

Bulanık Mantık: Özellikleri ve Süreksizlik Denetimli Bir Şey Duraysızlığına Uygulanması

Fuzzy Logic; Its Attributes, and Application to a Discontinuity Controlled Slope Failure

Candan GÖKÇEOĞLU» .Harun SÖNMEZ» Murat ERCANOĞLU

Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamak Jeoloji Anabilim Dalı,
06532 Beytepe/ANKARA

ÖZ

Bilgisayar destekli tasarım amaçlı mühendislik çalışmaları bir takım mantık sistemleri ve matematiksel uo deUeri gerektirir. Klasik sayısal analiz yöntemleri sadeleştirilmiş ve sınırlan belirli sistemlerin çözümü için uygun olmasına karşın, karmaşık ve etkileşimli sistemlerin değerlendirilmesinde zaman zaman yetersiz kalabilmektedir, özellikle mühendislik jeolojisinde kayaç ve zeminlerin dayanım parametrelerine bağlı sınıflandırılması ve bu parametreler kullanılarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilecek bilgi temelli uzmanlık sistemi (knowledge-based expert systems) değerlendirmeleri için uygun nitelikte olan bulanık mantık yaklaşımı bu çalışma kapsamında incelenerek, süreksizlik denetimli bir şey duraysızlığı bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Andezitler içerisinde gelişmiş olan kama türü şey duraysızlığının analizi limit-denge yöntemiyle yapıldığında, güvenlik katsayısı 1.24 olarak elde edilmiş» duraysız bir şey için Tden büyük olarak hesaplanan bu güvenlik katsayısının» şey geometrisi, süreksizlik konumları ve özellikle süreksizliklere ilişkin makaslama dayanım parametrelerinin kesin bir şekilde belirlenememesinden kaynaklandığı düşünülmüştür, Bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan değerlendirmede ise duraylılık indeksi 0,31 olarak elde edilmiştir. Bu indeks değerine göre şeyin duraylılığı "orta*" derecede olup, kaymaya eğilimlidir. Bu iki sonuç karşılaştırıldığında, bulanık mantık yaklaşımının, yer yer olasılık yaklaşımlarının kullanımı gibi, klasik deterministik analiz yöntemlerini destekleyici biçimde kullanılmasının yararlı olacağı ortaya çıkmaktadır»

Anahtar Sözcükler: Bulanık mantık, deterministik analiz», duraylılık indeksi, şey duraysızlığı

ABSTRACT

This paper is concerned with the basic attributes of fuzzy logic, its possible application areas in engineering geology and a simple slope stability application, Some uncertainties are inherent to many engineering geological applications. In the literature, two types of uncertainty such as ignorance and variability are described, Some approaches such as fuzzy logic, probability theory etc are used to minimize these uncertainties. The fuzzy logic, one of these techniques, is an effective tool to define some uncertainties sourced from ignorances and variabilities, Theoretically, fuzzy rules can be constructed based either an expert knowledge or on a set of observed or measured data. One of the most important stage of fuzzy logic approach is the construction of membership functions. The assumption underlying fuzzy logic theory is that the transition from membership to non-membership is seldom a step function. Rather, there is a gradual but specifiable change from membership to non-membership.*

In crisp set theory, a membership Junction ($p_a(x)$) has only Hvo values (0 and 1). In this study, some membership Junctions defined in the literature were presented with their graphical illustrations. In order to demonstrate the strength and use of this approach, a conventional deterministic slope stability analysis incorporated with the fuzzy logic was performed and the results were discussed. A wedge failure occurred in the andésites was analyzed and the factor of safety was found as 1.24. However, it was concluded that this result did not reflect the actual condition, This was, most probably due to the uncertainties associated with the measurement of the shear strength parameters,. Also, the stabiliy index value was determined. According to the stability index, value the stability class of this slope is fair and the slope is prone to slide.. When performing the fuzzy logic approach, the triangular membership functions were selected,, because, a triangular members hip function can be defined by a maximum, a minimum and a mode value, In classical geotechnical studies, if there is no statistically significant database, the use of fuzzy logic approach based on competent judgement can be accepted as an .effective way to eliminate uncertainties.. As a consequence, the fuzzy logic is attracting more and more attention in several research fields because it is able to tolerate a wide range of uncertainty.

Key Words: Fuzzy logic, deterministic analysis, stability index,, slope instability,.

Giriş

Basitleştirilmiş ve sınırları belirli koşulların değerlendirilmesi için, klasik mantık temelli matematiksel analiz yöntemleri pratik olarak uygulanabilir özelliktedir. Ancak klasik mantık temelli matematiksel yöntemler karmaşık, birbirleriyle içice geçmiş ve kişisel değerlendirmeye dayalı sistemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır (Kaufmann ve Gupta, 1988). Özellikle mühendislik çalışmalarının karar verme aşamalarında deterministik yaklaşımların yanısıra karmaşık sistemlerin doğasından kaynaklanan bazı belirsizliklerin giderilebilebilmesi için klasik mantık temelli matematiksel yaklaşımlardan farklı birtakım yeni mantıksal ve matematiksel yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır. Örneğin, kaya kütlelerinde uygulanacak mühendislik tasarımlarının başarısı, mümkün olduğunca doğru, parametrelerin tayinini gerektirmesine rağmen, kütlelerin karmaşık yapısı birçok belirsizliğe neden olabilmektedir.. Casti (1990- Juang vd., 1998)>e göre temel olarak iki tür belirsizlik mevcuttur:

- (1) Ölçüm hatalarını, modelin matematiksel şekli hakkındaki kararsızlık ve ayrıştırmanın düzeyini belirlemedeki karmaşıklıkları içeren ihmaller,
- (2) Stokastisite, uzaysal değişim ve tek tek heterojenliği içeren aşırı değişkenlik.

Temelde ihmal ve değişkenlik çok farklı kavramlardır.. Aşırı değişkenlik nesnel bir özelliğe sahip

olup, bundan kaynaklanan belirsizlikler olasılık teorisinin kullanımı ile giderilebilir (Juang vd., 1998). Buna karşın ihmaller ise uygulamacının özneliği ile ilişkilidir ve bundan kaynaklanan belirsizliklerin giderilebilmesi için deneyimin kullanıldığı bir yoruma gereksinim vardır,. Özellikle değişkenlik, temelli belirsizliklerin giderilmesinde özellikle son yirmi yılda olasılık teorisinin kaya mekaniğinde ve şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi çalışmalarında kullanılması gündeme gelmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle şev tasarımı, mekanik parametrelerin ve süreksizlik verilerinin değerlendirilmesi açısından olasılık teorisi kaya mekaniği uygulamalarında önemli bir yere sahip olmuştur (örneğin, Baecher ve Einstein, 1978; Marek ve Savely, 1978; Miller, 1983; Chowdhury, 1986; Carosso vd., 1987; Leventhal vd., 1992; Chowdhury ve Xu, 1995; Gökçeoğlu vd., 2000). Buna karşın ilk kez Zadeh (1965) tarafından matematiksel olarak tanımlanan bulanık mantık, kaya mekaniği ve/veya jeoloji uygulamalarına ancak 1980lerin ikinci yarısından itibaren girmeye başlamıştır. Oysa, bulanık mantık yaklaşımı. 1970lerin başından itibaren makina ve elektronik sanayinde yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Çünkü, bulanık mantık, genel şematik yapısı Şekil. l'de verilen bilgi temelli uzmanlık sistemine kolaylıkla uygulanabilecek bir özelliğe sahiptir. En az makina ve elektronik teknolojisi kadar, jeoloji ve madencilik uygulamalarında da kullanılabilir nitelikte olan bulanık mantık yaklaşımı, Sakurai ve

Shimizu (1987), Juang vd. (1998) ile Lee vd. (1999) tarafından şev duraylılığının değerlendirilmesinde, Juang vd. (1992) tarafından olası şev duraysızlık potansiyelinin haritalanmasında, Nguyen (1985) tarafından kaya kütle sınıflama sistemlerine, Grima ve Babuska (1999) tarafından tek eksenli sıkışma dayanımının tahminine ve Cagnoli (1998) tarafından ise volkanolojideki sınıflamalara uygulanmıştır, Bulanık mantığın madencilikle ilgili uygulamaları. Hammah ve Curan (1996), Zettler vd. (1996), Grima ve Verhoef (1997) ile Kalamaras (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Wang (1990) tarafından bir bulanık uzaktan algılama görüntüsü sınıflaması gerçekleştirilmiş ve bu yöntemle sınıflama sırasında görüntülerde oluşan kayıplar en aza indirgenmiştir. Gopal ve Woodcock (1994) ise uydu görüntülerinden elde edilen amaca yönelik haritaların değerlendirilmesinde bulanık mantığın üstün bir performans gösterdiğini belirtmiştir. Metternicht (1999) ise bulanık mantık kullanarak uzaktan algılama verileri yardımıyla bir sahada zaman içinde oluşan değişimlerin analizini gerçekleştirmiş ve bulanık mantığın bu tür çalışmalarda önemli avan-

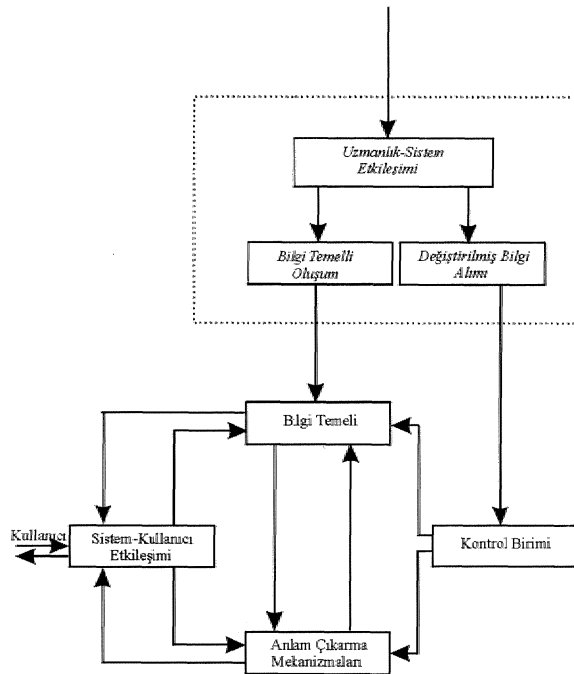
tajlar sağladığını belirtmiştir. Ancak, bulanık mantık konusu tüm bu uygulamalara karşın kaya mekaniği uygulamacıları için henüz daha yeni bir alan olma özelliğini korumaktadır.

Jeoteknik pratiğinde, istatistiksel olarak yeterli bir veri tabanı oluşturmak her zaman mümkün olmamaktadır (Juang vd., 1998), Bu nedenle, jeoteknik pratiğine bir uzmanlık yorumuyla birlikte bulanık mantığın kullanımı önemli katkılar sağlayabilecektir. Burrough (1989)* a göre,, kesinliğin olmadığı yerde ve zamanda bulanık mantık kullanılabilecek önemli bir araçtır (Matternicht, 1999).. Buna ek olarak, uzmanlık sistemleri için belirsizliklerin değerlendirilmesinde bulanık mantığın etkili bir araç olduğu Zadefa (1984) tarafından da belirtilmiştir. Bu çalışmada ise ilk kez Zadeh (1965) tarafından matematiksel olarak temellendirilen bulanık mantığın genel bir değerlendirmesi yapılarak,, güncel, bir kama yenilmesine uygulanması gerçekleştirilmiştir.

Bulanık Mantık Yaklaşımı

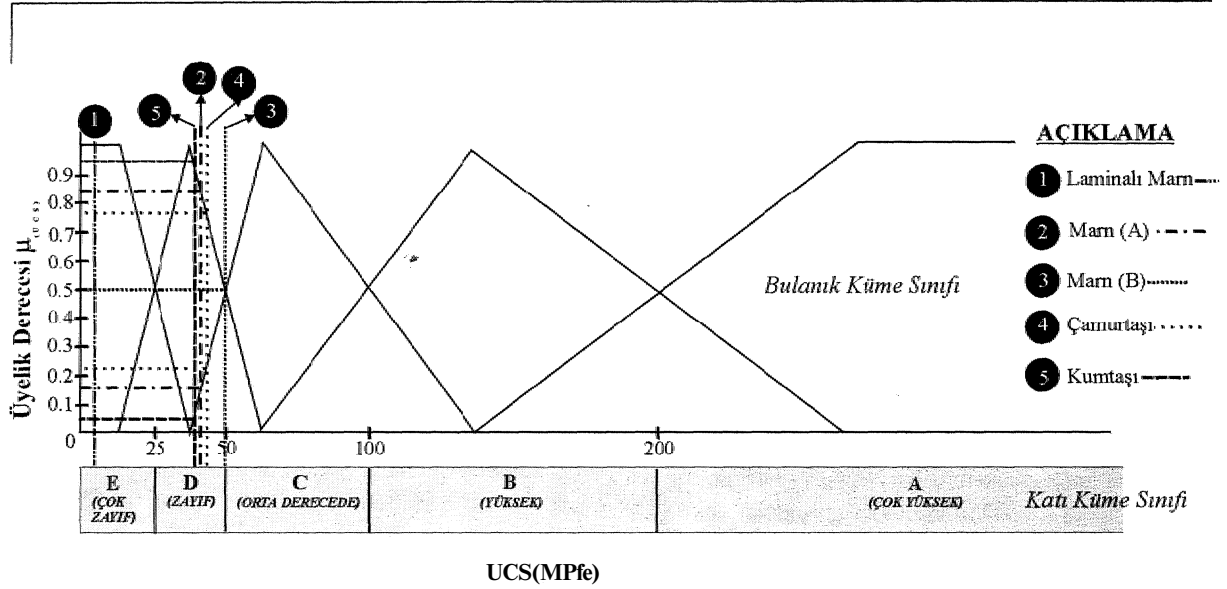
Herhangi, bir bilim dalındaki temel yöntem,, öncelikli olarak fiziksel yasaların izin verdiği ölçüde bir fiziksel süreç ya da özelliğin sınıflandırılmasıdır (Di Nola vd., 1989). Ancak bu aşamadaki en önemli engellerden birisi herhangi bir süreç ya da fiziksel özelliğin gerçekte tek bir katı küme (crisp set) içerisine her zaman oturtulamamasıdır. Rüssel (1.923) "a göre geleneksel mantık belirli verilerle çalışmayı kabul eder ancak bu durum, gerçek yaşam için çok uygulanabilir değildir. (Di Nola vd., 1989) Bu anlamda özellikle jeolojik nesnelere sınıflandırılmasında önemli güçlüklerle karşılaşabilmektedir. Çünkü birçok jeolojik malzeme mineralojik, petrografik, fiziksel ve mekanik vs. özellikleri açısından sadece belli bir dereceye kadar, kendi sınıfsal özelliklerini gösterdiğinden,, bunları geleneksel yöntemlerle sınıflandırmaya çalışmak, bazen problemlerle sonuçlar doğurabilmektedir (Cagnoli, 1998).

Bir kaya kütlesi içerisinde gözlemsel incelenen ve bazı standartlara uygun olarak niteliksel biçimde tanımlanan bozunma, doku, yapı gibi bir takım fiziksel, özelliklerin de bir aritmetik fonksiyonla ifadesi



Şekil 1: Bilgi temelli sistemlerin genel yapısı (Di Nola vd., 1989'dan).

Figure 1: General structure of knowledge-based systems (after Di Nola et al 1989)..



Şekil 2: Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) kullanılarak sınıflandırılması, için bulanık mantık ve katı küme yaklaşımları.

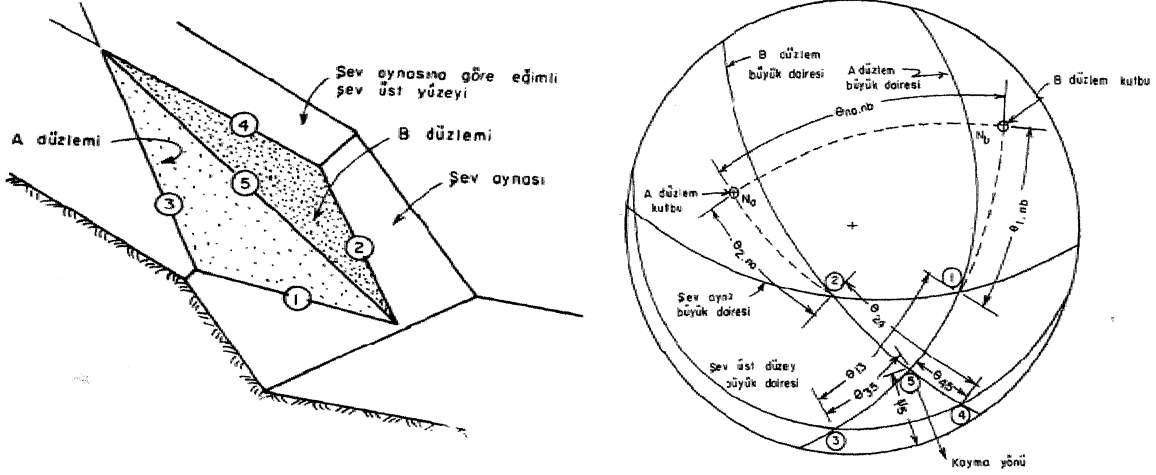
Figure 2: Fuzzy logic and rigid set approach es for the classification of rocks using' uniaxial compressive strength (UCS).

genellikle- güçtür.. Bu durumda, niteliksel tanımlamaları bulanık mantık yaklaşımı ile matematiksel ifadelerle dönüştürmek olasıdır.. Sakurai ve Shimizu (1987)'ye göre de bulanık mantık yaklaşımı çok yararlı bir araç olup, kaya mekaniği uygulamalarında kullanılmalıdır. Kaya mekaniği uygulamalarında bulanık mantık yaklaşımına oranla olasılık yaklaşımı, daha az kullanışlıdır. Çünkü kaya kütlelerinin mekanik özelliklerinin olasılık yoğunluk fonksiyonuna karar verilmesi sırasında güçlüklerle karşılaşılabilir. Ayrıca, olasılık yaklaşımları simülasyon teknikleri veya normalleştirme gibi birçok ara aşamayı gerektirir.. Yao ve Faruta (1986)'ya göre ise bulanıklık, herhangi bir şeyin özelliklerinin, karmaşıklığından kaynaklanan,, ya da özelliklerinin araştırılması sırasındaki bilgi eksikliği nedeniyle ortaya çıkan belirsizliktir. Belirsizliği içeren parametreler tahmin edilecek alt ve üst sınırlar ile belli, bir aralıkta ifade edilebilir ve bu işlemi de bulanık, mantık yardımıyla gerçekleştirmek olasıdır (Juangyd., 1998)..

Matematiksel olarak bir bulanık, küme aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$A = \{x, \quad |IA(X)| \quad X \in X \quad (i)$$

X içerisindeki A gibi bir bulanık küme her bir değeri $[0,1]$ aralığında olan $(IA(X))$ gibi bir üyelik fonksiyonu (membership function) ile temsil edilir.. Bu üyelik fonksiyonu her bir x için bir üyelik, derecesini tanımlar. Sözü edilen üyelik derecesi ise bir elemanın bulanık kümeye ne kadar ait olduğunun bir göstergesidir.. Dombi (1990)'a göre, bulanık küme teorisindeki tüm sorular, insanların bulanıklığı yorumlamadaki bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Aynı araştırmacı (Dombi, 1990) özellikle bulanık mantığın uygulanması sırasında, üyeliklerin nasıl oluşturulduğunun açıklanmasının ihmal edildiği koşulları yöntemin, sonuçları açısından çok tehlikeli bir durum olarak görmektedir, Metternicht (1999)'a göre üyelik fonksiyonlarının türetilmişinde olası iki temel yaklaşım mevcuttur.. Bunlar, Robinson (1988) tarafından isimlendirilen Benzerlik İlişki Modeli (Similarity Relation Model) ile Anlamsal Giriş Modeli (Semantic Import Model) dir.. Üyelik, fonksiyonun değerlerinin belirlenmesinde "öbekleme (cluster) analizi" ve "sayısal, sınıflama (nümerik taksonomi)"yi temel alan benzerlik ilişki, modelinin bilinen, en yaygın, türleri k-ortalamlar (k-means) ve; c-ortalamlar (c-means) yöntemleridir.. Bunlar daha çok toprakların gruplandırılması, uzaktan algılama görüntülerinin sınıflandırılması ve bitki örtüsü analizleri için uygundur (Metternicht, 1999). Anlamsal giriş modeli, ise kullanıcının konu



Şekil 3: Kama analizinde kullanılan, parametreler.
Figure 3: The parameters used for wedge analysis.

ile ilgili belirli düzeyde bilgiye sahip olduğu ve verileri nasıl gruplayacağını çok iyi bildiği durumlarda kullanılabilir bir yaklaşımdır (Burrough, 1989; Mattemicht, 1999).

Dombi (1990) bir üyelik fonksiyonunun, sahip olması gereken, özellikleri aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

(1) Bütün üyelik fonksiyonları sürekli olmalı.

(2) Bütün üyelik fonksiyonları belli, bir aralıkta $[a,b]$ tanımlanmalı $\mu_{[a,b]} \in [0,1]$.

(3) Üyelik, fonksiyonları tekdüze bir şekilde sürekli artan ya da sürekli azalan, olabileceği gibi artan ve azalan bölümleri de olabilir.

(4) Tekdüze üyelik fonksiyonları, tanımlanan tüm aralıkta içbükey ya da dışbükey şekilli olabileceği

Çizelge 1: Sınıflamada örnek olarak kullanılan bazı kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) değerleri (Gökçeoğlu, 1997'den).

Table 1: Uniaxial compressive strengths of some rocks used as example for classification (after Gökçeoğlu 1997).

Kayın Türü	UCS(MPa)(En Küçük)	UCS(MPa)(En. Büyük)	UCS(MPa)(Ortalama)
1) Laminarlı Mara	2.2	7.4	4.1
2) Mara (A)	35.4	44.3	40.2
3) Mara (B)	47.0	67.3	55.6
4) Çamurtaşı	31.9	67.2	43.9
5) Kumtaşı	23.1	59.3	39.5

gibi, tanımlanan aralık $[a,b]$ içerisinde kalan bir noktaya, c , kadar içbükey $[a,c]$, c noktasından sonra da dışbükey $[c,b]$ olabilir,

(5) Tekdüze artan fonksiyonlarda; $\mu(a)=0$, $\mu(b)=1$ dir.

(6) Tekdüze azalan fonksiyonlarda; $\mu(a)=1$, $\mu(b)=0$ 'dir.

Dombi (1990) tarafından tekdüze bir şekilde sürekli artan ve azalan fonksiyonlar:

$\mu_{[a,b]}(x) = \frac{b-x}{b-a}$ eğer μ tekdüze artıyorsa,

$\mu_{[a,b]}(x) = \frac{x-a}{b-a}$

$b-a$

hau $b-x$

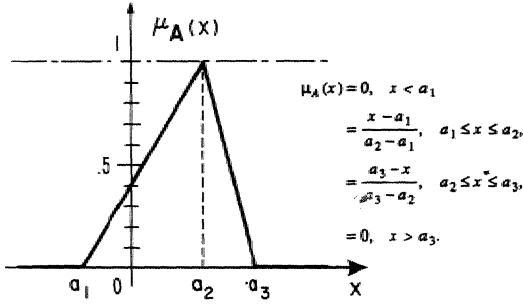
$\mu_{[a,b]}(x) = \frac{x-a}{b-a}$ eğer μ tekdüze azalıyorsa,

Çizelge 2: Örnek olarak, kullanılan kayaların tek eksenli sıkışma dayanımlarına göre sınıflandırma sonuçları.

Table 2: Classification results of the rocks used as example according to their uniaxial compressive strengths.

Sıra No	Kayaç	Katı Küme Sınıflandırması.	Bulanık Küme Sınıflandırması
1	Laminarlı Mara	E*	(E, IQ **)
2	Mara (A)	D	(D, 0.84), (C, a 16)
3	Mara (B)	C	(D, 0.5), (C, 0.5)
4	Çamurtaşı	D	(D, 0.78), (C 0.22)
5	Kumtaşı	D	(D, 0.95), (C 0.05)

Deere ve Miller (1966) sınıflamasındaki grup sembolleri ** Üyelik fonksiyonu değeri ($\mu_{0.95}$)



Şekil 4: Üçgen türü. üyelik fonksiyonu (Kaufmann ve Gupta, 1988*0),

Figure 4: Triangle type membership function (after Kaufmann and Gupta, 1988)..

olarak ifade edilmiştir., Burada, a değeri tanımlanmak istenen parametrenin alt sınırı, b değeri üst sınırı x değeri ise verilerin ortalamasıdır.

Bulanık küme mantığının daha açık ortaya konulabilmesi için Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen sınıflamaya göre,, Çizelge 1 'de örnek olarak verilen bazı kayaların dayanım sınıflaması, hem katı küme hem de bulanık küme mantığıyla değerlendirilmiştir (Şekil 2),. Burada her sınıfı temsil eden üyelik fonksiyonu dereceleri (fi) 0 ile 1 arasında değişmekte ve katı küme sınıflarının tam orta değerlerinin üyelik dereceleri 1'e eşit olmaktadır.

Klasik katı küme mantığı kullanılarak tek eksenli sıkışma dayanımı sınıflaması yapıldığında, 1 sıra nolu laminalı mam kayacı E (çok: zayıf), 2, 4 ve 5 sıra nolu marn (A), çamurtaşı ve kurntaşı örneklerinin D (zayıf) sınıfında 3 sıra nolu marn (BJ'nin ise C (orta derecede dayanımlı) sınıfında yer aldığı görülür (bkz.. Şekil 2). Buna karşın, aynı kayalar, aynı sınıflamada bulanık kümelerle ifade edildiğinde, 1 sıra nolu laminalı marn kayacının "E" sınıfındaki üyelik fonksiyonu değeri (fi) 1'dir. Diğer bir deyişle, bu kayacın "E" sınıfının bütün özelliklerine sahiptir. Buna karşın 2 sıra nolu marn (A) kayacı 0.84 üyelik fonksiyonu ile D sınıfının, 0.16 üyelik fonksiyonu değeri ile de C sınıfının özelliklerini göstermektedir. Benzer biçimde diğer örnekler de sınıflandırılmış ve sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Bu örneklerden de anlaşılacağı üzere,, bir nesnenin herhangi bir özelliğinin katı küme temelli, sınıflarla ifade edilmesi yerine, bulanık küme man-

tığıyla ifade edilmesi, bilgi temelli uzmanlık sistemi yaklaşımları ile bilgisayar ortamında gerçekleştirilecek karar verme işlemleri için önemli avantajlar sağlayacaktır..

Kama Türü Şev Analizi için Bulanıklaştırılmış Duraylılık İndeksi

Klasik anlamda bir kamanın limit denge analizi için aşağıdaki eşitlik (Hoek ve Bray, 1981) kullanılmaktadır:

$$F = 2fi \cdot X + \hat{Y} + fA - I^{\wedge} \text{xtanf} + fB - \hat{Y} \text{tan}^*, (3)$$

Burada:

F: güvenlik katsayısı

CAÇB: kayma yüzeylerinin kohezyon değerleri

y: birim, hacim ağırlık

H: kamanın yüksekliği

y_w: suyun birim hacim ağırlığı

\hat{A}, B : kayma yüzeylerinin içsel sürtünme açısı değerleri.;

X, Y, A ve B: kamanın geometrisine bağlı boyutsuz katsayılar olup.

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cos \theta_{21M}} (4)$$

$$Y = \frac{S_{IJ} \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cos \theta_{1n6}} (5)$$

$$\hat{A} = \frac{\cos y_a - \cos y_b \cos \theta_{nanb}}{\sin i / \sin^2 e_{najb}} (6)$$

$$B = \frac{\cos^{\wedge} - \cos y_B \cos \theta_{M \cdot t}}{\sin^{\wedge} \cdot \sin^2 \theta_{nan6}} (7)$$

ilişkileriyle ifade edilirler. Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan parametrelerin ayrıntıları ise Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 4: c, ϕ ve y parametrelerine ilişkin istatistiksel değerlendirme sonuçları

Table 4: Statistical evaluation results of the c, ϕ and y parameters

İstatistiksel Parametre	Kohezyon, c (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı, ϕ	Birim Hacim, Ağırlık, y(kN/m ³)
Veri Sayısı	15	15	15
Ortalama	4.81	29.24	23.63
Standart: Sapma	2.29	2.44	0.85
Standart Hata	0.59	0.63	0.22
En Küçük	2.66	25.2	22.1
En Büyük	10.53	33.5	24.5
Değişim Aralığı	7.87	8.3	2.4
Varyasyon Katsayısı	47.67	8.35	3.6

Sakurai ve Shimizu (1987) tarafından düzlemsel kayma modeli için önerilen yöntem, kama türü şev duraysızlığına uygulanmış ve aynı araştırmacılar tarafından aşağıdaki eşitlikte gösterilen dura.yhl.ik indeksi kullanılmıştır.

$$SI = (f_2 - 1) / (f_2 - f_1) \quad (8)$$

Burada:

f_1 ve f_2 : deterministik limit-denge analizlerinden elde edilen en küçük ve ortalama, güvenlik, kat-sayılarıdır¹,

Gerçekte bulanık mantıkta, güvenlik katsayısı (F), her bir aşamada, gerçekleştirilen limit-denge analiz-leri sonucunda elde edilen üyelik derecelerinin bir fonksiyonudur.

$$F = \%_{f_h} \left(\ln, |x_0 \right) \quad (9)$$

Limit-denge analizlerinden elde edilen, üyelik fonksiyonu dereceleri ((in, JJ,R, jio) kama için önerilen genel denklemden (Eşitlik 3) elde edilmiştir., Bu çalışmalar sırasında, üyelik fonksiyonu, türü. olarak üçgen seçilmiştir (Şekil 4). Çünkü, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonu, türü belirlenirken alt ve üst sınırı bilinen bir aralık mevcut olduğunda genelde üçgen türü üyelik, fonksiyonları tercih edilmektedir (Kaufmann ve Gupta,, 1988),. Bu çalışmada tercih edilen üçgen üyelik fonksiyonu, Juang; vd. (1998) tarafından da bir şev duraylılığı çalışması için **kullanılmıştır**. Ayrıca, bulanık mantık uygulamaları için. çeşitli, araştırmacılar' tarafından geliştirilen bazı üyelik fonksiyonu türleri. Şekil 5'te grafikleriyle birlikte sunulmuştur.

Bulanık Mantığın Şev Analizine Uygulanması

Ankara kent merkezi Altındağ ilçesinde andezitler içerisinde gelişmiş (Şekil 6) kama türü bir duraysızlık, bu çalışmanın uygulamasını oluşturmaktadır. Sözü edilen bu duraysızlık su içermemektedir. Bu durumda Eşitlik. (3) aşağıdaki şekle dönüşmektedir:

$$F = \frac{3c}{yH} + \frac{3c_b}{yH} Y - i - A \tan \alpha + B \tan \beta \quad (10)$$

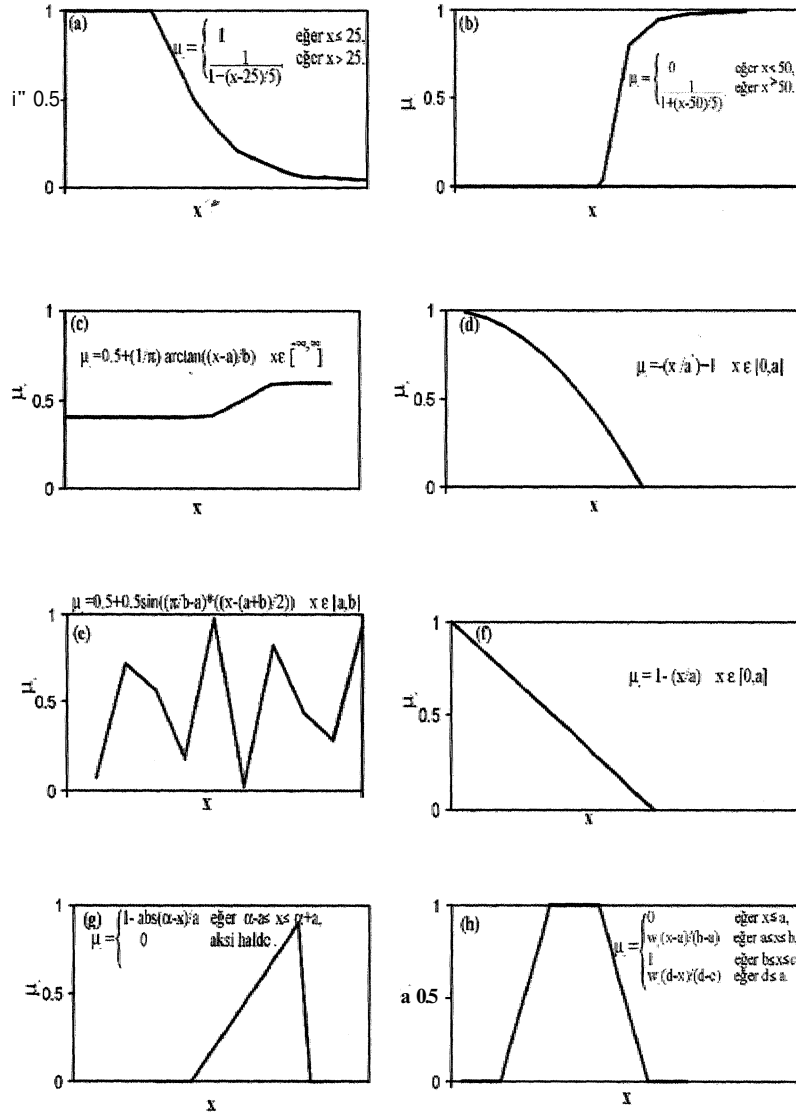
Su koşulunun bulunmamasına ek olarak kamayı oluşturan yüzeyler, makaslama dayanım parametreleri açısından aynı özelliktedir. Bu nedenle c ve ϕ parametrelerinde bulunan A. ve B indisleri de sadeleştirilmiş ve her iki yüzey için de aynı süreksizlik parametreleri kullanılmıştır. Bu durumda güvenlik katsayısı eşitliği sadeleştirilip, yeniden yazıldığında.

$$F = \frac{3c}{yH} (X + y) + (4 + S) \tan \theta \quad (11)$$

Çizelge 3: Şev duraylılığı analizinde kullanılan kamaya ilişkin geometrik parametreler (Ercanoğlu, 1997'den).

Table 3: The geometric parameters of the wedge used in the slope stability analysis (after Ercanoğlu, 1997).

X	3.09
Y	1.41
A	1.14
B	0.29
H	6.58



Şekil 5: Bazı araştırmacılar tarafından bulanık mantık uygulamaları için önerilen üyelik fonksiyonları: (a) Zadeh (1965); (b) Zadeh (1971); (c) Krasinska ve Liebhart (1986); (d) Dimitru ve Lubaa (1986); (e) Svarovski (1987); (f) Zimmerman (1978); (g) Heshmaty ve Kandel (1985); (h) Bortolan ve Degani (1985)..

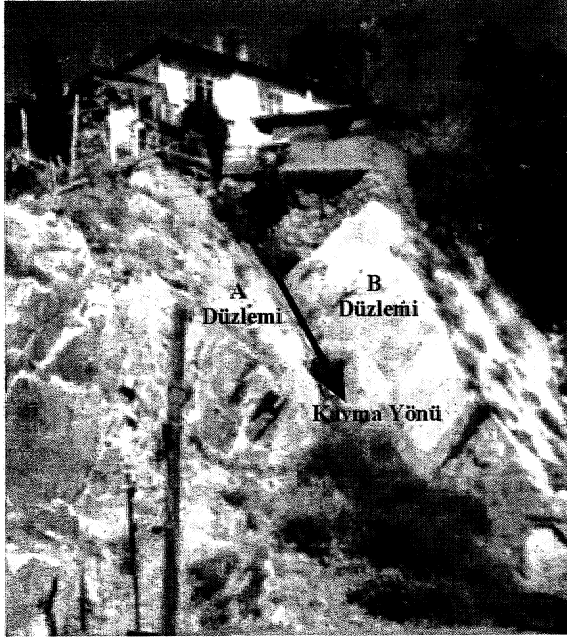
Figure 5: Membership functions proposed by some investigators for fuzzy logic applications: (a) Zadeh (1965); (b) Zadeh (1971); (c) Krasinska and Liebhart (1986); (d) Dimitru. and Luban (1986); (e) Svarovski (1987); (f) Zimmerman (1978); (g) Heshmaty and Kandel (1985); (h) Bortolan and Degani (1985),

eşitliği elde edilir. Buradaki X, Y, A, B ve H doğru-
dan ölçülebilen, kamanın geometrisine ilişkin para-
metrelerdir. Bunların ayrıntıları Şekil 7de, sonuçları
ise Çizelge 3'te sunulmuştur.,

Çizelge 3'te sunulan şevin geometrisine ilişkin
parametreler sadeleştirilen denkleme yerleştirilerek,

aşağıda verilen, ve süreksizlik, yüzeylerinin makasla-
ma parametreleri, ile malzemenin yoğunluğuna bağlı,
eşitlik elde edilmiştir,

$$F = .2,05 c/y + 1,43 \tan \langle j \rangle \quad (12)$$



Şekil 6: Andezitler içerisinde gelişmiş kama yenilmesi»

Figure 6: Wedge failure occurred in andésites.

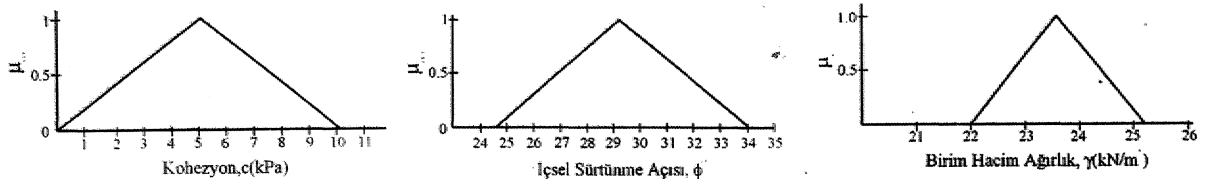
Yukarıdaki eşitlikte de görüldüğü gibi, değişken parametreler kohezyon, içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlık olarak alınmıştır. Buna göre güvenlik katsayısına ait bir üçgen üyelik fonksiyonu elde edebilmek için gerekli olan f_i , f_t ve f_j değerleri aşağıdaki ilişkilerden hesaplanmıştır.

$$\hat{f}_i = MS C_1 / \gamma + 1.43 \tan \phi_i \quad (\text{en tutucu koşul}) \quad (13)$$

$$\hat{f}_t = X_i C_2 \% + 1.43 \tan \phi_e \quad (\text{ortalama}) \quad (14)$$

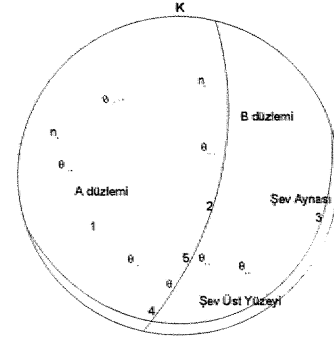
$$\hat{f}_j = 2, M C_3 M + 1.43 \tan \phi_3. \quad (\text{en riskli koşul}) \quad (15)$$

c , ϕ ve γ parametrelerinin üyelik fonksiyonlarının belirlenebilmesi için sözü edilen, her bir para-



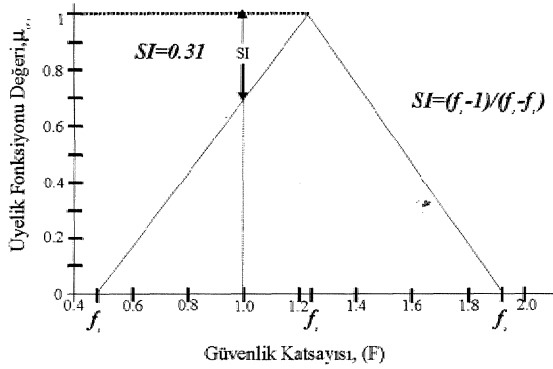
Şekil 8: Kohezyon» içsel sürtünme açısı ve birini hacim ağırlık parametreleri için üyelik fonksiyonları.

Figure 8: Membership functions for cohesion, internal friction angle and unit weight parameters,



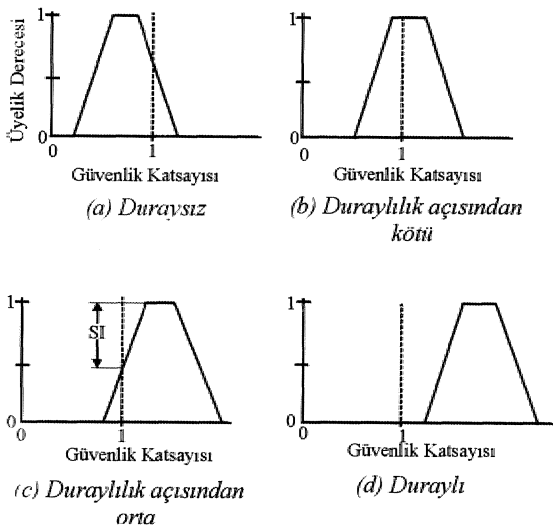
Şekil 7: Kama yenilmesinin analizinde kullanılan düzlemlerin stereografik ağ üzerindeki görünüşleri.
Figure 7: View of the planes used for wedge failure analysis on stereographic net.

metrenin alt ve üst sınırları ile ortalama değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Bu sonuçlar yardımıyla her üç parametre için üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Buna göre c , ϕ ve γ parametreleri doğrudan aritmetik ortalamalardır, c , C_3 , ϕ ve γ ise bu parametrelerin alt ve üst sınırlarının oluşturmaktadır. Bu sınırlar ilgili parametrelerin ortalama değerlerine iki standart sapma kadar eklenerek ve çıkarılarak (± 2 SD) elde edilmiştir (Şekil 8). Bu işlem yapılırken istatistikteki 68-95-99.7 kuralı (Moore, 1997) dikkate alınmıştır. Çünkü ortalamadan iki standart sapma kadar artış ya da azalış % 95'lik bir güven aralığında çalışmaya işaret etmektedir. Gerçekten, analizlerin girdi ve çıktı değerleri bulanık kümeler olup, Nguyen (1985), Sakurai ve Shimizu (1987) ve Juang vd. (1998) tarafından ve bu çalışmada da uygulanan yöntemler ise deterministiktir. Elde edilen üyelik fonksiyonu değerleri (\hat{f}_i , \hat{f}_t , \hat{f}_j) kullanılarak f_i , f_t ve γ değerleri saptanmış ve güvenlik katsayısı için üyelik fonksiyonu çizilmiştir (Şekil 9). Ayrıca Sakurai ve Shimizu (1987) tarafından önerilen duraylılık indeksi parametresi de 0.31 olarak elde edilmiştir (Bknz. Şekil 9). Bu sonuca göre şevin



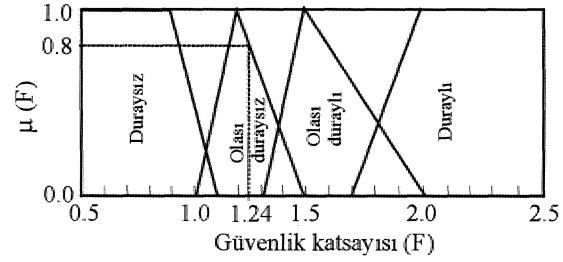
Şekil 9: Güvenlik katsayısı için üyelik fonksiyonu.
Figure 9; Membership function for factor of safety:

duraylılık indeksi Sakurai ve Shimizu (1987) sınıflamasına göre (Şekil 10) duraylılığının "orta" olduğu anlaşılmıştır. Ortalama değerlere göre analiz yapıldığında da güvenlik katsayısı (f_z) 1.24 olarak saptanmıştır. Şevin kaymış olması nedeniyle,, ortalama değerlerin mevcut durumu tam olarak yansıtmadığı anlaşılmaktadır. $\hat{m}=1$ için elde edilen **1.24** güvenlik katsayısı değeri, Kao (1995; Juang vd.1998'den) tarafından şev duraylılığı konusunda uzman 15 kişinin görüşü alınarak Tayvan'da geliştirilen sınıflamaya (Şekil 11) göre de, "olası duraysızlık koşulu" mevcut şeklinde değerlendirilmiştir. Bu sınıftaki üyelik derecesi, μ_0 ise yaklaşık 0.8'dir.



Şekil 10: Sakurai ve Shimizu (1997) tarafından önerilen şev duraylılığı sınıfları.

Figure 10: Class of slope stability proposed by Sakurai and Shimizu (1997).



Şekil 11: Güvenlik katsayısı sınıflaması (Juang vd., 1998'den).

Figure 11: Classification of factor of safety (after Juang et al, 1998),.

Sonuç ve Öneriler

Kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin karmaşık yapısı zaman zaman deterministik analizlerde kullanılan parametrelerde belirsizliklere neden olabilmektedir. Bu soruların aşılabilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi olan olasılık yaklaşımı,, yoğunluk fonksiyonlarına karar verilmesi sırasındaki güçlüklerin yanısıra, simülasyon teknikleri veya normalleştirme gibi ara aşamaları gerektirmesi nedeniyle pratik mühendislik çalışmaları için her zaman çok uygun olamamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında mühendislik açısından uygulanabilir ve özellikle mühendislik jeolojisi çalışmaları sırasında ortaya çıkabilen birtakım belirsizliklerin daha iyi ifade edilmesinde kolaylık sağlayabilecek bir yöntem olan bulanık mantık incelenmiş ve bir şev duraysızlığına uygulanarak irdelenmiştir. Üzerinde çalışılan kama duraysızlığı, ortalama makaslama parametreleri ve birim hacim, ağırlık değerleri ile **1.24** güvenlik katsayısına sahiptir. Bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan değerlendirmede ise duraylılık indeksi "orta" düzeyinde elde edilmiştir.. Diğer bir deyişle» $f_1 < 1.0 < E$ koşulu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, duraylılık indeksinin 0.31 gibi çok düşük bir değere sahip olması duraysızlığa eğilimli bir sonuca işaret etmektedir. Eğer $f_1 < 1.0$ olsaydı» bulanık mantık yaklaşımından elde edilen sonuç ile güncel durum tam olarak uyuşacakü. Ancak, sonucun tam uyuşmamasının nedeni olarak parametre tayininden kaynaklanan belirsizlikler şeklinde değerlendirilebilir. Bu sonuç gerçekte mühendislik jeolojisinde karşılaşılabilecek birçok belirsizliğin bulunduğunu

ve: karar verme süreçlerinde deterministik çözümlerinin yanısıra bulanık mantık gibi araçların kullanılmasının ne denli önemli olduğunun da bir göstergesi, olarak değerlendirilebilir. Özellikle bulanık mantık yaklaşımı, mühendislik jeolojisi ve heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması sırasında, sayısal olarak ifade edilemeyen, tanımlamaya dayalı bazı verilerin değerlendirilmesinde de yararlanılacak bir araç olarak dikkate alınmalıdır. Diğer bir deyişle, bulanık mantık veya olasılık yaklaşımı gibi yöntemlerin deterministik analiz, yöntemlerinin yerine: kullanılması değil, zaman zaman birbirlerini tamamlayıcı yöntemler olarak algılanmasını gerekir.

Katkı Belirtme

Yazarlar makaleyi titizlikle değerlendiren ve oldukça yararlı eleştirilerde bulunan incelemecilerden Prof. Dr. Lawrence, Brown ile Editör Doç. Dr. Mehmet Ekmekçi'ye teşekkür ederler.

Değınilen Belgeler

- Baecher, G.B., ve Einstein, H.H., 1978, Slope stability models in pit optimisation. International Proceedings 16 Apcom Symposium., Tucson., AKILSA., 501-512.
- Bortolan, G. Ve Degani, R., 1985. A review of some methods, for ranking, fuzzy subsets,. Fuzzy Sets and Systems, 15,1-20.
- Cagnoli, B., 1998, Fuzzy logic in volcanology. Episodes, 21 (2), 94-96.
- Caiosso, G., DelGreco, O., ve Giani, G.P., 1987. Some probabilistic approaches to stability analysis of open pit explorations. In Proceedings of International Symposium on Engineering Geology, Beijing, China, 881-891.
- Chowdhury, R.N., 1986. Geomechanics risk model for multiple failures along rock discontinuities., International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics Abstracts, 23 (5) 337-346.

- Chowdhury, R.N. ve Xu, D.W., 1995. Geotechnical system, reliability of slopes.. Reliability Engineering and System. Safety,, 4/, i41-151.
- Deere, D.U. ve Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock.. U.S. Air Force Laboratory, Technical Report No.AFNL-TR-65-116, Albuquerque, N.M.
- Dimitru V. ve Luban, F., 1986. ön some optimisation problems under uncertainty. Fuzzy Sets and Systems, 18, 257-272.,
- Di Mola, A., Sessa, S., Pedrycz, W., ve Sanchez, E., 1989., Fuzzy Relation Equations and Their Applications Knowledge Engineering. Klüver Academic Publishers, London, 278s.
- Dombi, J.,1990. Membership function as an evaluation. Fuzzy Sets and Systems., 35, 1-21.
- Ercanoğlu, M., 1997. Altındağ (Ankara) yerleşim bölgesindeki andezitlerde olası şev duraysızlık modellerinin incelenmesi ve duraysızlık haritasının oluşturulması. Yük. Müh. Tezi, Hacettepe Üniversitesi,, Ankara, 83 s, (yayınlanmamış).
- Gopal, S.,ve Woodcock, C, 1994., Theory and methods for accuracy assessment of thematic maps using fuzzy sets. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 60 (2), 181-188,
- Gökçeoğlu, C, 1997., Killi, yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 214s.(yayınlanmamış).
- Gökçeoğlu, C, Sönmez, H. ve Ercanoğlu, M., 2000. Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altındağ (settlement) region in Turkey.. Engineering Geology, 55, 277-296. ^
- Grima, NLA. ve Babuska, R., 1999. Fuzzy model for the prediction of unconfined compressive strength of rock samples.. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science,, 36, 339-349.

- Grima, M.A. ve Verhoef, N.W., 1997, Forecasting of rock trencher performance using a fuzzy logic approach. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 34 (3-4), 707.
- Hammah, R.E ve Curran, J.H., 1996, Optimal delineation of joint sets using: a fuzzy clustering algorithm., *International Journal of Rock Mechanics, and Mining Science*, 35 (4-5), 495-496.
- Heshmaty, B. ve Kandel, A., 1985. Fuzzy linear regression and its application to forecasting in uncertain environment *Fuzzy Sets and Systems*, 15, 159-182.
- Hoek, E, ve Bray, X, 1981. *Rock Slope Engineering*, Inst. Min. Metal., London, 353s.
- Hoerger, S.F., ve Young, D.S., 1987. Predicting local rock mass behavior using geostatistics., In *Proceedings of 28th Symposium in Rock Mechanics*, Rotterdam, Balkema, 99-106.
- Ioannidis, C. a, Lee, D.H. ve Sheu, C, 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets., *Journal of Geotechnical Engineering*,. 118 (3), 475-494.
- Juang, C.H., Jhi, Y.Y. ve Lee, D.H., 1998, Stability analysis of existing slopes considering uncertainty. *Engineering Geology*, 49,. 111-122,'
- Kalamaras, G.S., 1997., A computer based system for supporting decisions for tunneling in rock under conditions of uncertainty. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 34 (3-4), 588,,
- Kaufmann-» A, ve Gupta, MM., 1988. *Fuzzy Mathematical Models In Engineering and Management Science*, North-Holland Book Co',,, Amsterdam, 338s.
- Krasinska, E. ve Liebhart, A., 1986. A note on the precision of linguistic variables for differentiating between some respiratory diseases. *Fuzzy Sets and Systems*, 18, 131-142.
- Lee, C.F., Wang, S. ve Huang, Z., 1999. Evaluation of susceptibility of laminated rock to bending-toppling deformation and its application to slope stability study ' for the Longtan Hydropower Project on the Red. Water River, Guangxi, China. *Proceedings of 9th International Congress on Rock Mechanics*, Paris, Eds., G. Vouille ve P. Berest, A j\..Balkema, 119-122.
- Leventhal, A.R., Barker, C.S. ve Ambrosio, L.P., 1992, Malankhve copper project-overview of the geotechnical investigation for optimum mining exploration., *Regional Symposium on Rock Slopes, India*, 69-78.
- Marek, J.M. ve Savely, J.P., 1978., Probabilistic analysis of plane shear failure mode.. *International Proceedings of 19 th US Symposium, on Rock Mechanics*, 40-44,
- Matternicht, G., 1999., Change detection assessment using fuzzy sets and remotely sensed data: an application of topographic map revision., *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 54,221-233.
- Miller, S.M., 1983. A statistical method to evaluate homogeneity of structural populations. *Mathematical Geology*, 15(2), 317-328.
- Moore, D.S., 1997., *Statistics, Concepts and Controversies.*, W.H. Freeman and Co., New York, 526s.
- Nguyen, V.U., 1985. Some fuzzy set applications in mining geomechanics. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanic Abstracts*, 22 (6), 369-379.
- Sakurai, S. ve Shimizu, N., 1987. Assessment of rock slope stability by fuzzy set theory. *ISRM Symposium on Rock Mechanics*, A.A. Balkema, 503-506.,
- Svarovski S.G., 1987.. Usage of linguistic variable concept for human operator modelling., *Fuzzy Sets and Systems*, 22,107-114.
- Wang, F., 1990. Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.. 56 (8), 1163-1169.
- Yao, J. ve Farata, H., 1986., Probabilistic treatment of fuzzy events in civil engineering. *Journal of*

Probabilistic Engineering Mechanics, 1(1), 58-64.,

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets., Information and Control,, 8, 338-353.

Zadeh, L.A., 1971. Quantitative fuzzy semantics. Information of Science, 3, 159-176.,

Zadeh,, L.A., 1984. Making; computers think like people, IEEE Spectrum, 8, 26-32.

Zçttkr, A.H., Poisel, R., Lakovits, B, ve Kastner, W., 1996. Control system, for tunnel boring machines (IBM): A first investigation towards a hybrid control system, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science,, 35 (4-5), 674...

Zimmerman,, HJ., .1978., Fuzzy programming and linear¹ programming with several objective functions., Fuzzy Sets and Systems, 1,44-55.

