik fonksiyonu için dilsel ifadeler tanımlanmıştır (elek altı, elek üstü, çok az, az, orta, fazla, çok fazla gibi). Örneğin; 10 nolu elek girdisi için 2 adet alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler 10 nolu elekten geçenlerin miktarını belirtecek şekilde elek üstü ve elek altı olmak üzere dilsel ifadelere dönüştürülmüştür. Buradaki alt kümelerin oluşturulmasında üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Buna benzer şekilde diğer girdiler ve çıktı içinde üyelik fonksiyonları oluşturulmuş ve dilsel ifadeler ile tanımlanmıştır. Sınıflama çıktısı ise 11 adet üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Buradaki 11 adet üyelik fonksiyonu AASHTO daki zemin tanımını ifade etmektedir (A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6 ve A-7).



**Şekil-3.** Oluşturulan Mamdani tipi Bulanık Mantık modeli

MATLAB bilgisayar programının bulanık mantık editörü olan Fuzzy Toolbox'ta sistemimizdeki girdileri ve çıktığı tanımladıktan sonra kurallar oluşturulmuştur (Toolbox, 2000). Bu kuralların oluşturulmasında AASHTO kriterleri baz alınmış ve bunun neticesinde 11 adet kural yazılmıştır. Tablo 1'de ise rasgele değerler verilerek AASHTO sistemindeki zemin tanımlaması ile bu çalışmada elde edilen BM-Mamdani modelindeki zemin tanımlaması verilmiştir. BM-Mamdani çıktıları ile mevcut sınıflama sisteminde elde edilen çıktıların tamamen aynı oldukları Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo-1.** Rasgele verilmiş değerlerdeki AASHTO ve BM-Mamdani zemin sınıfı tanımı

	Elek Analizi (Geçen danelerin % si)			No 40 elekten geçen kısmın karakteristiği		Grup İndisi	AASHTO tanımı	BM-MAMDANI tanımı
	No 10 Elek	No 40 Elek	No 200 Elek	Likit Limit	Plastisite İndisi			
1	40	15	5	-	4	0	A-1-a	A-1-a
2	40	30	24	-	1	0	A-1-b	A-1-b
3	62	55	9	-	NP	0	A-3	A-3
4	50	10	30	35	5	0	A-2-4	A-2-4
5	30	60	5	60	9	0	A-2-5	A-2-5
6	6	71	15	10	20	2	A-2-6	A-2-6
7	12	56	21	70	30	1	A-2-7	A-2-7
8	20	8	70	20	7	5	A-4	A-4
9	30	15	50	50	2	6	A-5	A-5
10	11	52	37	25	40	8	A-6	A-6
11	5	5	90	75	50	10	A-7	A-7
12	10	5	7	-	1	0	A-1-a	A-1-a
13	72	2	2	-	5	0	A-1-b	A-1-b
14	61	60	1	-	NP	0	A-3	A-3
15	2	80	13	10	1	0	A-2-4	A-2-4
16	25	45	29	45	1	0	A-2-5	A-2-5
17	50	16	31	20	60	3	A-2-6	A-2-6
18	57	1	30	45	46	4	A-2-7	A-2-7
19	21	18	38	10	8	4	A-4	A-4
20	17	23	46	54	7	7	A-5	A-5
21	29	17	55	5	15	9	A-6	A-6
22	22	16	62	65	43	19	A-7	A-7

## SONUÇ

Bu çalışmada AASHTO sisteminde kullanılan kriter ve değerler baz alınarak zeminlerin tanımı BM-Mamdani metoduyla elde edilmiştir. Sistemin performansı ile ilgili olarak yapılan denemelerde (Tablo 1) AASHTO zemin tanımlamasıyla bu çalışmada oluşturulan BM-Mamdani sistemindeki zemin tanımlamasının tamamen aynı olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile Mamdani Bulanık mantık metodunun zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

For Use with MATLAB®Fuzzy Logic Toolbox, 2000, User's Guide *Version 2* The MathWorks, Inc.,

Gülbağ A., 2006, Yapay zeka tekniklerini kullanarak uçuşu organik bileşiklerin miktarsal tayini, **Doktora Tezi**, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hogentogler C.A., Terazghi C., 1929, Interrelationship of Load, Road and Subgrade, Public Roads, Vol. 10, No. 3, pp. 37-64.

Holtz R.D., Kovacs W.D., 1981, **Geoteknik Mühendisliğine Giriş**, Gazi Kitabevi. Çeviren: Kamil Kayabalı ISBN: 0-13-484394-0

Önalp A, 2002, **Geoteknik bilgisi 1 Çözümlü problemlerle Zeminler ve Mekaniği**, Birsen Yayınevi.

Önalp A, 2004, Zeminlerin sınıflandırılması ve TS 1500/2000'in tanımı, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, sayı:430 – 2004/2

Temurtas F., 2005, **Doktora ve Y.L Sinirsel Bulanık Sistemler Ders Notları**, SAKARYA

Uzuner B. A., 2000, **Çözümlü problemlerle Temel Zemin Mekaniği**, Teknik Yayınevi.