

VOLKANOLOJİ'DE BULANIK* MANTIK

Sorunlu konuların matematiksel olarak ifade edilmesini sağladığı ve jeolojik bilgi belirsiz bir şekilde tanımlandığı için bulanık mantık volkanik sistemlerin modellenmesinde basit ve güçlü bir araçtır. Bulanık mantık, esnek sınıflara olanak sağlar. Çünkü bu mantığın alanına giren kümelerin üyeleri ancak belli bir dereceye kadar bu kümelerle üyelik ilişkisi içindedir. Geleneksel sınıflamalara uymayan bir çok jeolojik nesne vardır, çünkü bu nesnelere sadece bir dereceye kadar kendi has özelliklerini gösterirler. Bu çalışmanın amacı bulanık mantık felsefesini araştırmacılara tanıtmak ve yer bilimciler arasında yaygın bir hale getirmektir.

Bir çok jeolojik nesne sadece belli bir dereceye kadar kendi has özelliklerini gösterdiğinden, bunları geleneksel yöntemlerle sınıflandırmaya çalışmak hayal kırıcı sonuçlar doğurmaktadır. Kayaçlar belirsizliğin iyi bir örneğidir ve birkaç iyi tanımlanmış noktaya sahip sürekli bir yelpazede, sonsuz sayıda farklı doku, yapı ve mineralojik özelliğe sahip olmakla birlikte, genellikle karışık özellikler gösterdiklerinden tek bir kategoriye sokulamazlar. "Ofitik eğilimli doku" veya "Fenokristalleri yarı öz şekilli" gibi ifadeler kullanılır, çünkü bu kayaçlar ancak bir dereceye kadar ofitik doku gösterirler veya fenokristalleri ancak bir dereceye kadar öz şekillidirler. Benzer şekilde, bir kayaç iki zıt özelliği aynı zamanda gösterince (söz gelimi gözle görülebilir kristallerin olması veya olmaması durumunda) onu porfiritik-afanitik olarak tanımlarız.

Bulanık mantığı açıklamak için kullanılacak daha az tipik bir örnek ise bir lav akıntısının sıcaklığı kavramıdır. Lavların bu özelliği tek bir değerle betimlenememektedir çünkü bir lav akıntısının bazı bölümleri katılaşma (solidus) sıcaklığının altında, bazı bölümleri üstünde ve diğer bazı bölümleri ise ara değerlerde olabilirler. Bu nedenden ötürü Rothery ve Preri (1993) şunları yazmıştır: "Lav akışlarının fiziksel özelliklerinin ölçümleri yalnızca uygulamada değil aynı zamanda anlamları açısından da kolay kavramlar değildir". Öyleyse bir lav akışı aynı zamanda hem yüksek sıcaklık hem de düşük sıcaklık karakterinde olabilir. Bulanıklığın bir başka örneği ilerleyen bir piroklastik akışın

taşıma mekanizmasıdır. Bu tür bir akış tekdüze (laminer) ve/veya tıpa akışları (Plug flows) şeklinde olabilir, akış oldukça şiddetli ise türbülans da önemli hale gelebilir (Cas ve Wright, 1988), fakat tekdüze ve türbülanslı akışlar zıt uç üyelerdir. Benzer şekilde, bir sedimanter kütle akışı tane akışları, moloz akışları ve türbidit akıntılarının bir arda lanmasından oluşabilir ve akışın doğası zaman ve mekan içinde olasılıkla değişir (Middleton ve Hampton, 1973). Okuyucu kuşkusuz, jeolojide bulanıklığın, özellikleriyle ve zıtların aynı zamanda farklı derecelerde var oldukları diğer pek çok örneği hayal edebileceklerdir. Bu notun amacı, volkanoloji'nin, bulanık mantığın geniş olarak uygulanabildiği bir alan olduğunu göstermektir, çünkü belirsizlik gerçek dünyanın doğal bir özelliğidir ve bulanık mantık jeolojik sistemleri daha basit bir yolla tanımlamak için kullanışlı olabilir.

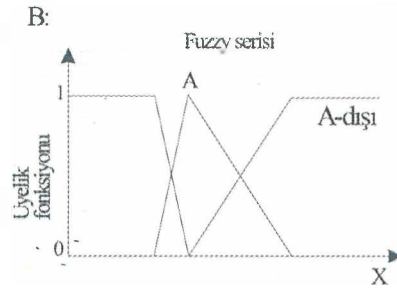
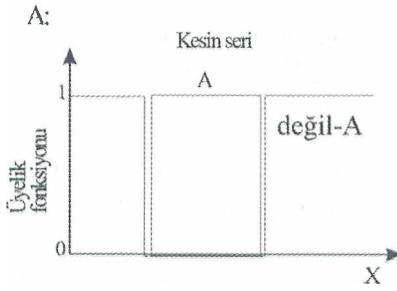
Bulanık Mantık

Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'nden Profesör Lofti Zadeh bulanık mantığın babasıdır. Ona göre, doğal sistemleri çalışmak için bir bulutsu nicelikler ve bulanık matematik gerekli idi. Bulanık mantık, sahip oldukları elemanlar, değeri 0 ile 1 arasında değişen üyelerin fonksiyonuna göre sadece bir ölçüde kümeye ait olan bulanık kümelerle ilgilenir. Örneğin elle çizilen bir kare kısmen kareler kümesine (yani saf matematiksel idealara) ve kısmen de, mükemmel olamadığından, kare-olmayanlar kümesine ait olur. Böylece bir bulanık küme (A), onun tamlayanı (A-olmayanlar) ile örtüşür. Çünkü, bazı ele-

manlar her ikisine de ait olabilir. Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki farkı anlayabilmek için klasik mantıkta geçerli olan, üçüncü şıkın olmazlığı yasası (excluded middle law) ($A \cap \text{değil} - A = \emptyset$ ve $A \cup \text{değil} - A = X$, burada \emptyset , boş küme X, evrenin bütün elemanlarıdır) diye bilinen yasalara dikkati çekmek yararlı olacaktır. Halbuki bu yasalar $A \cap \text{değil} - A \neq \emptyset$ ve $A \cup \text{değil} - A \neq X$ (Ross, 1993) olduğu bulanık mantıkta geçerli değildir. Bu durum, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları kullanılarak çizilen Şekil 1'deki bulanık kümede gösterilmiştir. Bu nedenden ötürü, bulanık mantık zıtlıkları kabul eder, çünkü bir nesne aynı zamanda hem kısmen A hem de kısmen değil-A olabilir. Yaygın üyelik fonksiyonları üçgenler, trapezoidler ve hatta, Gauss çan eğrileridir.

Bir bulanık (mantık) kuralı, bulanık kümeleri "Eğer Y, A ise o zaman Z, B"dir (burada A ve B bulanık kümelere) türünden koşullu EĞER-O ZAMAN cümleleri kullanarak ilişkilendirir. Bir bulanık sistem, bulanık girdilerle bulanık çıktıları EĞER-O ZAMAN cümleleri şeklinde birbirine bağlayan bir bulanık kurallar kümesidir (Jamshidi, Vadić ve Rass, 1993). Bu nedenden ötürü, bir bulanık sistem özgün bir bilgiyi ya da uzman bir sistemi temsil eder. Sıradan bir örnek şöyle olabilir. 1) Eğer sıcaksa ısıtıcıyı kısın 2) Eğer soğuksa ısıtıcıyı yükseltin vb. Burada sıcak, soğuk, kıs, yükselt ifadelerinin tümü bulanık kümelerle temsil edilebilir. Böyle sistemlerde, birden fazla kural aynı zamanda ve paralel olarak çalışmaya başlayabilir. Bulanık mantık için yararlı, fakat

*'Bulanık' terimi 'fuzzy' teriminin karşılığı olarak kullanılmıştır.



Şekil 1 (a): Kesin seri A ile onun tamamlayıcı değil-A'nın birleşimi evrenin bütün elemanları kümesi iken kesişimleri boş kümedir. (b): örtüşüklerinden, bu durum bulanık kümeler için geçerli değildir.

akademik olmayan, yeni başlayanlara teknik kitapların şablonculuğundan kurtulma ve bulanık mantığın felsefesini anlama olanağını sağlayan bir giriş kitabı Kosko (1994) tarafından yazılmıştır. Bir başka özlü giriş kitabı ise, stratigrafi ve porozite konularında iki bulanık mantık uygulaması örneğini içeren Fang (1997)'in çalışmasıdır.

Volkanoloji'de Bulanık Kümeler

Bu bölümde, üyelik fonksiyonlarıyla birlikte bulanık kümelerin kullanılmasının daha iyi bir sınıflama verdiği basit bir durumu göstermek istiyorum. Örneğin, boylanması göre bir piroklastik çökel 1) çok iyi boylanmış ($\sigma_\phi=0-1$), 2) iyi boylanmış ($\sigma_\phi=1-2$), 3) kötü boylanmış ($\sigma_\phi=2-4$) ve 4) çok kötü boylanmış ($\sigma_\phi>4$) olabilir. Bu dört küme, elemanları onlara %100 ait olan ya da %100 ait olmayan, ara olasılıkların bulunmadığı klasik, katı kümelerdir. Bu durum mantıklı gözükmemektedir, ancak gerçekte garip durumlar da ortaya çıkar. Örneğin, boylanması 2 olan ($\sigma_\phi=2$) bir çökel iyi mi boylanmış, yoksa kötü mü? Boylanması $\sigma_\phi=1.1$ olan bir kayaç, $\sigma_\phi=1.5$ olan bir başkası kadar iyi boylanmış mıdır?

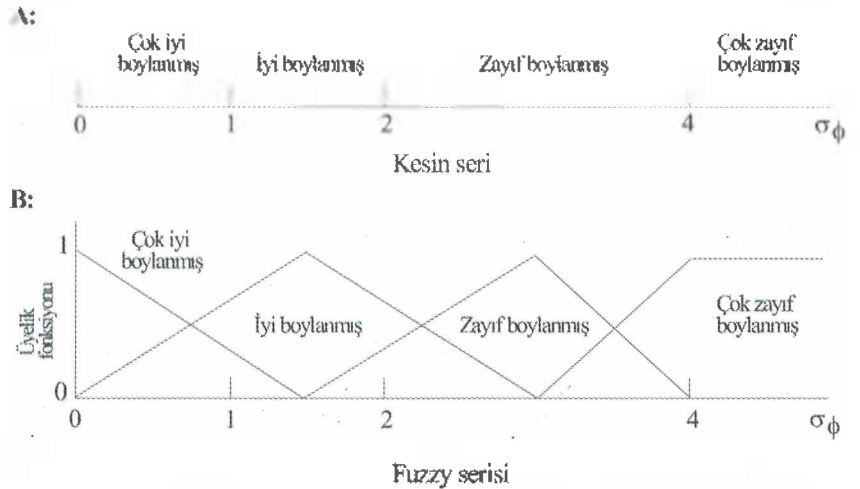
Basit üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak bile -her ne kadar fonksiyonların şekli ve boyutu genel olarak belirlenmek ihtiyacındaysa da- bulanık kümelerle daha uygun bir tanımsal sınıflama mümkün olabilir (Şekil 2). Bu durumda, $\sigma_\phi=2$ olan bir örnek hem "iyi boylanmış" hem de "kötü boylanmış" bulanık kümelerde bulunabilir. (Şekil 2). Benzer şekilde boylanması $\sigma_\phi=1.1$ olan bir örnek ile boylanması $\sigma_\phi=1.5$ olan bir başka örnek farklı üyelik fonksiyonu değerine sahip olacaktır. Bu, bulanık mantık kümelerinin

doğal dünyanın tanımlanmasındaki kaliteyi, ondaki belirsizliği basit bir yolla temsil ederek, nasıl iyileştirdiğini gösteren basit bir örnektir.

Bu durumda, boylanması $\sigma_\phi=2$ olan bir örnek, farklı derecelerde olmak üzere aynı zamanda hem iyi boylanmış, hem de kötü boylanmış olabilir ve bu bulanık mantıkta bir zıtlık değildir.

Volkanoloji'de Bulanık Sistemler

Fisher ve Schmincke (1984)'nin Newhall ve Self (1982)'den aldığı volkanik patlayabilirlik indeksi (VEI) için



Şekil 2: A- Rijit kümelerle bir piroklastik çökelin boylanması (Cos ve Wright, 1988). B- Bulanık kümeler kullanılarak boylandırma. Burada üyelik fonksiyonlarının şekli ve boyları keyfidir ve yalnızca bulanık mantığın felsefesini göstermek için bir örnek olarak kullanılmıştır.

kriterleri içeren aşağıdaki tablo (Şekil 3) kolaylıkla bir bulanık sisteme dönüştürülebilir. Bu durumda püskürüklerin hacimleri kolon yükseklikleri, süreler (sürekli patlama saatleri), troposferik ve stratosferik enjeksiyon (sokulumlar) değerleri arazide ölçülebilen girdi-bulanık kümeler olarak düşü-

lebilirken, volkanik etkinliklerin sınıflaması (Hawaiyen, Stramboliyen, Vulkaniyen, Pliniyen ve Ultrapliniyen) çıktı-bulanık kümeler olarak düşünülebilir. Şekil 4, bulanık kümeler kullanılarak kolayca yeniden yazılan bu tablonun bir kısmını göstermektedir. Kuşkusuz burada üçgen üyelik fonksiyonları keyfidir ve onların şekil ve boyları gözlemler, çıkarımlar ve deneyler yardımıyla iyileştirilebilir. Bu yaklaşım, aynı zamanda, Şekil 3'deki diğer girdi değişkenlerinin bulanık kümelere dönüştürülmesini gerektirir. Bu sistemde, girdileri çıktılara bağlayan kurallar, Şekil 3'deki tabloda, kümeler arasındaki grafiksel düzey karşılık ile temsil edilir ve EĞER-O ZAMAN cümlelerine eşittirler. Bu çok basit sistemde, EĞER, belli püskürüklerin hacmi, süresi, troposferik ve stratosferik sokulumları küçük, ihmal edilebilir ya da hiç yoksa O ZAMAN volkanik etkinlik türü örneğin, Hawaiyen olacaktır. Bulanık sistemler, matematiğin başa çıkamayacağı son derece karmaşık volkanik sistemlerde (üyelik fonksiyonlarını, bulanık kuralları, bulanık kümeleri vb. deneylerle hesaplayarak) nederleri ile sonuçları ilişkilendirmede kullanılabilir. Sonuçta, yalnız tek bir yanıt ulaşmak için çıktı-bulanık kümelerine bazı bulanık-

sılaştırma tekniklerinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. (Jamshidi, Vadice ve Ross, 1993).

Sonuçlar

Karmaşık volkanolojik sistemleri modellemek neden böylesine zordur?

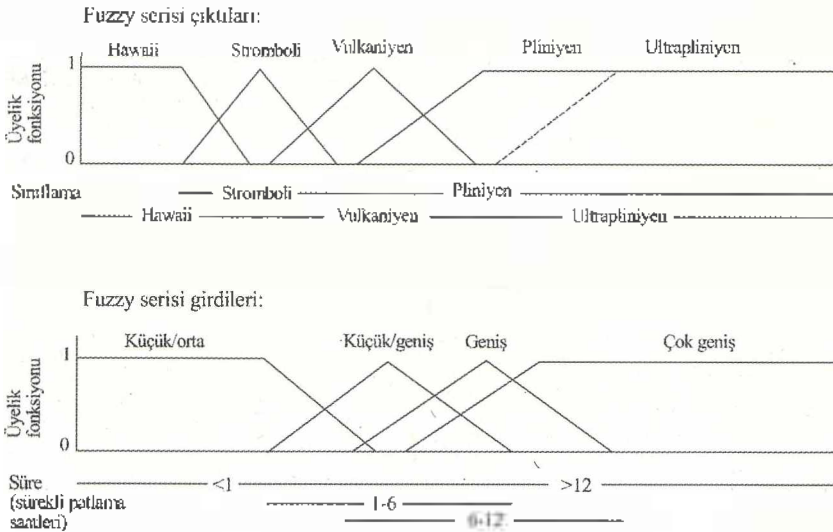
VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tanımlama	Patlayıcı olmayan	Küçük	Orta	Orta - geniş	Geniş	Çok geniş	-----		
Vulkanik malzemenin hacmi (m ³)	<10 ⁴	10 ⁴ - 10 ⁶	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁸ - 10 ⁹	10 ⁹ - 10 ¹⁰	10 ¹⁰ - 10 ¹¹	10 ¹¹ - 10 ¹²	>10 ¹²
Kolon yüksekliği (km)	<0.1	0.1 - 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	-----			
Sınıflama	-----		Stromboli	-----		Pliniyen	-----		
Süre (sürekli patlama saatleri)	-----		Hawai	-----		Vulkaniyen	-----		
Troposferik enjeksiyon	İhmal edilebilir	Küçük	Orta	Dayanıklı	-----				
Stratosferik enjeksiyon	Yok	Yok	Yok	Mümkün	Kesin	Karakteristik	-----		

Şekil 3: Bu tablo, bulanık mantık terimleri ile yeniden yazılabilir. Kümeler arasındaki dikey karşılık, bulanık kümeleri temsil eder (Fisher ve Schminke, 1948; Newhall ve Self, 1982'den).

Bunun nedeni bilgi eksikliği midir, yoksa doğa bulanık ve belirsiz iken onu çözümlenecek olan klasik mantık çok mu katıdır? Jeolojide, istisnai ve ortaçağ pek çok özelliğin bulunması, katı klasik mantığın gerçek dünyayı tanım-

arasında bir kuramsal fark olduğunu vurgulamak gerekir. Çünkü bunlardan ilki doğanın üzerinde işlediği bir mantık önerirken, diğeri ise en sık olgularla ilgilidir.

- Jamshidi, M., Vadiee, N., and Ross, T.J., 1993, Fuzzy logic and control, software and hardware applications: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 397 pp.
- Kosko, B., 1994, Fuzzy thinking: Flamingo, London, 318 pp.
- McKenzie, W.S., Donaldson, C.H., and Guilford, C., 1987, Atlas of igneous rocks and their textures: Longman Scientific and Technical, London, 148 pp.
- Middleton, G.V., and Hampton, M.A., 1973, Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition, in Middleton, G.V., and Bouma, A.H., eds, Turbidites and deep water sedimentation, vol. I, S.E.P.M. Short Course, pp. 1-38.
- Newhall, C.G., and Self, S., 1982, The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism: Journal of Geophysical Research, v.87, pp. 1231-1238.
- Ross, T.J., 1993, Set theory - Classical and fuzzy sets. in Jamshidi, M., Vadiee, N., and Ross, T.J., eds, Fuzzy logic and control, software and hardware applications: Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 10-35.
- Rothery, D.A., and Pieri, D.C., 1993, Remote sensing of active lava, in Kilburn, C.R.J., and Luongo, G., Active lavas: UCL Press Limited, London, 374 pp.
- Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy sets: information and control, v. 8, pp. 335-353.



Şekil 4: Şekil 3'ten elde edilen girdiler ile çıktı bulanık kümelerinden biri. Üyelik fonksiyonlarının şekilleri yine keyfidir, yalnızca bir örnek olarak kullanılmıştır.

lamada yetersiz olduğunu göstermektedir. Öte yandan, bulanık mantık iyi tanımlanamayan sistemlerin görece basit bir yolla modellenmesinde yararlı olan bir matematiksel araçtır. Her durumda, bulanık mantık ile olasılık teorisi (her ne kadar Gauss eğrisi bir bulanık mantık kümesinin üyelik fonksiyonu olarak kullanılabilirse de)

Kaynaklar

- Best, M.G., 1982, Igneous and metamorphic petrology: W.H. Freeman and Company, San Francisco, 630 pp.
- Cas, R.A.F., and Wright, J.V., 1988, Volcanic successions, modern and ancient: Chapman and Hall, London, 528 pp.
- Fang, J.H., 1997, Fuzzy Logic and Geology: Geotimes, 42, 10, pp. 23-26.
- Fisher, R.V., and Schminke, H.U., 1984, Pyroclastic rocks: Springer-Verlag, Berlin, 472 pp.

Çevirenler: Pınar Alici

Araştırma Görevlisi, H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Faruk Ocakoğlu

Dr. Macar Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Jeoloji Etütleri Dairesi

Cagnoli, B. 1998, Fuzzy logic in volcanology.

Episodes 21/2, 94-96