

**BULANIK MANTIK YAKLAŞIMININ KAYA KÜTLESİ  
SINIFLANDIRMALARINDA KULLANILMASI**

Fuzzy Logic Usage in Rock Mass Classifications

M. Kemal Gökay<sup>(\*)</sup>

Anahtar Sözcükler: Kaya Kütle Sınıflaması, Bulanık Mantık, Uzman Sistemler.

**ÖZET**

Madencilik uygulamalarında karşılaşılan belirli problemlerden birisi de verilecek kararın dayandığı verilerin bulanık olmasıdır. Bu aşamada maden ocaklarında önceki yıllarda edinilen tecrübelerin kullanılması bu belirsizlikleri belirli bir miktar azaltacak ve üretimi olumlu yönde etkileyecektir. Bu çalışmada kaya kütle sınıflandırma sistemlerinde kullanılan göreceli değerlendirmelere bulanık mantık yaklaşımı uygulanmıştır. Sınıflandırma sistemlerinde, sistemi öneren araştırmacının değerlendirmeleri mantıksal karşılaştırmalara çevrilmiş ve geliştirilen yaklaşım sisteminin bilgisayar uygulamasının yapılıp yapılamayacağı araştırılmıştır.

**ABSTRACT**

One of the problem in mining engineering is giving a decision on the base of uncertain data. Experience gained in previous mining operations eliminate certain amount of uncertainty and affect the mine production in positive manner. In this study, fuzzy decision ratings were applied to the rock mass classification systems weightings. Decision logic given with these classification steps have been transferred to the fuzzy decision steps. The procedure developed was then implemented to a software program which has been planned to operate in computers automatically.

<sup>(\*)</sup> Doç.Dr., Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

## 1. GİRİŞ

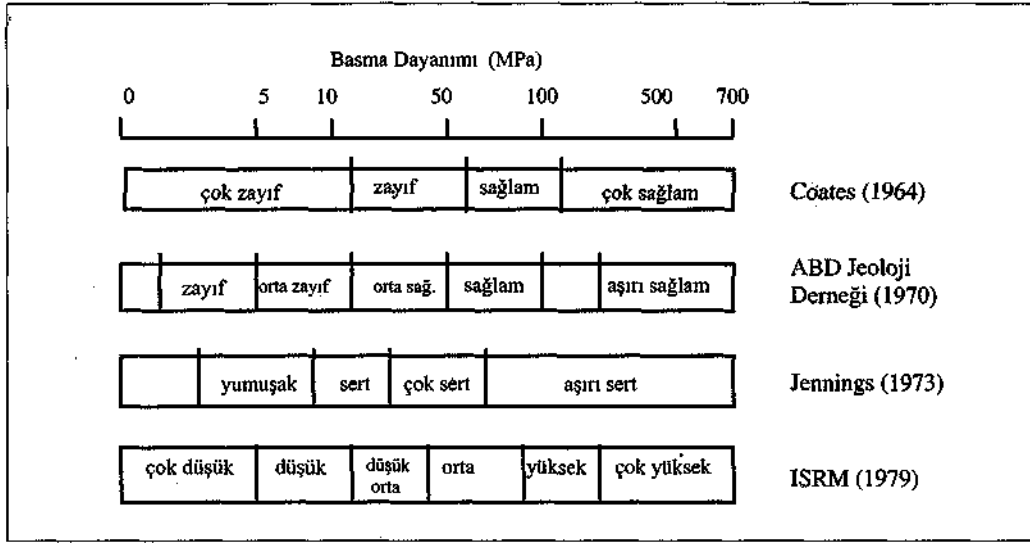
Maden mühendisliği tasarımlarında karşılaşılan problemlerin temelinde, madenin açılacağı cevher ve yankayaçların özelliklerine göre ayarlamaların yapılması gerektiği yatmaktadır. Galeri ve kazı yerlerinin belirli bir süre göçmemesi amaçlanmış ve emniyetli bir çalışma hedeflenmişse galeri etrafında oluşan gerilmelerin bulunması gerekecektir. Açık ocaklarda şevlerin duraylılığı, aynı şekilde belirli kurallar dahilinde incelenebilecektir. Bütün bu incelemelerin temelinde kayaçların mekanik özelliklerinin bilinmesi yatmaktadır. Maden işletme kararlarını direkt etkileyecek kaya kütlesi yenilme durumlarıyla karşılaşmamak için, cevher ve yankayaç mekanik özellikleri incelenerek istenen tasarıma göre verilerin hazırlanması gerekmektedir. Deneye dayalı çalışmalarda daha az olmakla birlikte kuramsal çalışmaların tamamında varsayımlardan kaynaklanan belirli bir mühendislik hatasının olduğu kabulünden yola çıkıldığında en hassas ölçümlerde bile belirsizliklerin bulunduğu yorumu yapılabilir. Belirsizliklerin çoğunluğu anında karara bağlanarak bir değer olarak verilirken, bu ölçümleri alan teknisyen veya mühendisler kendi tecrübelerini ölçüm cihazının gösterdiği ile birleştirmektedir. Kaya kütlesi gibi bütün özellikleri belirli olmayan veya ölçülen değerleri etkileyen faktörlerin çok olduğu araştırma ortamlarında, istatistiksel örnek-kitle ilişkileri daha ayrıntılı düşünülmelidir. Çünkü değişkenlerin çokluğu ve belirsizliği, bulunan sonuçları tamamıyla göreceli ve yorumlamaya açık bırakmaktadır. Bu ve benzeri durumları en aza indirmek amacıyla, tecrübelerden yararlanılmasına başlanmış, kaya kütlesinin belirli amaçlar doğrultusunda sınıflandırılmasının sağladığı yararlar görülmüştür. Değişik şartlarda yetişen mühendislerin sınıflandırma sistemleri sayesinde kayaç niteliğiyle ilgili aynı

anlamları benzer şekilde kullanmaya başlamalarıyla, tanımlama ve grup isimlerinde karşılaşılan anlam karmaşıklığının büyük ölçüde çözümlendiği görülmektedir. Bu çalışmada bu işlemlere ilave olarak bulanık mantık çalışmalarından yararlanılarak, sınıflandırma sistemlerinde verilen bulanık ve belirsiz ifadeler matematiksel yollarla açıklanmaya çalışılmıştır.

## 2. KAYA KÜTLESİ SINIFLANDIRMA PARAMETRELERİ

Kaya kütlelerinin mühendislik çalışmalarına yardımcı olacak şekilde sınıflandırılmaları ilk önce özel laboratuvarlar arasındaki yazışmalarda kullanılmaya başlamıştır. 1970'li yıllarda mühendislik çalışmalarına giren sınıflandırmalar, daha fazla mühendisin kullanabilmesi için standart hale getirilmiştir. Jeomekanik sınıflama sistemi, (Bieniawski, 1973) ve Q sisteminin (Barton vd., 1974) geliştirilmesi sınıflandırma çalışmalarına ek bir hız vermiştir. Kayaç sınıflandırmaları ilk olarak kaya maddesinin, laboratuvar deneyleri yardımıyla sınıflandırılması işlemleriyle başlamıştır. İlk kullanılan yöntemlerde, kayaç yapısındaki değişikliklere göre kayaçlar isimlendirilirken daha sonraları tek eksenli basma dayanıma göre sınıflandırmalar kullanılmaya başlanmıştır.

Farklı araştırmacıların değişik zamanlarda verdikleri sınıflandırmalarda kaya maddesinin değişik dayanım aralıklarının farklı yorumlarla değerlendirildiği açıkça görülmektedir (Şekil 1). Buradan da anlaşılacağı gibi farklı araştırmacılar tarafından "zayıf kaya" veya "yumuşak kaya" olarak isimlendirilen kaya maddesi grup sınırlarının aynı olmadığı fakat aralarında benzerlik olduğu açıktır. Benzer şekilde, kaya kütlesi sınıflandırma sonuçlarından elde edilen tanım yorumlarında da aynı güçlük yaşanmaktadır.



Şekil 1. Klasik gruplama anlayışına göre kaya maddesi sınıflandırmaları, (Bieniawski, 1984)

Kayaç sınıflandırma sistemlerinden önemli olanları sıralanırsa;

- i) Tek eksenli basma dayanımına bağlı sınıflandırmalar,
- ii) Kaya yükü sınıflama sistemi, (Terzaghi, 1946),
- iii) Tahkimatsız durma zamanı, (Lauffer, 1958),
- iv) Kaya kalitesi belirteci (indeksi), RQD, (Deere ve Miller, 1966),
- v) Kaya yapısı değeri (indeksi), RSR, (Wickham vd., 1972),
- vi) Jeomekanik sınıflama sistemi, RMR, (Bieniawski, 1973),
- vii) Q sistemi, (Barton vd., 1974),
- viii) Jeoteknik sınıflama sistemi, (ISRM, 1981),
- ix) Fiev değerlendirme indeksi, SMR, (Romana, 1985),

Kaya kütlesi ve maddesi sınıflandırma sistemlerinde kullanılan sınıflandırma karar parametrelerinin incelenmesi sonucu bazı parametrelerin sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Bu parametrelerin neler olduğu ve hangisinin sınıflandırma sistemlerinde kaç defa kullanıldığı Gökay (1994) tarafından incelenmiştir. Bu parametrelerin en çok kullanılanlardan göreceli olarak daha az

kullanılanlara doğru sıralanışı şu şekildedir;

Tek eksenli basınç dayanımı, eklemler arası mesafe, eklem tipi ve cinsi, RQD değeri, kaya kütlesi jeolojik yapısı, eklem devamlılığı, eklem pürüzlülüğü, eklem dolgu cinsi, eklem açıklığı, eklem duvarı bozuşma derecesi, eklem dolgusu bozuşma derecesi, kaya kütlesi su içeriği, eklem dolgu kalınlığı, kaya kütlesi bozuşma derecesi, eklem uzanım yönü, eklem düzensizliği, kaya kütlesi gerilme durumu, eklem takım sayısı, eklem yüzeyi dalgalanması, kazı türü.

Kullanılan bu parametrelerle ilgili değerlendirmeler sınıflandırma sistemlerine göre değişmekle birlikte, genellikle belirli sınırlar arasındaki değerlere belirli sınıflama katsayıları verilerek yapılmıştır. Sınıflandırma sistemlerinin mantığı gereği tanımlamalarda tecrübeye öncelik verilmiştir. Örneğin kaya kütlesinin süreksizlik içermesi durumunda süreksizliklerin durumunu açıklamak için, pürüzlü, kaygan, dalgalı', dolgulu, pürüzlü-dalgalı gibi anlam olarak açık olmayan tanımlamalar yapılmıştır. ISRM bu konudaki tanımlamalara yardımcı olmak amacıyla açıklayıcı şekiller içeren bir bülten yayımlamış böylece tanımlamalar

standartlaştırılmaya çalışılmıştır, (Brown, 1981). Bununla birlikte yukarıda verilen sınıflandırma karar parametrelerinden bazıları sözel tanımlamalardan çok sayısal değerler arasında gruplamalar yaparak oluşturulmuştur. Şekil 1'de verildiği gibi araştırmacılar tek eksenli basınç dayanımını belirli gruplara ayırmışlar, bunlara değişik sınıflandırma isimleri vermişlerdir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi grup sınır geçişlerindeki ani sınıf değişikliği konusunda detaylı bir açıklama yapmayarak bu konunun yorumlanmasını tecrübeli mühendislere bırakmışlardır.

### 3. BULANIK MANTIĞIN KAYA SINIFLANDIRMALARINA UYARLANMASI

Bulanık mantık yaklaşımı Zadeh'in (1963) çalışmalarıyla başlamış ve daha sonraki yıllarda Zadeh'in ve diğer araştırmacıların çalışmalarıyla gelişmiştir. İnsan mantığı (veya bu çalışmadaki özel şartlarda, mühendisler) bazı sözel ifadelerin "gerçek" anlamda neyi anlattığını kavrayabilecek özelliindedir. Çoğu zaman tecrübeli ve daha az tecrübeye sahip mühendisler arasında farklı kararlara yol açan sözel ifadelerin büyük bir çoğunluğunu bulanık sözcükler oluşturmaktadır. Sınıflandırma sistemleri göz önüne alındığında benzeri farklılıklar hemen ortaya çıkacaktır. En çok kullanılan sınıflandırma sistemlerinden olan Q sisteminde, kaya kütlesi eklem ayrışma durumu tariflerinin incelenmesiyle aşağıdaki (altları çizilmiş) bulanık sözcükler belirlenmiştir. Bu sözcüklerin açıklamaları yapılarak daha kullanışlı hale getirilmesi, bunlarla aktarılmaya çalışılan bilgidaki bulanıklığı azaltacaktır.

Ayrışmamış eklem yüzeyleri olan sadece yüzey boyamasına sahip eklemeler. Az ayrışmış eklem yüzeyleri, yumuşamayan yüzey mineralleri, kil içermeyen ufalanmış kayaçlar.

Benzeri bulanık tanımlamalara, diğer sınıflandırma sistemlerinde de rastlanmaktadır. Bu bulanık deyimlerin çoğu sınıflandırma karar parametrelerinin kullanılmasında ön plana çıkmaktadır. Sınıflandırma sistemlerinde rastlanılan bu bulanık deyimlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır;

Kaya kütleleri için (sert, sağlam, tabakalı, masif, orta dereceli eklemli, çok bloklu, çok aşırı konsolide, ufalanmış, parçalanmış, kendi kendini tutabilen, tamamen kırılmış, kimyasal olarak sağlam, ezilmiş, şişen),

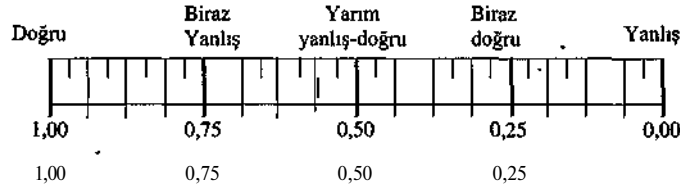
Eklem yüzeyleri için (pürüzlü, sağlam, yumuşak, kuru, nemli, ıslak, dalgalı, düzlemsel, cilalı),

Eklem dolgu malzemesi için (yumuşak, sağlam, tamamen kırılmış, kimyasal olarak sağlam, şişen, kil bantları içerikli).

Burada verilen bu sözel ifadelerin, belirli kararlar için kullanıldığı düşünülürse, bunlarla anlatılmak istenenin anlaşılması çok önemli olacaktır. Mühendislik uygulamalarında ve karar aşamalarında bulanık değişkenlerin, mühendisler arasında hatasız olarak kullanılması, bu deyimler aracılığı ile daha az zamanda daha fazla bilginin, aktarılmasını sağlayacaktır. Bu aşamada öncelikle bulanık olarak ifade edilen kavramların belirlenmesi gerekmektedir. Bu kavramların ve türlerinin belirlenmesi, onların sıfat veya pekiştirici sözcük olup olmadıklarının araştırılmasıyla başlayacaktır. Daha önceki çalışmalarda da örneklendiği gibi (Gökay, 1993) bu sıfatların bazıları kısaca şöyledir.

Bulanık sıfatlar : (küçük, büyük, orta, zayıf, zengin, az, yüksek, güneşli, genç, yaşlı, yumuşak, sert, sağlam, kabarık, pürüzlü, dalgalı, yapışık, ıslak, kuru, kaygan, vb.),

Pekiştirici sıfatlar : (çok, daha, hemen hemen, fazla, biraz, az, azıcık vb.)



Şekil 2. Doğru-yanlış bulanık kavram katsayı değerlendirilmesi.

Matematikte klasik küme anlayışı ile bulanık kümeler arasındaki farklılıklar birçok çalışmada ayrıntılı olarak verilmiştir (Zadeh, 1963; Bellman ve Zadeh, 1970; vb.). Bir küme elemanının bulanık kümeye ait olup olmadığının sınırı 0,0-1,0 arasındaki katsayılarla ifade edilmiş, bulanık kavramların insan mantığı içinde sınıflandırmaya alınması sağlanmıştır. Böylece bilgisayar temel yapısı gereği olarak kullanılan ikil (binary) mantıkta bir kavramın veya olayın olup olmadığı; doğru mu-yanlış mı; var mı-yok mu; açık mı-kapalı mı olduğu sorulurken, artık verilen karar değişik bir ölçekte de değerlendirilir olmuştur. Klasik mantıkta sadece doğru veya yanlış olarak ifade edilebilen bir sorunun cevabı, bulanık mantıkla sınırsız sayıda alt bölümlere ayrılarak ifade edilebilecek düzeye gelmektedir (Şekil 2).

Bu ön açıklamalardan sonra çalışmalar tasarıma uygun olarak aşağıda tanımlandığı şekilde bilgi aktarma basamaklarının hazırlanmasıyla devam etmiştir. Bilgi aktarma kavramlarının incelenmesi bu basamakların hazırlanmasında çok yardımcı olmuştur. Kullanılması gereken bilgi aktarma yöntemlerinin farklılığı basamakların hazırlanmasında değişikliklere yol açacaktır. Burada kural-tabanlı (rule-based) bilgi aktarma yönteminin seçilen probleme uyarlanması kullanılmaktadır.

Soru : Granit sağlam bir kayadır mı?

Cevap : Evet doğru,

Katsayı : 0,85 (Granitin sağlam bir kayadır olduğuna 85/100 düzeyinde inanıyorum).

Klasik yapay zeka kuralları içinde hazırlanacak mantıksal bütün önermeler bu

şekilde cevaplandırılacak hale getirilirse, önerilen katsayılarla dayalı bir karar ortamı yaratılmış olacaktır. Eminlik katsayısı (certainty factor) olarak ifade edilen bu yaklaşım farklı düzenlemelerle farklı uygulamalarda kullanılmıştır (Shortliffe ve Buchanan, 1975). Sınıflandırmalarda bulunan bulanık sözcüklerin karar aşamasında değerlendirilmesi için geliştirilmeye çalışılan bu karar basamakları, belirli yöntemlerin ortak kullanılması sonucu ortaya çıkmıştır. Karar aşamalarında öncelikle kural-tabanlı bilgi aktarma kavramları ve bulanık küme mantığı kullanılarak kavram ve olayların bir değerlendirilmesi yapılmaktadır. Aşağıda verilen örnekte geliştirilen yöntemin yapısı görülmektedir.

Konu	Sınıflandırma,
Amaç	Granit kaya kütlesi içinde açılacak maden galerisi için tasarım yapılması
Sistem	Q sınıflandırma sistemi,
Soru-1	Sondaj karotlarında jeoteknik loğlamalar yapıldı mı ?
Cevap-1	Evet (1,00/1,00),
Soru-2	RQD değeri hesaplandı mı?
Cevap-2	Evet (1,00/1,00),
Soru-3	Eklem sayısı biliniyor mu ?
Cevap-3	Evet (1,00/1,00),
Soru-4	Eklem pürüzlülük durumu biliniyor mu ?
Cevap-4	Evet (1,00/1,00),
Soru-5	Eklem ayrışma durumu biliniyor mu?
Cevap-5	Evet (1,00/1,00),
Soru-6	Eklemden sızan su veya eklem su içeriği biliniyor mu ?
Cevap-6	Evet (1,00/1,00),
Soru-7	Kazı şekline göre kazı indirgeme

faktörü bulunabilir mi ?

Cevap-7: Evet (1,00/1,00).

Bu sorulardan ve alınan cevaplardan da anlaşılacağı gibi kaya kütlesi Q sistemi sınıflandırma parametrelerine göre incelenmiştir. Böylece bulanık deyimlerin incelenmesinden önce bu parametrelerin araştırılıp araştırılmadığının öğrenilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Sonuçta bu sorulara % 100 eminlik katsayısıyla "evet" cevabını veren mühendislerin bu parametreler hakkında karar verebilecek duruma geldiklerine inanılmaktadır. Bu soruların birisine verilecek "hayır" cevabı karar vermeyi ters yönde etkileyecektir. Çünkü klasik mantık önermelerine ve kural-tabanlı bilgi aktarma kurallarına göre, (  $P_1 A P_2 A P_3 A P_4 A \dots A P_n \Rightarrow q$  ) sonucuna ancak  $P_j$  değerlerinin tamamının doğru olmasıyla ulaşılabilir. Öyleyse;

Eğer : Cevap-1 evetse,  
ve : Cevap-2 evetse,  
ve : Cevap-3 evetse,  
ve : Cevap-4 evetse,  
ve : Cevap-5 evetse,  
ve : Cevap-6 evetse,  
ve : Cevap-7 evetse,  
O halde : Q sistem değeri bulunabilir

şeklinde mantıksal kural-tabam hazırlanabilir. Bu aşamada sorulan sorulara % 100 eminlik katsayısı ile evet veya hayır (1,00 veya 0,00) şeklinde cevaplar istenmiştir. Bu aşamadan sonra ulaşılan, detaylı sorgulama yoluyla bilgi edinme basamaklarında ise cevaplandırma tekniği aşağıda görüleceği gibi farklı düşünülmüştür. Bu basamakların işleme alınması için öncelikli olarak yukarıda verilen yedi parametreye verilecek cevapların "evet" olması gereklidir. Geliştirilen sistemde karar verici mühendislerin vereceği bulanık her kavramın ayrıca araştırılmak üzere işaretlenmesi izlenecek bir yol olarak düşünülmüş ve karar aşamaları aşağıda

verilen basamaklar şeklinde geliştirilmiştir. Bu basamaklarda sorulan sorularda kullanılan deyimlerin bir kısmı klasik mantık (KM), bir kısmı emniyet katsayısı (EK), bir kısmı da bulanık mantık (BM) kuralları içinde sonuçlandırılacaktır. Soruların sonuna konulan KM, EK, ve BM harfleri bu soruların değerlendirme işlemi sırasında hangi mantık doğrultusunda ele alınacağını belirleyecektir. Yukarıda verilen basamaklarla (ilk 7 soru) Q sistemi için gerekli değerlendirmenin yapılabileceği öğrenilmiştir. Burada verilen "evet" kararları değerlendirmenin aşağıdaki kısmına geçmesini sağlamak ve bu kısımdaki sorular arazi şartlarının karara bağlanmasını sağlamaktadır, (kaim olarak işaretlenenler tercihleri göstermektedir).

Soru-8 : Kaya kütlesi RQD değerine göre nasıl sınıflandırılabilir (EK) ?

Cevap-8 : a)Zayıf, b)Zayıf-orta, c)Orta, d)Orta-yüksek, e)Yüksek, f)Çok-yüksek

Katsayı-8 : (EK) % 80

Soru-9 : Eklem takım sayısı ile ilgili kararınızı giriniz (EK) ?

Cevap-9 : a)Yok, b)Bir-eklem, c)İki-eklem, d)Üç-eklem,e)Dört-eklem, f)Çok eklem, g)Zemin

Katsayı-9 : (EK) % 90

Soru-10 : Eklem ayrışma durumu ile ilgili yorumunuzu giriniz (BM) ?

Cevap-10 : {Çok az ayrışmış (100 birim)}

Soru-11 : Eklem su .durumuyla ilgili bilginizi giriniz (BM) ?

Cevap-11 : {Az nemli ( $>10 \text{ kg/cm}^2$ )}

Soru-12 : Eklem pürüzlülük durumu ile ilgili yorumunuzu giriniz (BM) ?

Cevap-12 : {Az pürüzlü (100 birim)}

Soru-13 : Gerilme durumuyla ilgili olarak indirgeme konusunda yorumunuzu giriniz (EK) ?

Cevap-13 : a) Zayıf zon b)Kimyasal ayrışmış c)Makaslama zonu d)Düşük gerilme e)Az değişmiş f)Orta gerilme g)Fazla gerilme h)Ezilmiş zon

Katsayı-13 : (EK) % 75

Soru-14 : Kazı tipini giriniz (KM) ?

Cevap-14 : a) Maden galerisi b) Kuyu  
c) Ana galeriler d) Yeraltı boşlukları  
e) Yeraltı nükleer santral depolan

Açıklama-14 : " a" seçeneğinden başlayarak kazının duraylılığına verilen önem artmaktadır. Bu sorularda klasik mantık basamaklarına uygun olanları için değerlendirme % 100 eminlik katsayısı işaretlenmiş gibi yapılacaktır. Eminlik ve bulanık katsayıları verilmiş diğer kararlar da gözönüne alınarak bu katsayıların tamamı ortaklaşa değerlendirmeye alınacaktır. Ortak eminlik katsayısı, (Es), ise aşağıda verildiği şekilde farklı anlayışlara göre bulunabilmektedir.

İyimser değerlendirme :  $E_s = \max(EK)$

Kötümser değerlendirme:  $E_s = \min(EK)$

Ortalama değerlendirme :  $E_s = (E + EK)/n$

Eminlik katsayıları ile verilen kararlar ve bunlara bağlı Q sistemi değerlendirme puanları özel bir yöntemle bilgisayar dosyalarında saklanmalıdır. Bu saklama işleminde kullanılacak en iyi yöntemlerin birisi, özel kodlanmış matrislerdir. Karar basamaklarının bilgisayara uyarlanması sırasında bu matrislerle yapılan işlemler daha kolay olmaktadır. Bu matrisin genel görünümü aşağıdaki gibidir.

$A(1,1)$   $A(1,2)$   $A(1,3)$   $A(1,4)$

$A(2,1)$   $A(2,2)$  .....

$A(x,y) = A(3,1)$  .....

$A(n,1)$   $A(n,2)$   $A(n,3)$   $A(n,4)$

Matrisin kodlanması konusunda düşünülen yöntemlerden birisi şu şekilde verilebilir. A matrisinde, matris elemanları  $A(x,y)$  şeklinde yerleştirileceğine göre,  $A(x;1)$  elemanları (1. sütun) kullanıcıya yöneltilen karar mekanizmasının türünü belirtecektir. Bu

sütunda klasik mantık için , 1; eminlik katsayısı için, 2 ve bulanık mantık için, 3 kodlarının kullanılması tercih edilmiştir. A matrisinin  $A(x_i,2)$  elemanları (2. sütun) ise seçilen soru için kullanıcı mühendisin verdiği cevap seçeneğini (a,b,c,d,e,f,g ....) içerecektir. A matrisinde yer alan 3. sütun  $A(x_i,3)$  ise her soru için verilen eminlik katsayısını içerecektir. Bu sütunda klasik mantık için verilen kararlar için eminlik katsayısı olarak % 100 kodunun kullanılması planlanmıştır. Bulanık mantık işlemlerine göre değerlendirilmesi yapılan soruların sonuç katsayıları da yine bu sütuna hesaplamalardan sonra yazılacaktır. Matrisin 4. sütununda ise seçilen her seçeneğe göre Q sisteminde verilen puanı gösterilecektir. A matrisinin her satırı ayrı bir soru için hazırlanacağına göre, yukarıda verilen örnekte 14 soru olduğu için A matrisinin boyutu (14x4) olacaktır.

A matrisinde bulanık mantık değerlendirme yöntemleriyle yorumlanması istenen bulanık değerler özel olarak ele alınmalıdır. Yukarıda verilen örnek gözönüne alındığında cevaplandırılması gereken bulanık soruların (10. , 11. ve 12. sorular) cevap satırlarını, üzerinde çalışılan arazi şartlarını iyi bilen mühendisler yazacaklardır. Bu soruların cevabı olarak gösterilen değişkenlerin bilgisayar programına yukarıdaki gibi girildiği varsayılırsa bunların bulanık küme yaklaşımına göre "değişken" ve "pekiştiriri" olarak tariflenmesi gerekecektir. (Gökay, 1993). Üzerinde çalışılan örnekte bulanık değişken olarak tariflenen ayrılmış, nemli ve pürüzlü sözcükleri için aşağıdaki bulanık kümeler tariflenmiştir.

Ayrılmış = {r18, r19, r20, r19, r18}

Nemli = {r1, r2, r3, r2, r1}

Pürüzlü = {r17, r18, r19, r18, r17}

Bunların pekiştiriri sözcükleri de; (Çok az= 0,005, Az=0,05; Çok=1,20) şeklindeki katsayılarla, bunların kullanılması sonucu elde edilecek ortak kavram verilecek son

karan etkileyecektir. Yukarıda verilen "r" kodlu katsayılar 20 eşit parçaya bölünmüş bir bütün içinde verilen bulanık terimin küme içindeki düzeyini göstermektedir. Bulanık terim Az nemli (10 kg/cm<sup>2</sup>) şeklinde ifade edildiğine göre, 10/20=0,5 kg/cm<sup>2</sup> sonucu her nemli "r" küme kademesi için eşitlenecektir. Bu aşamada (10 kg/cm<sup>2</sup>) terimi mühendis tarafından verilmekte ve maden galerisine gelebilecek yeraltı suyunun maksimum deşarj basıncını belirtmektedir. Burada "nemli" bulanık ifadesi, nemli={r1, r2, r3, r2, r1} kümesiyle ifade edilmekte ve bulanık küme elemanı olma katsayıları ise r1=1/20, r2=2/20, r3=3/20 olarak verilmektedir. Elemanlık katsayısı olarak da isimlendirilebilecek olan bu katsayılar minimumdan maksimuma doğru küme içi bulanık geçişi tariflemektedir, bir başka deyişle küme merkezinde maksimum değere sahip olan katsayı küme sınırlarına doğru azalmaktadır. Bu örnekte mühendis üzerinde çalıştığı galeri projesi için su deşarj beklentisini nemli sıfatıyla r1 ile r3 bulanık katsayıları (0,5-1,5 kg/cm<sup>2</sup> ) arasında tariflemektedir. Bu etkileşimi özetlersek;

Nemli = { 1/20, 2<sup>0</sup>, 3/20, 2/20, 1/20 }  
buradan,  
Nemli = {0,05, q,10, 0,15, 0,10,0,05} olacaktır<sup>1</sup>. Pekiştiriri sözcük dikkate alındığında;  
Az = 0,05,  
Az nemli = { (0,05)(0,05), (0,05)(0,10),... } şeklinde hesaplanarak,  
Az nemli = {0,0025, 0,0050,0,0075, 0,0050, 0,0025 } olarak katsayılar bulunacaktır. Sonuçta bu galeri için "az nemli" su durumu, 0,025-0,075 kg/cm<sup>2</sup> değerleri arasında bir su deşarj miktarını tariflemektedir.

Diğer bulanık terimler de benzer şekilde değerlendirildikten ve sonuç katsayıları bulunduktan sonra, bu terimlere ait sonuç kümesindeki minimum katsayı ilgili sorunun

bulanık mantık karar katsayısı olarak A(x,y) matrisinin 3. sütununa yazılır. Burada minimum katsayının seçilmesi karar aşamasında daha güvenli olarak karara ulaşılmak istenmesindedir. Önceki bölümde verilen karar ve programlama basamaklarında sorulan sorular, bunlara verilen cevaplar ve ilgili karar katsayıları incelendikten sonra bunlara verilebilecek ortak sonucun ne olabileceği konusunda bir yorumlama yapmak istenirse, iyimser bir yaklaşımla son karar: Es=max (EK) dan bulunabilecektir. Bu A(x,y) matrisinin 3. sütunundaki katsayıların maksimumunu bulmak anlamındadır ve "geliştirilecek bilgisayar programlarıyla bu kolaylıkla yapılabilecektir.- Sonuçta farklı ifadelerde (KM, EK, BM) geçen katsayılar birleştirilerek ortak bir sonuç katsayısına ulaşılmış olacaktır. Bu katsayı, üzerinde çalışılan problem için bulunan Q indeks değerinin geçerliliğine ne kadar inanıldığını veya bu sonuçtan ne kadar emin olduğunu gösterecektir.

#### 4. SONUÇ

Kaya mekaniğinde temel çalışmalar arasında bulunan kaya kütlesi sınıflandırma sistemleri tecrübenin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu sınıflandırmaların kullanılmasında mühendislerin kullandığı deyimlerin çoğu bulanık deyimler olup açık bir şekilde tammlanamamaktadır. Karar sistemi kullanan mühendis tarafından tecrübeye göre verilmektedir. Aynı karar aşamalarının bilgisayarda program dahilinde kullanılması sırasında izlenen ilk yöntemler bunların klasik veya eminlik • katsayısı yöntemine uygun sorularla karşılaştırılması şeklinde olmuştur. Bulanık mantığın pratik olarak kullanılmasını amaçlayan bu çalışmada klasik, eminlik katsayısı ve bulanık mantık sonuçlarının ortak değerlendirilmesi amacıyla yöntemler araştırılmış, ortaya çıkan karar aşamaları konuyla ilgilenen uygulayıcılara sunulmuştur.



## KAYNAKLAR

Barton, N.R., Lien, R. ve Lunde, J. 1974; "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support," Rock Mech., Vol 6, s. 189-239.

Bellman, R.E ve Zadeh, L.A., 1970; "Decision Making in a Fuzzy Environment," Management Sci., Vol 17, s. B141-B164.

Bieniawski, Z.T., 1973; "Engineering Classification of Jointed Rock Masses," Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng., Vol 15, s.335-344.

Bieniawski, Z.T., 1984; "Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling," Balkema, Rotterdam.

Brown, E.T., 1981; "Rock Characterization Testing and Monitoring," ISRM Suggested Methods, Commission on Testing Methods ISRM, Pergamon Press, Oxford.

Deere, D.U. ve Miller, R.P., 1966; "Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock," Air Force Weapons Lab. Tech. Rep, AFWL-TR-65-116.

Gökay, M.K., 1993; "Developing Computer Methodologies for Rock Engineering Decisions," PhD tezi, Londra Üniversitesi, Imperial College, MRE-Kaya Mekaniği grubu, Londra.

Gökay, M.K., 1994; "Kaya Sınıflamasında Kullanılan Parametreler" Kaya Mekaniği Bülteni, V10.

ISRM, (International Society for Rock Mechanics) 1981; "Basic Geotechnical Description of Rock Masses," Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol 18, s.85-110.

Lauffer, H., 1958; "Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau". Geol. Bauwesen, Vol 74, s.46-51.

Romana, M., 1985; "New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slope", Proc. Int. Symp. Rock Mech. Excav. Min. Civ. Works., ISRM, Mexico City, s.59-68.

Shortliffe, E.H. ve Buchanan, B.G., 1975; "A Model of Inexact Reasoning in Medicine," Mathematical Biosciences, Vol 23, s.351-379.

Terzaghi, K., 1946; "Rock Defects and Loads on Tunnel Support," Rock Tunneling with Steel Supports. (Eds., Proctor, R.V. ve White, T.) Commercial Shearing Co. Ohio. (Revised in 1968, Reprinted in 1977).

Wickham, G.E., Tiedemann, H.R. ve Skinner, E.H., 1972; "Ground Support Prediction Model RSR Concept, Proc. Rapid Excav. Tunnelling Conf. AIME, NewYork, s.691-707.

Zadeh, L.A., 1963; Fuzzy Sets, Information Control. Vol8, s.338-353.