



BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC) VE JEOFİZİKTE KULLANIM ALANLARI: SİSMOLOJİ ÖRNEĞİ

(FUZZY LOGIC AND APPLICATIONS IN GEOPHYSICS: A SEISMOLOGY EXAMPLE)

İlknur KAFTAN*, Elif BALKAN*, Müjgan ŞALK*

ÖZET/ABSTRACT

Bulanık mantık, teknolojinin de etkisiyle son yıllarda birçok problemin çözümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Doğada kesin olarak tanımlanamayan birçok olayın bulanık mantık yardımıyla çözümleri mümkün hale gelmiştir. Uygulama alanının geniş olması ve birçok problemin çözümünde başarılı sonuçların elde edilmesi bu yöntemle olan ilgiyi arttırmıştır.

Bulanık mantığın jeofizik alanındaki uygulamaları da giderek artmaktadır. Özellikle sismik, elektromanyetik ve öz direnç gibi yöntemlerin ters çözümünde ayrıca parametre tayini ve ön kestirim gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada bulanık mantığın günümüze kadar olan jeofizik uygulamaları derlenmiş ve yaygın olarak kullanım amaçları özetlenmeye çalışılmıştır. Batı Anadolu deprem katalog verilerinin Uyarlanabilir Yapay Sinir-Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neurofuzzy Inference System) (UYBÇS) ile değerlendirilmesi üzerine örnek bir çalışmaya yer verilmiştir.

With the effect of advancing technology, Fuzzy logic has become one of the most common methods used in solving problems during the recent years. Solutions of the many ill defined/unidentified events in nature/earth are made possible by means of fuzzy logic. Wide ranges of applications and obtaining successful results are caused the increasing interest on this method.

Applications of Fuzzy logic on Geophysics are also increasing day by day. It is used on particularly inversion of seismic, electromagnetic and resistivity data, prediction of some physical parameters and estimation studies. The aim of this study is to compile the articles which are about Fuzzy logic application on geophysics and to summarize its intended purpose. Analyzing of the Earthquake data of Western Anatolia Using with Adaptive Neurofuzzy Inference System, is given an example of this method as a seismological application.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Bulanık mantık, Üyelik fonksiyonu, Jeofizik, Deprem haftalık frekans
Fuzzy logic, Membership function, Geophysics, Earthquake weekly frequency

* DEÜ, Mühendislik Fak., Jeofizik Müh. Böl., 35160 Buca, İZMİR

1. GİRİŞ

Yapay zeka, bilgisayarın ya da bilgisayar ile kontrol edilen bir makinanın, akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme, algılama, geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi genellikle insan zekasına özgü olan görevleri yerine getirme yeteneğidir. Yapay zeka (Artificial Intelligence) teknikleri 4 başlık altında toplanabilir.

- Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)
- Uzman Sistemler (Expert Systems)
- Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
- Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay zeka tekniklerinden biri olan Bulanık Mantık (BM) ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh'e göre bulanık mantık klasik mantığın 0-1 önermelerine karşılık 0-1 arasında daha fazla önerme oluşturur. Zadeh tarafından önerilen bulanık kümeler tanımlaması klasik küme kavramındaki kümenin üyesi veya üyesi değil kavramından farklıdır. Zadeh, bulanık mantık ve bulanık küme kuramını "kesinlik diye bir şey yoktur. Mutlak kesin olan hiçbir şey yoktur. Her şey matematiksel olarak ifade edilirse 0 ile 1 arasındaki sınırdadır değişmektedir." şeklinde açıklamaktadır. Bulanık küme kavramında kümedeki her eleman bir dereceye kadar üye olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre 'bulanık küme' değişik üyelik derecesinde elemanları olan bir kümedir. Bulanık kümeler, küme elemanlarının üyelik derecelerine göre sıralanması ve matematiksel olarak üyelik fonksiyonu tanımlanarak ifade edilebilirler (Baykal ve Beyan, 2004).

Bulanık mantık insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesini sağlamaktadır. Örneğin bir grup insan için boy sınıflaması yapılmak istenirse 'uzun', 'kısa' ve 'orta' boylu tanımlarından söz edilir. Bu tanımlar kişilere göre değişiklik gösterebilir. Örneğin klasik mantığa göre 1.59 boyundaki biri 'kısa' olarak tanımlanırken 1.60 boyundaki biri 'orta' boylu olarak gösterilebilir. Yine benzer şekilde 1.75 boyundaki biri 'uzun' olarak sınıflandırılırken 1.74 boyundaki biri 'orta' boylu olarak sınıflandırılır. Bulanık mantıkta kümenin her üyesi üyelik fonksiyonları yardımıyla belirli derecelerde kümenin üyesi olduğundan benzer durumların farklı kümelerde olma durumu ortadan kalkar.

Son yıllarda yer bilimlerinde de uygulanan yöntem birçok problemin çözümünde farklı bakış açılarının oluşmasına neden olmuştur. Özellikle tahmin- ön kestirim, modelleme ve veri işlem gibi alanlarda yöntemin başarısı ve uygulanabilirliği test edilmiştir. Bu çalışmada, Batı Anadolu deprem katalog verileri haftalık olarak derlenmiş ve UYBÇS ile değerlendirilmiştir.

2. BULANIK MANTIK VE TEMEL İLKELERİ

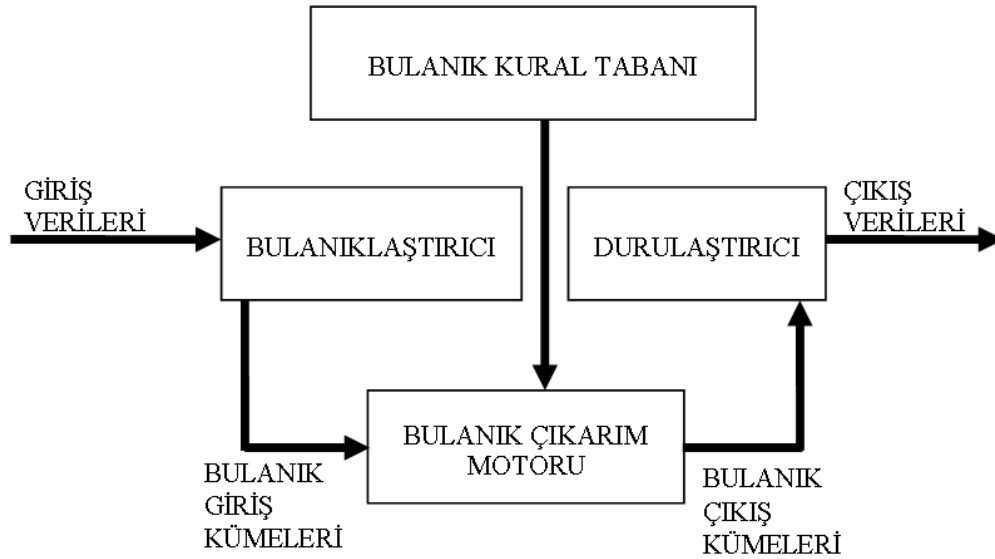
Bulanık mantığa olan ilginin son yıllarda artmasının nedeni yöntemin belli konularda klasik mantıktan daha güçlü olmasıdır. Günlük hayatta kesin olarak tanımlanamayan siyah yada beyaz gibi kesin sınıflandırılmayan durumlarda önermelerin doğruluğu ve yanlışlığı hakkında kesin bir şey söylenemediğinden bunların doğruluk değeri, $[0,1]$ gerçel sayılar kümesinden, bir sayıyla derecelendirilir. Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Bir bulanık sistem Şekil 1'de görüldüğü gibi giriş verileri, bulanıklaştırıcı, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım motoru, durulaştırıcı ve çıktı birimlerinden oluşmaktadır. **Giriş verileri**, sisteme verilecek olan girdileri ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Bu bilgiler sayısal veya sözel olabilir. **Bulanıklaştırıcı**, sayısal girdi verilerini sözel olarak tanımlanmış bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan birimdir. **Bulanık Kural Tabanı**, veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen

kuralların içeren birimdir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. **Bulanık Çıkarım Motoru**, bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar. **Durulaştırıcı**, bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür. **Çıktı Birimi**, bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir (Yılmaz ve Aslan, 2005).

Çizelge 1. Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar

KLASİK MANTIK	BULANIK MANTIK
A VEYA A DEĞİL	A VE A DEĞİL
KESİN	KİSMİ
HEPSİ VEYA HİÇBİRİ	BELİRLİ DERECELERDE
0 VEYA 1	0 VE 1 ARASINDA SÜREKLİLİK
İKİLİ BİRİMLER	BULANIK BİRİMLER



Şekil 1. Bulanıklaştırma-durulaştırma birimli bulanık sistem (Yılmaz ve Arslan, 2005)

Üyelik fonksiyonlarının farklı şekillerde tanımlanabilmesi bulanık küme teorisinin uygulamadaki esnekliğini göstermektedir. Küme üyelerini değerleriyle gösteren eğri üyelik fonksiyonudur. Üyelik fonksiyonu eğrisinde x eksenü üyeleri, y eksenü ise üyelik derecelerini göstermektedir. Birçok üyelik fonksiyonu vardır. En basit üyelik fonksiyonu üçgen üyelik fonksiyonudur. Yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoidal fonksiyonlarda yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır (Şekil 2). Üyelik fonksiyonunun tek koşulu [0, 1] arasında değışme zorunluluğudur.

Üyelik Fonksiyonu	Üçgen Üyelik Fonksiyonu	Yamuk Üyelik Fonksiyonu
Denklemi	$\mu_A(x) = \mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(x-b), & a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \text{ veya } x < a \end{cases}$	$\mu_A(x) = \mu_A(x, a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c), & c < x \leq d \\ 0, & x > d \text{ veya } x < a \end{cases}$
Grafiksel Gösterimi		
Üyelik Fonksiyonu	Gaussian Üyelik Fonksiyonu	Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu
Denklemi	$\mu_A(x) = e^{-\alpha(x-m)^2} \quad \alpha > 0, m \in \mathbb{R}$	$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & a \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{c-a} \right) & b \leq x \leq c \\ 1 & x \geq c \end{cases}$
Grafiksel Gösterimi		

Şekil 2. Bulanık Mantık uygulamalarında kullanılan en yaygın üyelik fonksiyonları

Bulanık modeller oluştururken değişik formlarda üyelik fonksiyonları seçilebilir. Bulanık sistemler genel olarak, mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. Bulanık sistemlerin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin bulanık modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır.

Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları: Bulanık mantıktan yola çıkılarak kullanılan bulanık denetleyicilerle ilgili başlıca üstünlükler, zayıf noktalar ve eleştiriler aşağıda açıklanmıştır.

Avantajlar

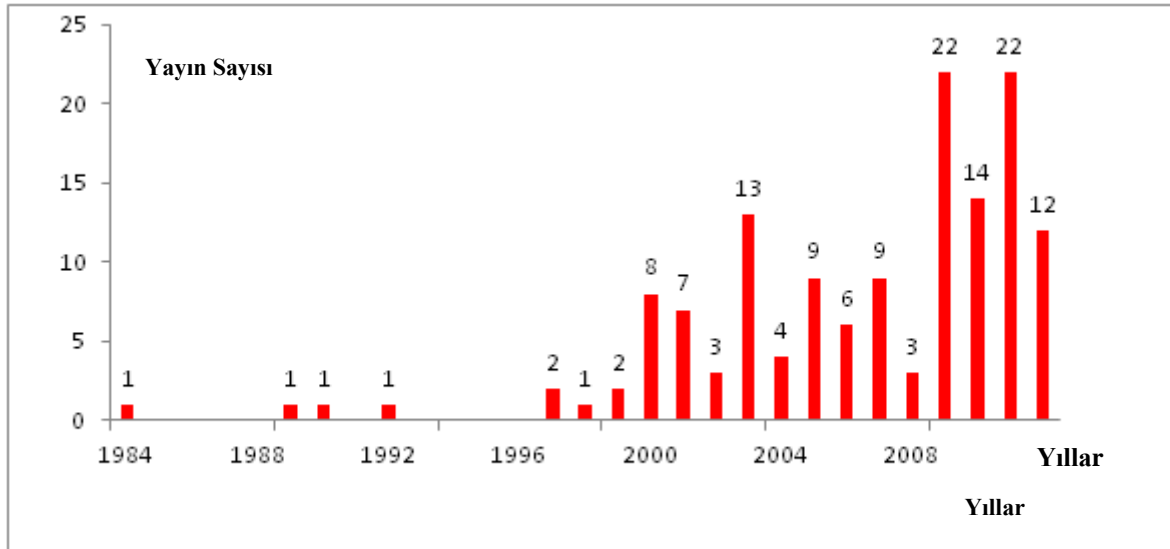
- Dayandığı matematiksel ilkeler kolay anlaşılabilir ve karmaşıklıktan uzaktır.
- Çözümü oldukça zor olan doğrusal olmayan, zamanla değişen ve belirsiz sistemlerin çözümünü mümkün kılar.
- Araştırmacı çözüm için kendi deneyimlerini kurallar halinde sistemde tanımlayabilir
- Her türlü sisteme/probleme kolaylıkla uygulanabilir.
- Günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık iyi tanımlanmamış sistemlerin denetimine basit çözümler getirir.
- Eksik veri ile işlem yapılabilir.
- Sistem basit bir matematiksel modelle tanımlanamayan karmaşık bir sistemse bulanık mantık geleneksel mantığa göre daha kolay ve daha ucuz çözüm üretebilmektedir.

Dezavantajlar

- Bulanık denetimde kullanılan kurallar deneyime çok bağlıdır.
- Problemin çözümü için çok fazla veri kullanımı gerektirir.
- Kullanılan üyelik fonksiyonlarının seçiminde izlenen belirli bir kural yoktur.
- Problem ne kadar karmaşık ise, denetim kümelerinin ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi o kadar zor olur. Bu çözümleme süresini arttırır.

3. BULANIK MANTIĞIN JEOFİZİKTE UYGULAMA ALANLARI

Yeraltının doğrusal olmayan fiziksel işleyişinin çözümlenmesi oldukça zordur. Özellikle karmaşık sistemlerin modellenmesinde Bulanık Mantık hızlı ve etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Diğer anabilim dallarında olduğu gibi jeofizikte de birçok uygulama alanından bahsedilebilir. Bulanık mantığın jeofizik uygulamaları 1982 yılında Feng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarla başlamıştır. Deprem şiddetinin değerlendirilmesinde bulanık mantığı kullanmışlardır (Feng vd., 1982). Daha sonra 1985 yılında Brown, Feng'in çalışmasından yararlanarak bulanık seti sismik çalışmalara uygulamıştır (Brown, 1985). Son yıllarda Jeofizikte Bulanık Mantığa olan ilgi artmaktadır. Farklı problemlerin çözümünde kolaylıkla uygulanabilir olması araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Şekil 3'de 1984-2012 yılları arasında yerbilimlerinde bulanık mantık uygulamalarının yer aldığı SCI-EXP dergilerdeki yayın sayıları görülmektedir. Yayınlar 'Web of Science'den yararlanılarak derlenmiştir. Şekil 3'den de anlaşılacağı gibi 2000 yılından sonra çalışma sayılarında bir artış söz konusudur. Özellikle son dört yılda jeofizikte bulanık mantık uygulamalarında bir artış söz gözlenmektedir.



Şekil 3. Yerbilimlerinde bulanık mantık uygulamalarının SCI-EXP dergilerde yayınlanmış makale sayıları (Web of Science'dan derlenmiştir)

Ülkemizde ve tüm dünyada gün geçtikçe büyüyen enerji endüstrisi petrol, doğal gaz ve jeotermal alanlarda yapılan çalışmaların hem sayısının hem de niteliğinin artmasına sebep olmuştur. Bu sahaların, modellenip çözümlenmesinde ise Bulanık Mantık uygulamaları oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Çeşitli yayınların derlenmesiyle oluşturulan Çizelge 2'de bugüne kadar jeofizikte bulanık mantığın hangi alanlarda ve hangi amaçlarla kullanıldığı özetlenmeye çalışılmıştır. Yöntemin ilk uygulama alanlarından biri istatistiksel veri analizidir.

Yerbilimlerinde kendine oldukça geniş uygulama alanı bulan Bulanık Mantık, özellikle jeofizik verilerinden yeraltında bulunan kayaçların Petro-fizik özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Deprem mühendisliği, hidrojeoloji, çevre jeofiziği ve maden aramacılığında yer alan çalışmalar da yöntemin başarısını açıkça ortaya koymaktadır. Yöntemin jeofizik ve yerbilimlerindeki uygulama alanlarını özetlemek amacıyla oluşturulan Çizelge 2 sekiz ana başlıktan oluşmaktadır. Yöntem, modelleme/ters çözüm, veri işlem, yorumlama, tahmin/ön kestirim, parametre tayini, jeostatistiksel analiz, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)/Uzaktan Algılama (UA) uygulamaları ve risk analizi gibi amaçlarla birçok çalışmada uygulanmıştır.

Çizelge 2'deki sekiz ana gruptaki çalışmaların uygulama oranlarını elde etmek amacıyla pay diyagramlar oluşturulmuştur (Şekil 4).

Diyagramdan da anlaşılacağı gibi jeofizikte bulanık mantık modelleme/ters çözümde daha yüksek uygulama oranına sahiptir. CBS ve UA uygulamaları, parametre tayini ve tahmin/ön kestirim çalışmaları da yöntemin sıkça uygulandığı alanlardır.

2. DEPREM KATALOG VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dünya üzerindeki jeolojik ve tektonik konumu nedeniyle Türkiye, depremlerin yoğun olarak meydana geldiği ülkelerdendir. Özellikle Batı Anadolu'daki açılma tektoniğinin etkisiyle oluşan graben sistemleri depremsellik açısından oldukça aktiftir. Türkiye Deprem Bölgeleri arasında Batı Anadolu birinci derece deprem kuşağının içinde yer almaktadır. 1900'lü yılların başından itibaren "Aleysel Dönem" olarak adlandırılan ve günümüze kadar uzanan dönem içinde Batı Anadolu'da çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin bazıları bölgede can kaybı ve maddi hasarlara neden olmuştur. Son yüzyılda meydana gelen depremler içerisinde en büyük deprem 31 Mart 1928 tarihli 6,5 büyüklüğündeki Torbalı depremidir. Bu deprem çok geniş bir alanda etki yapmış, 2000'den fazla ev yıkılmış ya da hasar görmüştür. İzmir güneyinde meydana gelmiş olan 6 Kasım 1992 depreminin büyüklüğü ise 6,0'dır. 2003 yılında meydana gelmiş olan 5,7 büyüklüğündeki Urla depremi ise Seferihisar 'da az hasara yol açmıştır. Bölgede yakın zamanda meydana gelen büyüklükleri 5,7- 5,9 ve 5,6 olan Sığacık 2005 depremleri İzmir ve yakın çevresini kuvvetlice etkilemiş, depremlerde can kaybı olmamış ancak bazı binalarda çatlama şeklinde hasarların geliştiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada Batı Anadolu da 37°-39.30° kuzey enlemleri ile 26°-29.30° doğu boylamları arasında kalan bölgede 1975 ve 2012 yılları arasında meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 3$ olan depremler seçilmiştir. Belirtilen yıllarda bölgede 3 ve 3 ten büyük 12441 deprem meydana geldiği gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan depremler Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS) kurumunun internet sayfasından alınmıştır. Çalışma alanı ve meydana gelen depremler Şekil 5'de gösterilmektedir. Bölgede oluşan bu depremlerin haftalık frekansları hesaplanarak bulanık mantık ile değerlendirilmiştir. Her hafta meydana gelen deprem sayıları toplanarak deprem frekans veri seti oluşturulmuştur. Frekans değerleri Şekil 7'de gösterilmektedir.

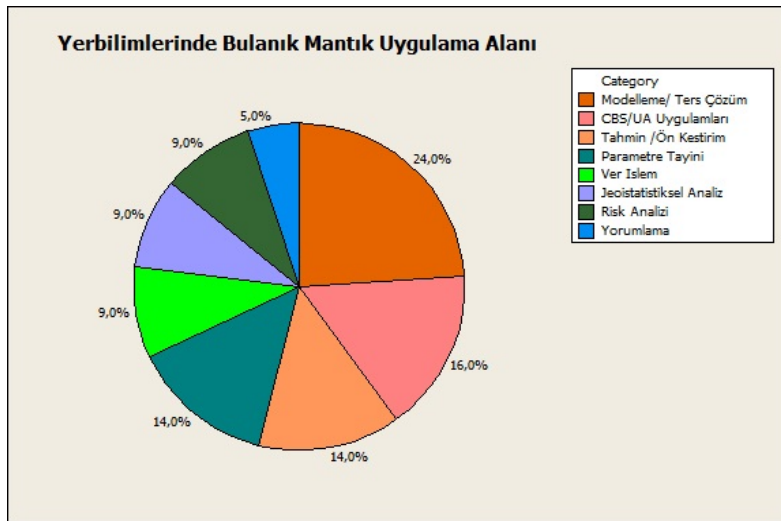
2005 yılı ekim ayında İzmir yakınlarında yaşanan büyük depremler nedeniyle oluşan öncü ve artçı depremler o haftaya ait frekans değerinin yüksek olarak saptanmasına neden olmuştur. Tüm veri setinden % 25 oranında eşit aralıklarla 444 haftalık frekans değeri çıkarılmıştır. Böylece eğitim seti 1332 haftalık frekans değerinden meydana gelmektedir. İlk iki frekans değeri girdi, takip eden üçüncü frekans çıktı olacak şekilde birer adım kaydırılarak eğitim seti girdi ve çıktı dosyaları oluşturulmuştur. Şekil 6'da girdi ve çıktı dosyalarının oluşturulma aşaması gösterilmektedir Tüm veri seti ise test amacıyla kullanılmıştır. UYBCS kullanılarak deprem haftalık frekans ön kestirimi yapılmıştır.

Çizelge 2. Bulanık mantığın yerbilimlerdeki kullanım alanları

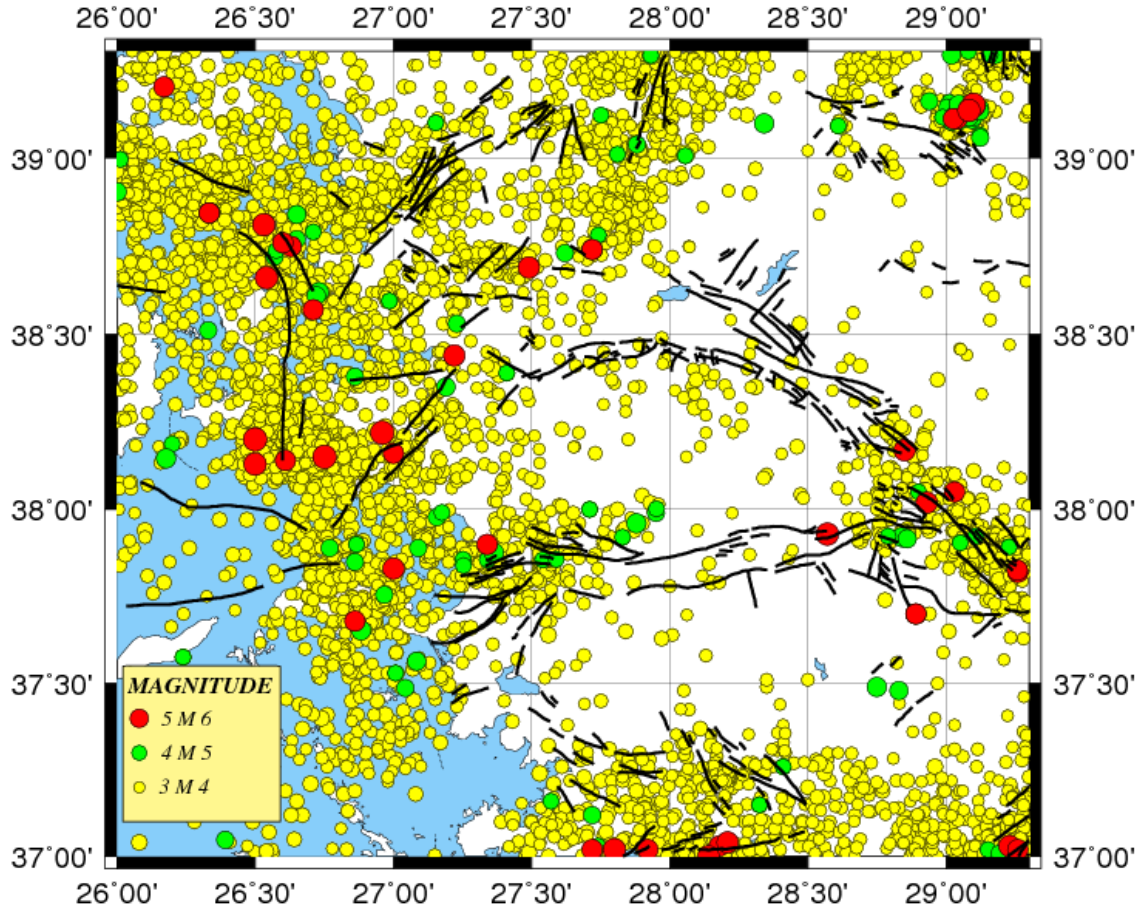
Modelleme/ Ters Çözüm	Veri İşlem	Yorumlama	Tahmin /Ön Kestirim	Parametre Tayini	Jeoistatistiksel analiz	CBS/UA Uygulamala rı	Risk analizi
Hidrojeolojik modelleme (Piotrowski, 1997)	UA verilerinin analizi	Sondaj verilerinin yorumlanması	Deprem büyüklüğü ve eşdeprem şiddet arasında ilişki tahmini	Sismik parametrelerin tayini	Kümeleme prob. (Bezdek vd., 1984)	Coğrafik uygulamalar (Robinson, 1990; Boroushaki ve Malczewski, 2010)	Sismik risk çalışmaları (Choi vd., 2005)
3D stratigrafik modelleme (Nordlund, 1999; Demicco ve Klir, 2001)	Petrol verilerinin değerlendirilmesi (Nikravesh ve Aminzadeh, 2001)	Sismik kırılma verilerinin jeolojik yorumlanması (Klose, 2002)	Atık alanları belirlenmesi	Petrografik verilerden porozite tayini (Ali ve Chawathe, 2000)	Düşük magnitudlü depremlerin sınıflandırılması	Zemin örtüsünün UA verileriyle belirlenmesi (Foody, 2000, McBratney vd, 2003)	Sıvılaşma riski analizi (Rahman ve Zahaby, 1997)
Petrol/Gaz rezervuar karakterizasyonu (Sahimi, 2000; Ouenes 2000; Nikravesh ve Aminzadeh, 2001; Zellou ve Ouenes, 2003; Shyllon vd., 2001; Wong ve Boerner, 2004; Aminzadeh, 2005; Helmy vd., 2010; Gholami ve Mohaghegh, 2011; Anifowose ve Abdulraheem, 2011)	Hidrojeolojik zaman verilerin analizi (Nayak vd., 2004)	Biostratigrafik yorumlama (Wakefield vd., 2003)	Maden jeolojisi çalışmalarında	Porozite tayini (Batyrsin vd., 2005; Tütmez ve Hatipoğlu, 2007)	3B sismik ve üretim-logu verilerinin sınıflandırılması	Zemin örtüsündeki tuz tipinin belirlenmesinde (Metternicht, 2003)	Petrol aramacılığında risk analizi (Roisenberg vd., 2009)
Hidrokarbon rezervuarlarının modellenmesi (Shyllon vd., 2001)	Maden aramacılığında verilerin analizi (Luo ve Dimitrakopoulos, 2003)	Maden aramacılığı (Ataei vd., 2009)	Hidrojeolojik seviyelerin ön kestirimi (Luchetta ve Mannetti, 2003; Grandjean vd., 2009)	Rezervuar özelliklerinin belirlenmesi (Jim, 2005)	Kuyu logu verilerinin değerlendirilmesi (Li ve Anderson, 2006)	UA verileri ile zemin tuzluluğunun belirlenmesi (Metternicht ve Zinck, 2003)	Binalardaki deprem hasar analizi (Alvanitopoulos vd., 2010)
Stratigrafik ve sedimentolojik modelleme	Elektrik-özdirenç verilerin analizi (Zlotnick vd., 2005)		Petrol aramacılığı (Tounsi, 2005; Finol vd., 2001; Gökçeoğlu, 2002)	Petrofizik veriler yardımıyla sismik hızların tayini (Rezaee vd., 2007)	Eksik veri problemleri (Henley, 2006)	CBS verileri ile yapay yeraltı su deposu yerlerinin belirlenmesi (Ghayoumian vd., 2006)	Deprem konumu belirleme çalışmaları (Bodur ve Gökalp, 2011)
Kuyu logu verilerinden litolojinin elde edilmesi (Hsieh vd., 2005)	Sismik veri işlem (Marano vd., 2010)		Tenör tahmini (Tütmez, 2007; Tahmasebi ve Hezarkhani, 2012)	Isı iletim katsayısının belirlenmesi (Singha vd., 2007)	Yükseklik verilerinin sınıflandırılması la morfolojinin belirlenmesi (Arrell vd., 2007)	UA ile tuzdan etkilenmiş zeminlerin belirlenmesi (Farifteh vd., 2006)	Zemin çökme riski analizi (Park vd., 2012)

Çizelge 2 Devam Bulanık mantığın yerbilimlerindeki kullanım alanları

Modelleme/ Ters Çözüm	Veri İşlem	Tahmin /Ön Kestirim	Parametre Tayini	Jeoistatistiksel analiz	CBS/UA Uygulamaları
Jeoelektrik modelleme (Tütmez vd., 2006)	Kuyu logu verilerinin analizi (Singh, 2011)	Gürültü etkilerinin ön kestirimi (Duru vd., 2008)	Kuyu logu verilerinin yardımıyla sismik hızların belirlenmesi (Rajabi vd., 2010) Sismik hızların belirlenmesi (Hibert vd., 2010)	Zemin sınıflandırması	Heyelan duyarlılığı haritalaması (Regmi vd., 2010; Vahidnia vd., 2010; Oh ve Pradhan, 2011; Akgün vd., 2012)
Heyelan alanı modellemesi (Acar vd., 2008; Aksoy ve Ercanoğlu, 2012)		Sismik attribute yardımıyla petrofizik verilerin tahmini (Kadkhodaie vd., 2009)	GIS verileri ile toprak örtüsü kalınlığı tayini (Frances ve Lubczynski, 2011)	Jeofizik verilerinin değerlendirilmesi	CBS yardımıyla depremden etkilenecek heyelan alanlarının modellemesi (Miles ve Keefer, 2009)
Yeraltının 3B yapısı (Schmutz vd., 2009)		Kaya şev stabilitesi	PVT tahmini (El-Sebakhy, 2009; Olatunji vd., 2011, Khoukhi, 2012)	Sınıflandırma çalışmaları (Dubois vd., 2007)	Toprak örtüsü kalınlığı (Frances ve Lubczynski, 2011)
CBS yardımıyla depremden etkilenecek heyelan alanlarının modellemesi (Miles ve Keefer, 2009)		YASS tahmini			Erozyon duyarlılığı haritalaması
Kömür flotasyonunda dane boyutunun etkisi		Permabilitenin belirlenmesi (Olatunji vd., 2011, Tahmasebi ve Hezarkhani, 2012))			
Gravite modellemesi (Sinha vd., 2010)		Deprem mühendisliği çalışmaları, Chongfu ve Leung, 1999 Chen vd., 2009,			
Geotermal modelleme (Duan vd., 2011)					



Şekil 4. Bulanık mantığın Jeofizikte kullanım alanları ve oranları

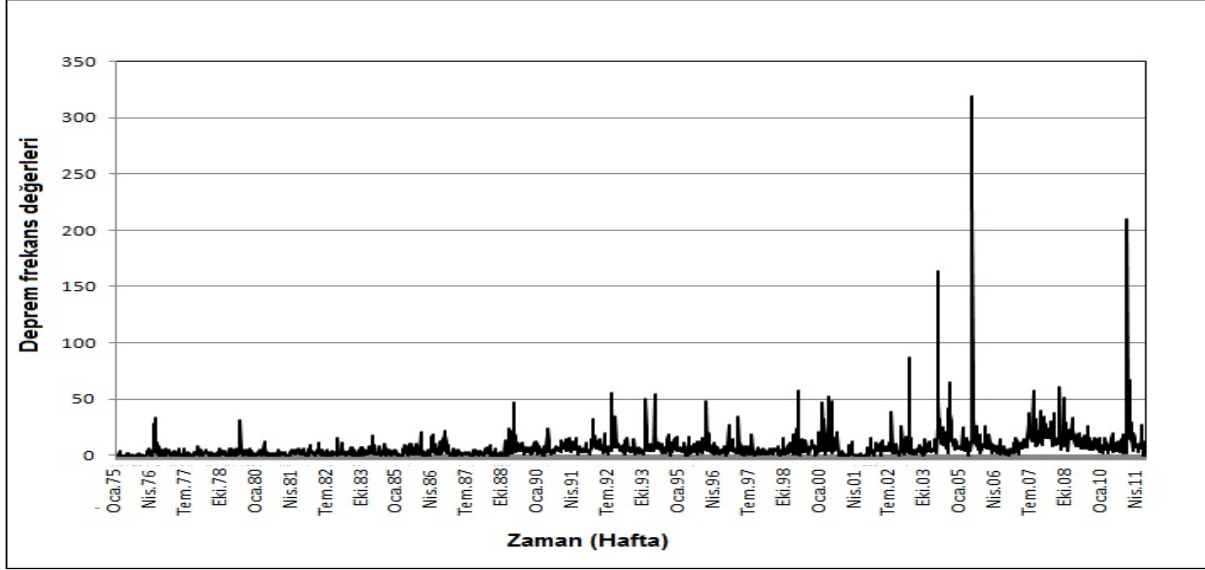


Şekil 5. Çalışma alanı ve 1975-2012 yılları arasında meydana gelen depremler

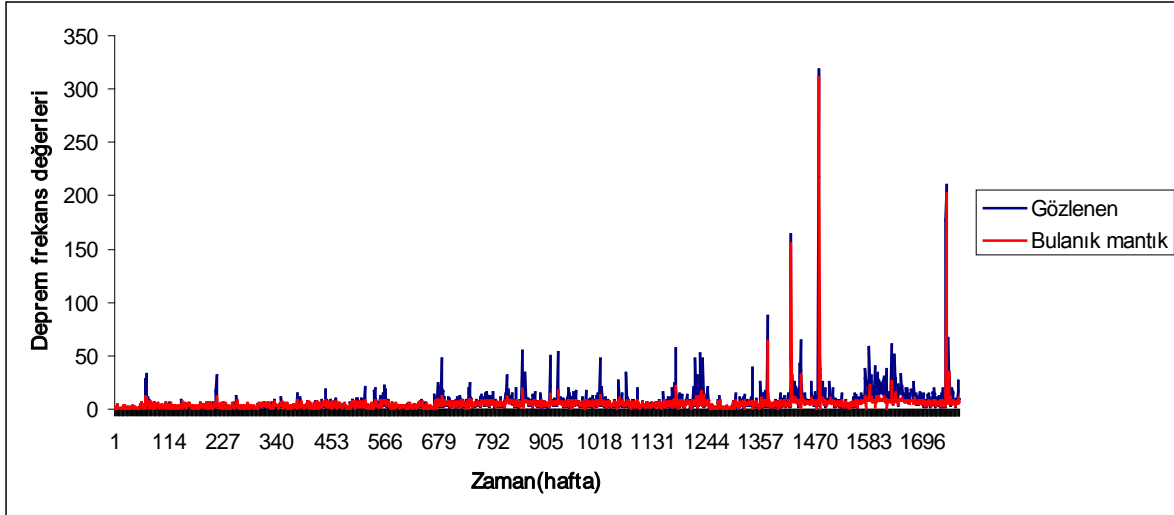


Şekil 6. Girdi ve çıktı dosyalarının oluşturulması

Çeşitli üyelik fonksiyonları denenmiş ve en iyi sonuç genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu (generalized bell, gbell) ile elde edilmiştir. UYBÇS test sonucu kırmızı çizgi ile haftalık frekans değerleri ise lacivert çizgiyle Şekil 8 'de görülmektedir. Gözlenen haftalık frekans değerleri ve UYBÇS sonucu arasındaki ilinti katsayısı 0.49, ortalama karesel hata ise 13.1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Haftalık frekans değerleri



Şekil 8. Deprem haftalık frekans UYBÇS test sonucu

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, son yıllarda çeşitli alanda uygulama alanı olan Bulanık Mantığın yerbilimleri özellikle jeofizikteki uygulama alanları derlenmiştir. Bu amaçla SCI/SCI Expanded kapsamındaki çalışmalar araştırılmış ve bulanık mantığın kullanım amacına göre sınıflara ayrılmıştır. Ters çözüm, modelleme, ön kestirim, parametre tayini, risk analizi gibi alanlarda uygulanabilir olduğu ve birçok araştırmacının çalışmalarında yer verdiği gözlenmiştir. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama alanında da çalışmalar mevcuttur. Çalışmanın ikinci aşamasında bulanık mantık yöntemi Batı Anadolu deprem katalog verilerine uygulanmıştır. Katalog verileri haftalık frekans seti olarak düzenlenmiş ve UYBÇS ile değerlendirilmiştir. Böylece bölgede bir hafta içinde meydana gelebilecek büyüklüğü 3 ve üzerinde olan toplam deprem sayısının saptanması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuç incelendiğinde UYBÇS ön kestirim ve deprem haftalık frekans verilerinin arasındaki ilinti katsayısı 0.49, ortalama karesel hata ise 13.1 olarak bulunmuştur. Böylece yöntemin bu amaçla kullanılabileceği gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bulanık Mantık ve UYBÇS uygulamaları ile ilgili değerli yardımları için fakültemiz Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL 'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Acar M., Haberler W. M., Ayan T. (2008): "Bulanık Çıkarım Sistemler ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi: Gürpınar Örneği", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Cilt 1/98.
- Akgün A., Sezer E. A., Nefeslioğlu H. A., Gökçeoğlu C., Pradhan B. (2012): "An Easy-to-Use MATLAB Program (MamLand) for the Assessment of Landslide Susceptibility Using a Mamdani Fuzzy Algorithm", Computers and Geosciences, Cilt 38, s.23-34.
- Aksoy B., Ercanoğlu M. (2012): "Landslide Identification and Classification by Object-Based Image Analysis and Fuzzy Logic: An Example From the Azdavay Region (Kastamonu, Turkey)", Computers and Geosciences, Cilt 38, s.87-98.
- Ali M., Chawathe A. (2000): "Using Artificial Intelligence to Predict Permeability From Petrographic Data", Computers and Geosciences, Cilt 26, s.915-925.
- Alvanitopoulos P. F., Andreadis I., Elenas A. (2010): "Neuro-Fuzzy Techniques for the Classification of Earthquake Damages in Buildings", Measurement, Cilt 43, s.797-809.
- Aminzadeh F. (2005): "Applications of AI and Soft Computing for Challenging Problems in the Oil Industry", Journal of Petroleum Science and Engineering, Cilt 47, s.5-14.
- Anifowose F., Abdulraheem A. (2011): "Fuzzy Logic-Driven and SVM-Driven Hybrid Computational Intelligence Models Applied to Oil and Gas Reservoir Characterization", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Cilt 3, s.505-517.
- Arrell K. E., Fisher P. F., Tate N. J., Bastin L. (2007): "A Fuzzy C-Means Classification of Elevation Derivatives to Extract the Morphometric Classification of Landforms in Snowdonia, Wales", Computers and Geosciences, Cilt 33, s.1366-1381.
- Ataei M., Khalokakaei R., Hossieni M. (2009): "Determination of Coal Mine Mechanization Using Fuzzy Logic", Mining Science and Technology, Cilt 19, s.0149-0154.
- Batyrshin I., Sheremetov L., Markov M., Panova A. (2005): "Hybrid Method for Porosity Classification in Carbonate Formations", Journal of Petroleum Science and Engineering, Cilt 47, s.35-50.
- Baykal N., Beyan T. (2004): "Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler", Bıçaklar Kitabevi, Yayın No:10.
- Bezdek J. C., Ehrlich R., Full W. (1984): "FCM: The Fuzzy C-Means Clustering Algorithm", Computer and Geoscience Volume, Cilt 10, s.191-203.
- Bodur K., Gökalp H. (2011): "Deprem Konumlarının Belirlenmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 ekim 2011, Odtü, Ankara.
- Brown C. B., (1985): "The Use of Fuzzy Sets in Seismic Engineering in the USA", In: Feng, D. Y., and Liu, X. H. (eds.), Fuzzy Mathematics in Earthquake Researches, Seismological Press, Beijing, s.2-7.
- Choi K., Cho W., Kim D., Lee I. (2005): "Active Control for Seismic Response Reduction Using Modal-Fuzzy Approach", International Journal of Solids and Structures, Cilt 42, s.779-794.
- Demicco R. V., Klir G. (2001): "Stratigraphic Simulations Using Fuzzy Logic to Model Sediment Dispersal", Journal of Petroleum Science and Engineering, Cilt 31, s.135-155.

- Duan Z., Pang Z., Wang X. (2011): "Sustainability Evaluation of Limestone Geothermal Reservoirs with Extended Production Histories in Beijing and Tianjin, China" *Geothermics*, Cilt 40, s.125–135.
- Dubois M. K., Bohling G. C., Chakrabarti S. (2007): "Comparison of Four Approaches to a Rock Facies Classification Problem", *Computers and Geosciences*, Cilt 33, s.599–617.
- Duru N., Kurtulmuş C., Canbay M. (2008): "Gürültü Etkilerinin Bulanık Mantık Temelli Bir Yöntemle Analizi", *Uygulamalı Yerbilimleri*, Cilt 2, (Ekim- Kasım 2008).
- El-Sebakhy E. A. (2009): "Data Mining in Forecasting PVT Correlations of Crude Oil Systems Based on Type1 Fuzzy Logic Inference Systems", *Computers and Geosciences*, Cilt 35, s.1817–1826.
- Farifteh, J., Farshad, T. A., George, R.J., (2006): " Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling and geophysics", *Geoderma*, Cilt130, s. 191–206.
- Feng D. Y., Lou S. B., Lin M. Z., Gu J. P., Zhong T. J., Chen H. C. (1982): "Application of Fuzzy Mathematics in Evaluating Earthquake Intensity", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Cilt 2, Sayı 3, s.16–28.
- Finol J., Guo Y. K., Jing X. D. (2001): "A Rule Based Fuzzy Model for the Prediction of Petrophysical Rock Parameters", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 29, s.97-113.
- Foody G. M. (2000): "Estimation of Sub-Pixel Land Cover Composition in the Presence of Untrained Classes", *Computers and Geosciences*, Cilt 26, s.469-478.
- Frances A. P., Lubczynski M. V. (2011): "Topsoil Thickness Prediction at the Catchment Scale by Integration of Invasive Sampling, Surface Geophysics, Remote Sensing And Statistical Modeling", *Journal of Hydrology*, Cilt 405, s.31–47.
- Ghayoumian J., Saravi M. M., Feiznia S., Nouri B., Malekian A. (2006): "Application of GIS Techniques to Determine Areas Most Suitable for Artificial Groundwater Recharge in a Coastal Aquifer in Southern Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* Cilt 30, s.364–374.
- Gholami V., Mohaghegh S. D. (2011): "Fuzzy Upscaling in Reservoir Simulation: An Improved Alternative to Conventional Techniques", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Cilt 3, s.706-715.
- Gökçeoğlu C. (2002): "A Fuzzy Triangular Chart to Predict the Uniaxial Compressive Strength of the Ankara Agglomerates from Their Petrographic Composition", *Engineering Geology*, Cilt 66, s.39–51.
- Grandjean G., Hibert C., Mathieu F., Emilie G., Malet J. P. (2009): "Monitoring Water Flow in a Clay-Shale Hillslope from Geophysical Data Fusion Based on a Fuzzy Logic Approach", *C. R. Geoscience*, Cilt 341, s.937–948.
- Helmy T., Fatai A., Faisal K. (2010): "Hybrid Computational Models for the Characterization of Oil and Gas Reservoirs", *Expert Systems with Applications*, Cilt 37, s.5353–5363.
- Henley S. (2006): "The Problem of Missing Data in Geoscience Databases", *Computers and Geosciences*, Cilt 32, s.1368–1377.
- Hibert C., Grandjean G., Bitri A., Travelletti J., Malet J. P. (2012): " Characterizing Landslides Through Geophysical Data Fusion: Example of the La Valette Landslide (France)", *Engineering Geology*, Cilt 128, s.23–29.
- Hsieh B., Lewis C., Lin Z. (2005): "Lithology Identification of Aquifers from Geophysical Well Logs and fuzzy Logic Analysis: Shui-Lin Area, Taiwan", *Computers and Geosciences*, Cilt 31, s.263–275.
- Jim J. (2005): "Reservoir Properties Determination Using Fuzzy Logic and Neural Networks from Well Data in Offshore Korea", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 49, s.182–192.

- Khoukhi A. (2012): “Hybrid Soft Computing Systems for Reservoir PVT Properties Prediction”, *Computers and Geosciences*, Cilt 44, s.109–119.
- Klose C. D. (2002): “Fuzzy Rule-Based Expert System for Short-Range Seismic Prediction”, *Computers and Geosciences*, Cilt 28, s.377–386.
- Li Y., Anderson S. R. (2006): “Facies Identification from Well Logs: A Comparison of Discriminant Analysis and Naïve Bayes Classifier”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 53, s 149–157.
- Luchetta A., Manetti S. (2003): “ A Real Time Hydrological Forecasting System Using a Fuzzy Clustering Approach”, *Computers and Geosciences*, Cilt 29, s.1111–1117.
- Luo X., Dimitrakopoulos R. (2003): “ Data-Driven Fuzzy Analysis in Quantitative Mineral Resource Assessment”, *Computers and Geosciences*, Cilt 29, s.3-13.
- Marano G. C., Morrone E., Sgobba S., Chakraborty S. (2010): “ A fuzzy Random Approach of Stochastic Seismic Response Spectrum Analysis”, *Engineering Structures*, Cilt 32, s.3879–3887.
- McBratney A. B., Mendonça S. M. L., Minasny B. (2003): “On Digital Soil Mapping”, *Geoderma*, Cilt 117, s.3–52.
- Metternicht G. I., Zinck J. A. (2003): “Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints”, *Remote Sensing of Environment*, Cilt 85, s.1 –20.
- Miles S. B., Keefer D. K. (2009): “Evaluation of CAMEL-Comprehensive Areal Model of Earthquake-Induced Landslides”, *Engineering Geology*, Cilt 104, s.1-15.
- Nayak P. C., Sudheer K. P., Rangan D. M., Ramasastri K. S. (2004): “A Neuro-Fuzzy Computing Technique for Modeling Hydrological Time Series”, *Journal of Hydrology*, Cilt 291, s.52–66.
- Nikravesh M., Aminzadeh F. (2001): “Mining and Fusion of Petroleum Data with Fuzzy Logic and Neural Network Agents”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 29, s.221 238.
- Nordlund U. (1999): “FUZZIM: Forward Stratigraphic Modeling Made Simple”, *Computers and Geosciences*, Cilt 25, s.449-456.
- Oh J., Pradhan B. (2011): “Application of a Neuro-Fuzzy Model to Landslide-Susceptibility Mapping for Shallow Landslides in a Tropical Hilly Area”, *Computers and Geosciences*, Cilt 37, s.264–1276.
- Olatunji S. O., Selamat A, Abdulraheem A. (2011): “Modeling the Permeability of Carbonate Reservoir Using Type-2 Fuzzy Logic Systems”, *Computers in Industry*, Cilt 62, s.147–163.
- Ouenes A. (2000): “Practical Application of Fuzzy Logic and Neural Networks to Fractured Reservoir Characterization”, *Computers and Geosciences*, Cilt 26, s. 953-962.
- Park I., Choi J., Lee M. J., Lee. S. (2012): “Application of An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Ground Subsidence Hazard Mapping”, *Computers and Geosciences*, Cilt 48, s.228-238
- Piotrowsky J. A. (1997): “Subglacial Hydrology in North-Western Germany During the Last Glaciation: Groundwater Flow, Tunnel Valleys and Hydrological Cycles”, *Quaternary Science Reviews*, Cilt. 16, s.169-185.
- Rahman M. S., Zahaby K. M. E. (1997): “Probabilistic Liquefaction Risk Analysis Including Fuzzy Variables”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Cilt 16, s.63- 79.
- Rajabi M., Bohloli B., Ahangar E. G. (2010): “Intelligent Approaches for Prediction of Compressional, Shear and Stoneley Wave Velocities from Conventional Well Log Data: A Case Study from the Sarvak Carbonate Reservoir in the Abadan Plain (Southwestern Iran)”, *Computers and Geosciences*, Cilt 36, s.647–664.

- Rezaee M. R., Kadkhodaie I. A., Barabadi A. (2007): "Prediction of Shear Wave Velocity from Petrophysical Data Utilizing Intelligent Systems: An Example from a Sandstone Reservoir of Carnarvon Basin, Australia", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 55, s. 201–212.
- Regmi N. R., Giardino J. R., Vitek J. D. (2010): "Assessing Susceptibility to Landslides: Using Models to Understand Observed Changes in Slopes", *Geomorphology*, Cilt 122, s.25–38.
- Robinson V. R. (1990): "Interactive Machine Acquisition of a Fuzzy Spatial Relation", *Computer and Geoscience*, Cilt 16, s.857-872.
- Roisenberg M., Schoeninger C., Rodrigues S. R. (2009): "A Hybrid Fuzzy-Probabilistic System for Risk Analysis in Petroleum Exploration Prospects", *Expert Systems with Applications*, Cilt 36, s.6282–6294.
- Quenes A. (2000): "Practical Application of Fuzzy Logic and Neural Networks to Fractured Reservoir Characterization", *Computer and Geoscience*, Cilt 26, s.953-962.
- Sahimi M. (2000): "Fractal-Wavelet Neural-Network Approach to Characterization and Upscaling of Fractured Reservoirs", *Computers and Geosciences*, Cilt 26, s.877-905
- Schmutz M., Guerin R., Andrieux P., Maquaire O. (2009): "Determination of the 3D Structure of An Earthflow by Geophysical Methods: The case of Super Sauze, in the French southern Alps", *Journal of Applied Geophysics*, Cilt 68, s.500–507.
- Shyllon E. A., Olaleye J. B., Olunloyo V. O. S. (2001): "Litho-Seismic Data Handling for hydrocarbon Reservoir Estimate: Fuzzy System Modelling Approach", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 31, s.165–173.
- Singha T. N., Sinha S., Singh V. K. (2007): "Prediction of Thermal Conductivity of Rock Through Physico-Mechanical Properties", *Building and Environment*, Cilt 42, s.146–155.
- Singh U. K. (2011): "Fuzzy Inference System for Identification of Geological Stratigraphy off Prydz Bay, East Antarctica", *Journal of Applied Geophysics*, Cilt 75, s.687–698.
- Sinha M., Gopinath N. S., Malik N. K. (2010): "Lunar Gravity Field Modeling Critical Analysis and Challenges", *Advances in Space Research*, Cilt 45, s.322–349.
- Tahmasebi P., Hezarkhani A. (2012): "A fast and Independent Architecture of Artificial Neural Network for Permeability Prediction", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 86–87, s.118–126.
- Tahmasebi P., Hezarkhani A. (2012): "A Hybrid Neural Networks-Fuzzy Logic-Genetic Algorithm for Grade Estimation", *Computers and Geosciences*, Cilt 42, s.18-27.
- Tounsi M. (2005): "An Approximate Reasoning Based Technique for Oil Assessment", *Expert Systems with Applications*, Cilt 29, s.485–491.
- Tütmez B. (2007): "An Uncertainty Oriented Fuzzy Methodology for Grade Estimation", *Computers and Geosciences*, Cilt 33, s.280–288.
- Tütmez B., Hatipoğlu Z., Kaymak U. (2006): "Modelling Electrical Conductivity of Groundwater Using An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", *Computers and Geosciences*, Cilt 32, s.421-433.
- Tütmez B., Hatipoğlu Z. (2007): "Spatial Estimation Model of Porosity", *Computers and Geosciences*, Cilt 33, s.465–475.
- Vahidnia M., Alesheikh A. A., Alimohammadi A., Hosseinali F. (2010): "A GIS-Based Neuro-Fuzzy Procedure for Integrating Knowledge and Data in Landslide Susceptibility Mapping", *Computers and Geosciences*, Cilt 36, s.1101–1114.
- Wakefield M. I., Cook R. J., Jackson H., Thompson P. (2003): "Interpreting Biostratigraphical Data Using Fuzzy Logic: the Identification of Regional Mudstones within the Fleming Field, UK North Sea", *Developments in Petroleum Science*, Cilt 51, Bölüm 24.

- Wong P., Boerner S. (2004): “Ranking Geological Drivers in Reservoir Problems: A Comparison Study”, Computers and Geosciences, Cilt 30, s.91–100.
- Yılmaz M., Arslan E. (2005): “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ-İstanbul.
- Zellou A. M., Ouenes A. (2003): “Integrated Fractured Reservoir Characterization Using Neural Networks and Fuzzy Logic: Three Case Studies”, Developments in Petroleum Science, Cilt 51, Bölüm 26.