

EGE BÖLGESİNDEKİ YERKABUĞU HAREKET HIZLARININ BULANIK UYARLAMALI AĞ YAKLAŞIMI ile KESTİRİMİ

Nuray GÜNERİ TOSUNOĞLU*, Ayşen APAYDIN

*Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Bilgisayar Uygulamaları Eğitimi Bölümü Ankara, ngunerit@gazi.edu.tr
Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü Ankara, Aysen.Apaydin@science.ankara.edu.tr

Geliş Tarihi: 06.02.2009

Kabul Tarihi: 04.08.2009

ÖZET

Yerkabuğu hareket hızlarının bilinmesi, herhangi bir bölgede depreme yol açacak enerji birikiminin kaç yılda oluşacağı hakkında bilgi verecektir. Bu nedenle yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi ve hızlardaki değişimin gözlemlenmesi deprem çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Deprem bölgelerinde oluşan yerkabuğu hareketleri jeodezik deformasyon ağlarının kurulması ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, jeodezik deformasyon ağları tarafından belirlenmiş yerkabuğu hareket hızlarına ilişkin ölçüm değerleri temel alınarak, gözlenmemiş diğer koordinatlarda hız değerinin kestirimi amaçlanmıştır. Çalışma alanı Ege Bölgesi ve çevresini kapsayan bölge ile sınırlandırılmıştır. Kestirim için bulanık uyarlamalı ağ yaklaşımı kullanılmıştır. Uygulama için yerkabuğu hareket hızlarının küresel konumları ile birlikte ölçümlerine ilişkin gerçek verilerden yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yerkabuğu hareket hızları, bulanık uyarlamalı ağ, mekansal kestirim.*

PREDICTION of CRUSTAL MOTION VELOCITIES in AEGEAN REGION by the FUZZY ADAPTIVE NETWORK APPROACH

ABSTRACT

Knowing crustal motion velocities gives information about how many years the energy accumulation -that will cause earthquake- will take form in specific region. Thus, it is very crucial to follow crustal motions and to observe variations in velocities. The Earth's Crustal movements are determined by geodetic deformation networks. In this study, it was aimed to predict velocity values at unobserved coordinates based on the measurement values that had been determined by the geodetic deformation networks regarding the crustal motion velocities. Study area was limited to Aegean and the vicinity of Aegean. It was used the fuzzy adaptive network approach for the prediction Real data as regards the crustal motion velocities is used in the application part of the study.

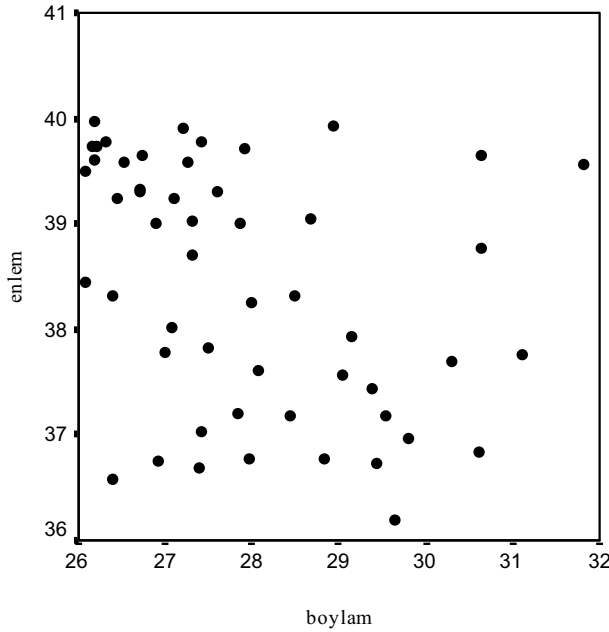
Key Words: *Crustal motion velocities, fuzzy adaptive network, spatial prediction.*

1. GİRİŞ

Herhangi bir bölgede deprem olma ihtimalini en güvenilir şekilde tahmin edebilecek modeller geliştirmek deprem çalışmalarının amaçlarından biridir. Yerkabuğu hareketlerinin araştırılması depremle ilgili çalışmalar arasında yer almaktadır. Yerkabuğunu oluşturan okyanus ve kıta parçalarına levha denilmektedir. Levha tektoniği teorisine göre yerkabuğu birkaç parçadan oluşmakta ve levhalar birbirine göre hareket etmektedir. Yerkabuğundaki levhaların hareketi, stresi kritik noktaya çıkarttığında kaya aniden kırılacak ve sonra yeni bir konuma yerleşip sessizleşecektir. Fayın bu bölümünde en son kırılmanın yani depremin ne zaman olduğuna ve gerçekleşen yeni depremin ne kadar stres boşalttığına bakılarak yılda ne kadar stres biriktiğini ölçmek mümkün olabilmektedir. Böylece bir sonraki depremi oluşturacak büyüklükteki stresin birikmesi için geçecek zaman tahmin edilerek depremin ne zaman olabileceği hakkında bir bilgi edinilebilecektir [1]. Bu nedenle yerkabuğunun hareket hızlarındaki değişimin gözlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yerkabuğu hareketlerinin belirlenebilmesi için jeodezik deformasyon ağlarının kurulması gerekmektedir. Deformasyon ağları tarafından belirlenmiş ölçümlerin kullanılması ile örneklenmemiş noktalarda bilinmeyen hızların belirlenebilmesi için mekansal kestirimden yararlanılmaktadır. Mekansal değişkenlerin aldığı değerler bir çalışma alanının yalnızca örneklenmiş noktalarında bellidir. Örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin hesaplanması gerektiğinde bilinen bu değerlerden yararlanılır. Mekansal değişkenlerin örneklenmemiş bir noktadaki değerinin hesaplanması mekansal kestirim olarak adlandırılmaktadır [2, 3]. Mekansal kestirimde kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Ölçme üzerindeki çevresel etkiler, insan duyularındaki yetersizlikler, ölçme aletlerinden doğan hatalar, verilerin yapısındaki değişim vb. sebeplerden kaynaklanan belirsizliklerin olması durumunda mekansal problemlerin çözümünde farklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerden biri uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemidir.

Bu çalışmada, 36° - 40° enlem ve 26° - 32° boylamları arasında yer alan ve Ege Bölgesi ile çevresini kapsayan alandaki yerkabuğu hareket hızlarının uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi ile kestirimi amaçlanmıştır. Çalışma alanı Şekil 1’de verilmiştir. Ege Bölgesi içindeki diri faylarla Türkiye’de birinci derece deprem bölgesinin sınırları içinde kalmaktadır. Tarihsel süreç içerisinde değerlendirildiğinde şiddetli depremlerin yaşandığı görülen Ege Bölgesi depremsellik yönüyle sürekli tartışılan bir yapıya sahip bulunması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 1. 36° - 40° Enlem ve 26° - 32° Boylamları Arasında Yer Alan ve Ege Bölgesi ile Çevresini Kapsayan Çalışma Alanı

Çalışmanın İkinci Bölümü’nde uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi açıklanacaktır. Üçüncü Bölümde mekansal kestirimde bulanık uyarlamalı ağların kullanımı tanıtılacaktır. Dördüncü Bölümde gerçek veriler üzerinde yapılan uygulama verilerek sonuçlar beşinci bölümde değerlendirilecektir.

2. UYARLAMALI AĞLARA DAYANAN BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ

Bulanık mantık, Lotfi A. Zadeh tarafından tanımlanan, temelleri Aristo Mantığına dayanan ikili mantık sistemine karşı geliştirilen ve günlük hayatta karşılaşılan değişkenlere üyelik dereceleri atayarak olayların hangi oranlarla gerçekleştiğini belirlemeye çalışan bir çoklu mantık sistemidir [4]. Zadeh, “bulanık mantık” veya “bulanık küme teorisi” olarak tanımladığı bu mantık sistemini açıkladığı çalışmasında, insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu belirtmiştir. Bulanık mantıkta kesin değerlere dayanan düşünme yerine yaklaşık düşünme

kullanılmaktadır ve herşey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir. Bu derece üyelik fonksiyonları ile belirlenmektedir. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları bulanık küme teorisinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Problemin içeriğine bağlı olarak değişik formlarda üyelik fonksiyonu seçilebilmektedir [5]. Bulanık mantıkta bilgi; büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir ve bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır. Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir. Bulanık mantık, matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur [6]. Klasik yöntemlere alternatif olarak ortaya atılan bulanık küme teorisi, yöneylem araştırması, işletme, yapay zeka, kontrol kavramı, çeşitli mühendislik uygulamaları ve istatistik başta olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır.

Bulanık çıkarım sistemi, bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık mantık kavramlarına dayanan bir hesaplama sistemidir. Bulanık kural veya genellikle eğer-ise kuralı olarak adlandırılan kural,

$$R_k : \text{Eğer } x \in A_k \text{ ise } y \in B_k, k = 1, 2, \dots, K$$

[1]

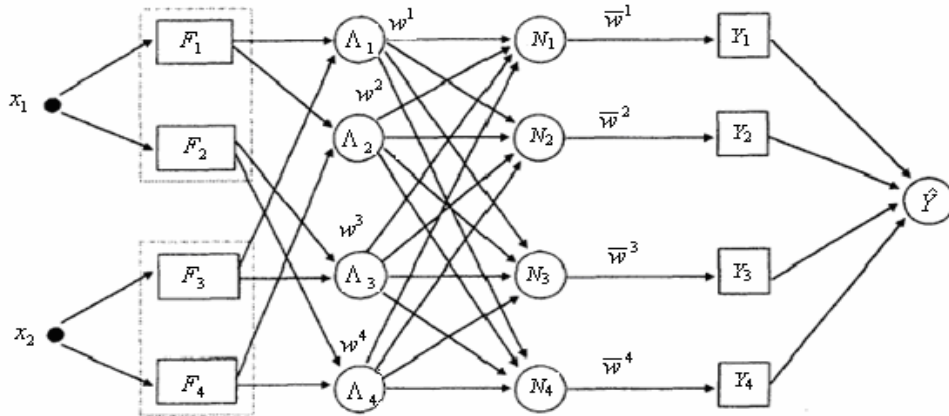
biçimindedir. Burada,

$$\begin{aligned} R_k &: k. \text{ kural,} \\ A_k \text{ ve } B_k &: \text{ üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanmış bulanık kümeler,} \\ x &: \text{ sözel girdi değişkeni,} \\ y &: \text{ sözel çıktı değişkeni,} \end{aligned}$$

dir. Eğer ile ise ifadeleri arasında yer alan ve önsel olarak ifade edilen kısım girdi bilgisini, ise ifadesinden sonra gelen ve sonsal olarak ifade edilen kısım ise çıktı değerlerini göstermektedir [7, 8].

Literatürde kullanılan farklı bulanık çıkarım sistemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada Takagi ve Sugeno (1985) tarafından geliştirilen Takagi-Sugeno (TS) bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır. TS bulanık çıkarım sisteminde, veri tabanındaki girdi değişkenleri birer sayı, bulanık kural sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu biçimindedir [7]. Kestirim modeli, eğer-ise kuralları yardımıyla, girdi değişkenleri ile çıktı değişkeni arasındaki bu fonksiyon ile kurulmaktadır.

Bulanık sinir ağları yaklaşımı, yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğinin olması, en uygunu bulabilme özelliği ve bağlantılı yapılara sahip olması gibi üstünlükleri ile bulanık mantığın insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerinin birleştirilmesi fikrine dayanarak ortaya çıkmıştır. Bu yolla, bulanık denetim sistemlerine, sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, sinir ağlarına da bulanık denetimin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmaktadır [9]. Jang (1993) tarafından ortaya atılan uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi de yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğini kullanarak eğer-ise kuralındaki girdi ve çıktı değişkenleri arasında bir ilişki kurmakta ve bu ilişki yardımıyla bulanık kurallar oluşturulmaktadır [10]. Sistem, yön bağlantıları ile birbirlerine bağlanmış, bir kısmı uyarlamalı sinirlerden oluşan beş tabakalı ileri beslemeli bir ağ olan bulanık çıkarım sistemini göstermektedir. Uyarlamalı sinirler, belirli parametrelere sahip sinirleri göstermektedir. Bu parametrelerin değerleri öğrenme yolu ile belirlenmektedir [10, 11]. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemine eşdeğer olan bulanık uyarlamalı ağ yapısı Şekil 2' de verilmiştir. Şekil 2' de verilen ağ yapısı üzerinden ağın işleyişi aşağıdaki gibidir [7, 12]:



Şekil 2. İki Girişli ve İki Kurallı Bulanık Uyarlamalı Ağın Yapısı

Tabaka 1: Bulanık eğer-ise kurallarına ilişkin bulanık kümeler F_1, F_2, F_3 ve F_4 ile gösterilsin. Bu tabakada yer alan sinirler uyarlamalıdır ve h sinirinin çıktı değeri, F_h 'a ilişkin üyelik fonksiyonu μ_{F_h} olmak üzere,

$$\begin{aligned} f_{1,h} &= \mu_{F_h}(x_1), & h &= 1, 2 \quad \text{için} \\ f_{1,h} &= \mu_{F_h}(x_2), & h &= 3, 4 \quad \text{için} \end{aligned}$$

[2]

olarak tanımlanır.

Tabaka 2: Bu tabakada yer alan her sinir Λ_l ($l = 1, \dots, 4$) ile gösterilir ve sabitlenmiş sinirdir. Bu tabakadaki sinirler, bulanık eğer-ise kuralında verilen bulanık “ve” işleci gibi hareket eder. Her bir sinir, Tabaka 1’ den gelen iki girdi sinyaline sahiptir. Λ_l bu girdi sinyallerinin çarpımı olarak tanımlanır ve bu tabakaya ilişkin sinir fonksiyonları;

$$\begin{aligned} f_{2,1} &= w^1 = \mu_{F_1}(x_1) \cdot \mu_{F_3}(x_2) \\ f_{2,2} &= w^2 = \mu_{F_1}(x_1) \cdot \mu_{F_4}(x_2) \\ f_{2,3} &= w^3 = \mu_{F_2}(x_1) \cdot \mu_{F_3}(x_2) \\ f_{2,4} &= w^4 = \mu_{F_2}(x_1) \cdot \mu_{F_4}(x_2) \end{aligned}$$

[3]

ile ifade edilir.

Tabaka 3: Bu tabakada yer alan sinirler, N_l ($l = 1, \dots, 4$) ile gösterilen sabit sinirlerdir. Bu tabakanın çıktı değeri, Tabaka 2' nin çıktılarının bir normalizasyonudur ve sinir fonksiyonu,

$$f_{3,l} = \bar{w}^l = \frac{w^l}{\sum_{t=1}^m w^t}, \quad l = 1, \dots, 4$$

[4]

olarak tanımlanır.

Tabaka 4: Bu tabakadaki sinirler, sinir fonksiyonu,

$$f_{4,l} = \bar{w}^l \cdot \hat{Y}^l, \quad l = 1, \dots, 4$$

[5]

olan uyarlanmış sinirlerdir. Burada \hat{Y}^l bulanık eğer-ise kuralının sonuç kısmıdır ve

$$\hat{Y}^l = c_0^l + c_1^l x_1 + c_2^l x_2$$

[6]

olarak tanımlanır. Eşitlik 6' da c_i^l katsayıları, $c_i^l = (a_i^l, b_i^l)$ ($i = 0, 1, 2, l = 1, \dots, 4$) biçiminde ifade edilen bulanık sayılardır ve sonsal parametreleri gösterirler.

Tabaka 5: Bu tabakada yer alan tek sinir, girdi sinyallerinin tümünün toplamını alarak genel çıktıyı hesaplayan sabitlenmiş sinirdir ve

$$f_{5,1} = \hat{Y} = \sum_{l=1}^m \bar{w}^l \cdot \hat{Y}^l$$

[7]

biçiminde hesaplanır.

Bulanık uyarlamalı ağın amacı, verilen girdi-çıkı veri çiftleri arasındaki ilişkinin modelini elde etmektir. Bu istenilen model, bir öğrenme algoritması tarafından elde edilir. Bulanık uyarlamalı ağın eğitiminde, önsel ve sonsal parametrelerin eğitimi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Önsel parametrelerin eğitimi için geri yayılma, sonsal parametrelerin eğitimi için ise olasılık doğrusal programlama kullanılabilir [7, 13, 14]. Ağdan elde edilen modele ilişkin çıktı ile hedeflenen çıktı arasındaki fark hata ölçüsü olarak tanımlanır. Bu hata ölçüsü, önceden tanımlanmış olan kabul edilebilir küçük bir hatadan daha küçük olduğunda ağın eğitimi sonlanır.

3. MEKANSAL KESTİRİMDE UYARLAMALI AĞLARA DAYANAN BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ

Deprem tehlikesi oluşturacak aktif fayların sismik özelliklerinin belirlenmesi, sınırlı gözlem ve ölçümlere dayanarak yapılabilmektedir. Fayların yerkabuğu derinliklerindeki kısımlarının gözlenmesi ve yüzeyden ölçümler alınması için yeterli teknoloji üretilememiştir. Yapılan ölçümlerde pek çok belirsizlik vardır [15, 16]. Bu bilgiler ışığında yerkabuğu hareket hızlarına ilişkin ölçümlerde bulanıklığın söz konusu olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada yerkabuğu hareket hızlarının kestiriminde uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.

Uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi ile kestirimde ilk olarak çalışma alanı bulanıklaştırılır. Çalışma alanı, boylam ve enlem değerlerinin kümesinin, uygun bir bulanık kümeleme analizinden yararlanılarak

alt kümelere ayrılması ile bulanıklaştırılabilmektedir. Kümeleme analizinin genel amacı örneklem içerisindeki verileri benzerliklerine göre alt sınıflara ayırarak açıklamaktır. Aynı sınıflarda yer alan veriler benzerken, farklı sınıflarda yer alan veriler birbirinden olabildiğince farklıdır [17]. Kümeleme yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan algoritmalar, kesin c -ortalamaya dayalı kümeleme, bulanık c -ortalamaya dayalı kümeleme ve çıkarımlı kümeleme algoritmalarıdır. Bu çalışmada, kümeleme yöntemleri içerisinde çıkarımlı kümeleme algoritması seçilmiştir.

Çıkarımlı kümeleme algoritması girdi-çıkı değişkenlerinden sınıf merkezlerinin belirlenmesini sağlayan bir algoritmadır. Sınıf merkezlerinin sayısı bulanık kuralların sayısına karşılık gelmektedir [18, 19, 20]. Kümeleme algoritması, en yüksek sayıda komşuluğa sahip olan noktanın, bir küme için merkez olarak seçilmesiyle başlar. N adet verinin normalize edilmesinden sonra, birinci küme merkezi için yoğunluk ölçütü,

$$D_i = \sum_{j=1}^N \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{(r_a/2)^2}\right), \quad i = 1, \dots, N$$

[8]

biçiminde tanımlıdır. Burada r_a , komşuluk yarıçapını gösteren pozitif bir sabittir. Buna göre bir veri noktası çok sayıda komşuluğa sahip ise bu veri noktası yüksek bir yoğunluğa sahip olacaktır [17, 19]. En büyük yoğunluk değeri D_{c_1} 'e sahip olan nokta birinci küme merkezi x_{c_1} olarak seçilir. Bu aşamadan sonra her bir veri noktasına ilişkin yoğunluk

$$D'_i = D_i - D_{c_1} \exp\left(-\frac{\|x_i - x_{c_1}\|^2}{(r_b/2)^2}\right), \quad i = 1, \dots, N$$

[9]

ölçütünün kullanılmasıyla hesaplanır. Burada r_b , sınıf merkezlerinin birbirine yakın olmasını önleyen pozitif bir sabittir [20, 21]. $r_b = \eta \times r_a$ eşitliği ile hesaplanır. Burada η sıkıştırma faktörü olarak bilinir ve 1'den büyük pozitif bir sabittir. Eşitlik (9) yinelenerek en büyük yoğunluk değerine sahip nokta sonraki küme merkezi olarak seçilir. Bu süreç yoğunluk ölçütünün değeri belirli bir $(\underline{\varepsilon}, \bar{\varepsilon})$ limitine ulaşıncaya kadar devam eder. Böylece $\{x_{c_1}, x_{c_2}, \dots, x_{c_L}\}$ sınıf merkezlerinin belirlenmesiyle L tane bulanık kural ve sınıf üyelikleri belirlenmiş olur [18, 20, 22].

Bulanık uyarlamalı ağ yaklaşımı ile kestirimde ağı girişini oluşturacak olan bağımsız değişkenler, boylam ve enlem değerleridir. Kestirim için ilk adım enlem ve boylam değerlerinin alt kümelerine ayrılması ve üyelik fonksiyonunun seçilmesidir. Üyelik fonksiyonunun seçiminde kullanılacak birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada mekansal veriler üzerinde çalışıldığı için değişkenler arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi modelleyen bir fonksiyon üyelik fonksiyonu olarak kullanılması önerilmiştir [23]. Birbirleri arasındaki uzaklık mesafesi n olan iki mekansal rasgele değişken arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi karakterize etmek için kullanılan bir fonksiyon variogram fonksiyonudur [3, 24]. Mekansal verilerin yapısına uygun olan variogram fonksiyonu, üyelik fonksiyonu özelliklerini taşıyor ise bulanık uyarlamalı ağlar ile mekansal kestirimde üyelik fonksiyonu olarak kullanılabilir. Aksi takdirde tercihe dayalı bir fonksiyon üyelik fonksiyonu olarak seçilebilir.

Üyelik fonksiyonunun seçilmesi ve alt kümelerin oluşturulmasından sonra Takagi-Sugeno bulanık mantık yöntemine göre bulanık kurallar belirlenir. Bulanık kurallar,

$$R_k : \text{Eğer } x_1 \in C_i \text{ ve } x_2 \in D_j \text{ ise } g_k = a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + b_k, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M, k = 1, 2, \dots, K (K = N \times M)$$

[10]

biçiminde oluşturulur. Burada,

- K : toplam bulanık kural sayısı,
- R_k : k . kural,
- x_1 ve x_2 : iki boyutlu örnek noktalarının koordinatları,
- C_i : k . kuralda x_1 ile bağlantılı bulanık küme,
- D_j : k . kuralda x_2 ile bağlantılı bulanık küme,
- g_k : R_k kuralına ilişkin mekansal değişkenin değeri,
- a_{k1}, a_{k2} ve b_k : sonsal parametre seti,

dir. Toplam K tane kuralın her biri için bilinmeyen a_{k1}, a_{k2} ve b_k değerlerinin bulunması gerekmektedir.

Ağdan elde edilen sonsal parametre değerleri ile her bir noktanın kestirim değeri hesaplanır. Bu kestirim değeri ile gerçek veri değerleri arasındaki fark hata değerini verir. Bulunan bu hata değeri yapay sinir ağları ile geriye doğru yayılarak alt küme aralıkları değiştirilir ve aynı işlemler tekrarlanır. Bu işlemlere, hata miktarı önceden tanımlanmış olan kabul edilebilir küçük bir hatadan daha küçük olana kadar devam edilir. Sonuçta alt küme aralıkları değişerek her bir kural için o kurala ait a_{k1}, a_{k2} ve b_k değerleri elde edilir. Böylece istenilen herhangi bir noktanın kestirim değeri bulanık uyarlamalı ağların kullanılması ile oluşturulan kurallardan elde edilebilir [23].

4. EGE BÖLGESİ İÇİN YERKABUĞU HAREKET HIZLARININ KESTİRİMİ

Uygulama için Reilinger *et al.* (2006)'in çalışmalarında yer alan, yerkabuğu hareket hızlarının küresel konumları ile ölçümleri veri seti olarak alınmıştır. Çalışma alanı Ege Bölgesi ve çevresini kapsayan, 36° - 40° enlem ve 26° - 32° boylamları arasında yer alan bölge ile sınırlandırılmıştır. Bu bölge içerisinde bulunan 52 değer veri setini oluşturmuştur. Bulanık uyarlamalı ağ ile kestirim için MATLAB yazılımının bulanık mantık modülü altındaki ANFIS editörü kullanılmıştır.

Girdi değişkenleri boylam ve enlem değerleri, çıktı değişkeni ise yerkabuğu hareket hızları (mm/yıl) dır. Hareket hızları kuzey ve doğu olmak üzere iki ayrı yönde verildiğinden tüm çözümler kuzey ve doğu yönleri için ayrı yapılacaktır. Hareket hızlarına ilişkin tanımlayıcı bazı istatistikler Tablo 1' de görülmektedir. Hareket hızları kuzey yönü için ortalama -13,06 mm/yıl (güneye hareket), doğu yönü için ise ortalama -19,08 mm/yıl (batıya hareket) olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Hareket Hızlarına İlişkin Bazı Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

	Kuzey yönü hız	Doğu yönü hız
Veri sayısı	52	52
En küçük değer	-30.03	-24.01
Medyan	-11.39	-19.97
En büyük değer	-0.54	-10.02
Ortalama	-13.06	-19.08
Standart Sapma	7.49	2.99

Veri setinde yer alan veriler, bulanık modelin oluşturulması ve oluşturulan modelin doğruluğunun test edilmesi için eğitim ve test verileri olarak rasgele iki gruba ayrılmıştır. Eğitim seti ağın eğitiminde, test seti ise eğitimin performansını ölçmede kullanılmaktadır. Eğitim setinde verilerin %75'i (39 veri), test setinde ise %25'i (13 veri) yer almıştır.

Değişkenler için alt küme sayıları çıkarımlı kümeleme algoritmasının kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Kümeleme algoritmasının sonucunda kuzey ve doğu yönleri için alt küme sayısı her iki bağımsız değişken için de dört olarak belirlenmiştir. Oluşturulacak bulanık kural sayısı kümeleme algoritması sonucunda ortaya çıkan alt küme sayılarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Buna göre, her iki yön için de bulanık kural sayısı, bağımsız değişkenlerin alt küme sayılarının çarpımından onaltı olarak bulunmuştur.

Üyelik fonksiyonu olarak mekansal verilerin yapısına uygun olan variogram modeli seçilmiştir. Yapılan analiz sonucunda her iki yön için de variogram fonksiyonu gaussian dağılımına uygun bulunmuştur. Buna göre, üyelik fonksiyonları gaussian fonksiyonu olarak alınmıştır.

Her iki yön için de ağın eğitiminde geri besleme algoritması seçilmiştir. Yapılan ön denemeler sonucunda eğitim için 500 iterasyon yeterli görülmüştür.

Hata için tolerans miktarı 0,001 seçilerek ağ eğitime başlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen onaltı adet bulanık kural, kuzey yönü için Tablo 2'de, doğu yönü için Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3' de x_1 ve x_2 koordinatları sırasıyla boylam ve enlem değerleri C_i ve D_j ($i, j = 1,2,3,4$) kümeleri ise sırasıyla boylam ve enlem değerlerine ilişkin bulanık alt kümelerdir.

Tablo 2. Kuzey Yönü İçin Bulanık Kurallar

Kural No	Bulanık kural
<i>Kural 1</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_1 = -0,2165x_1 - 0,2998x_2 - 0,008193$</i>
<i>Kural 2</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_2 = -0,4091x_1 - 0,5748x_2 - 0,01547$</i>
<i>Kural 3</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_3 = -0,2985x_1 - 0,4296x_2 - 0,01136$</i>
<i>Kural 4</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_4 = -0,09128x_1 - 0,1612x_2 - 0,003812$</i>
<i>Kural 5</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_5 = -0,1153x_1 - 0,1548x_2 - 0,004207$</i>
<i>Kural 6</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_6 = -0,3475x_1 - 0,431x_2 - 0,01213$</i>
<i>Kural 7</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_7 = -0,1325x_1 - 0,2192x_2 - 0,00522$</i>
<i>Kural 8</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_8 = -0,06874x_1 - 0,1028x_2 - 0,002639$</i>
<i>Kural 9</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_9 = -0,1273x_1 - 0,1592x_2 - 0,004351$</i>
<i>Kural 10</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_{10} = -0,1115x_1 - 0,16x_2 - 0,00437$</i>
<i>Kural 11</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_{11} = -0,003817x_1 - 0,04287x_2 - 0,001098$</i>
<i>Kural 12</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_{12} = 0,04792x_1 + 0,06866x_2 + 0,00172$</i>
<i>Kural 13</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_{13} = -0,008537x_1 - 0,0105x_2 - 0,0002882$</i>
<i>Kural 14</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_{14} = -0,09531x_1 - 0,1227x_2 - 0,00313$</i>
<i>Kural 15</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_{15} = -0,03241x_1 - 0,04205x_2 - 0,00117$</i>
<i>Kural 16</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_{16} = -0,05282x_1 - 0,06851x_2 - 0,001723$</i>

Tablo 3. Doğu Yönü İçin Bulanık Kurallar

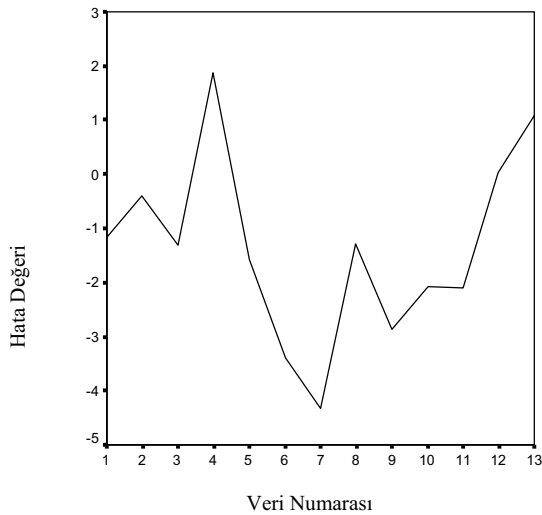
Kural No	Bulanık kural
<i>Kural 1</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_1 = -0,1861x_1 - 0,2581x_2 - 0,007056$</i>
<i>Kural 2</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_2 = -0,2292x_1 - 0,3221x_2 - 0,008608$</i>
<i>Kural 3</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_3 = -0,2333x_1 - 0,3424x_2 - 0,008848$</i>
<i>Kural 4</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_1'in elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_4 = -0,2476x_1 - 0,3622x_2 - 0,00916$</i>
<i>Kural 5</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_5 = -0,02449x_1 - 0,03125x_2 - 0,0008822$</i>
<i>Kural 6</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_6 = -0,246x_1 - 0,3514x_2 - 0,008957$</i>
<i>Kural 7</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_7 = -0,2506x_1 - 0,327x_2 - 0,008617$</i>
<i>Kural 8</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_2'nin elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_8 = -0,259x_1 - 0,3832x_2 - 0,009617$</i>
<i>Kural 9</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_9 = -0,1218x_1 - 0,1553x_2 - 0,004143$</i>
<i>Kural 10</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_{10} = -0,3028x_1 - 0,3731x_2 - 0,01016$</i>
<i>Kural 11</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_{11} = -0,2645x_1 - 0,3523x_2 - 0,009086$</i>
<i>Kural 12</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_3'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_{12} = -0,2892x_1 - 0,3893x_2 - 0,009803$</i>
<i>Kural 13</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_1'in elemanı ise $g_{13} = -0,02382x_1 - 0,02956x_2 - 0,0007967$</i>
<i>Kural 14</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_2'nin elemanı ise $g_{14} = -0,1962x_1 - 0,2387x_2 - 0,006366$</i>
<i>Kural 15</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_3'ün elemanı ise $g_{15} = -0,2625x_1 - 0,3315x_2 - 0,008545$</i>
<i>Kural 16</i>	<i>Eğer x_1 koordinatı C_4'ün elemanı ve x_2 koordinatı D_4'ün elemanı ise $g_{16} = -0,2984x_1 - 0,3858x_2 - 0,009743$</i>

Ağdan elde edilen kestirimlerin değerlendirilebilmesi için test setinin performansına bakılmıştır. Test seti olarak belirlenen veri seti, uyarlamalı ağdan elde edilen kestirim değerleri ve hatalar Tablo 4’ de yer almaktadır. Ağdan elde edilen kestirimlere ilişkin hata grafikleri ise kuzey ve doğu yönleri için Şekil 3’ de verilmiştir.

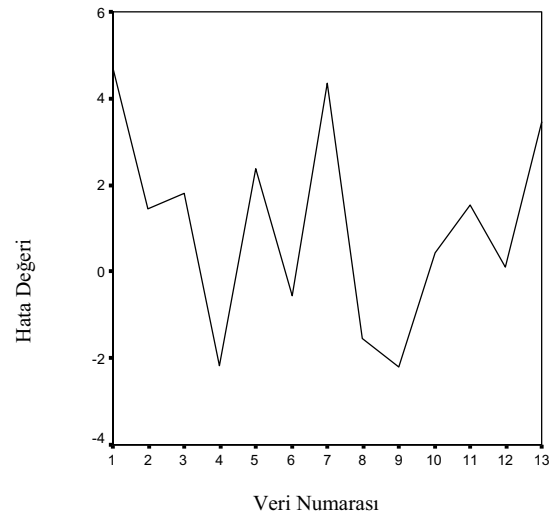
Tablo 4 incelendiğinde bulanık kurallar yardımıyla yapılan kestirimlerin gerçek değerlere oldukça yakın olduğu gözlenmektedir. Bazı koordinat noktalarında kestirim hatasının büyük olmasının o noktanın konumuna bağlı olduğu düşünülmektedir. Örneklenmiş noktaların fay hattı üzerinde olma durumları kestirim değerlerini etkilemektedir.

Tablo 4. Test Setine İlişkin Kestirim ve Hata Değerleri

Veri Numarası	Boylam	Enlem	Kuzey Yönü			Doğu Yönü		
			Gerçek değer	Kestirim değeri	Hata	Gerçek değer	Kestirim değeri	Hata
1	26,174	39,973	-9,61	-8,45	-1,16	-16,38	-21,10	4,72
2	26,385	38,311	-22,39	-22,00	-0,39	-17,64	-19,10	1,46
3	26,700	39,311	-11,72	-10,40	-1,32	-18,80	-20,60	1,80
4	26,929	36,752	-26,53	-28,40	1,87	-15,88	-13,70	-2,18
5	27,217	39,897	-8,40	-6,83	-1,57	-19,62	-22,00	2,38
6	27,394	36,681	-29,90	-26,50	-3,40	-11,85	-11,30	-0,55
7	27,590	39,295	-12,25	-7,92	-4,33	-16,75	-21,10	4,35
8	27,963	36,772	-25,98	-24,70	-1,28	-14,23	-12,70	-1,53
9	28,483	38,315	-13,18	-10,30	-2,88	-22,61	-20,40	-2,21
10	29,048	37,566	-15,37	-13,30	-2,07	-21,27	-21,70	0,43
11	29,535	37,185	-13,31	-11,20	-2,11	-19,25	-20,80	1,55
12	30,609	36,829	-8,16	-8,18	0,02	-12,19	-12,30	0,11
13	31,814	39,564	-2,31	-3,39	1,08	-20,43	-23,90	3,47



a) Kuzey Yönü



b) Doğu Yönü

Şekil 3. Test Setine İlişkin Hataların Grafikleri

Test setine ilişkin hata miktarı hata kareler ortalamasının karekökü ölçütüne göre,

$$\hat{\epsilon}_k = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2}{N}}$$

formülünden hesaplanarak kuzey ve doğu yönleri için sırasıyla 2,46 ve 2,13 olarak bulunmuştur. Tablo 5' de 5900 adet noktanın gridlenmesi sonucunda elde edilen kestirim hatalarına ilişkin tanımlayıcı bazı temel istatistikler görölmektedir.

Tablo 5. Kestirim Hatalarına İlişkin Bazı Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

	Kuzey Yönü	Doğu Yönü
Gridlenen nokta sayısı	5900	5900
En küçük değer	-4.71	-3.09
Medyan	-0.84	1.02
En büyük değer	6.14	4.71
Ortalama	-0.90	0.78
Standart Sapma	1.72	1.58
Hata kareler ortalamasının karekökü	1.94	1.77

5. SONUÇ

Yerkađu hareketlerinin araştırılması ile deprem riski yüksek bölgelerde yerkağunun hareket hızı hesaplanabilmektedir. Böylece bölgede depreme sebep olabilecek bir enerji birikiminin ne kadar sürede oluşacağı belirlenerek depremin zamanı hakkında tahmin yapılabilecektir. Yerkađunun hareket hızlarının istenilen her noktada belirlenmesi mümkün olmadığından mekansal kestirime ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda mevcut mekansal kestirim yöntemlerine alternatif olarak kestirim için bulanık modellemeye dayalı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada Ege Bölgesi ve çevresini içine alan çalışma alanında bulanık uyarlamalı ağ yaklaşımı ile yerkağu hareket hızlarının kestirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanından elde edilen 52 adet veri kullanılarak uygulama yapılmıştır. Veri seti eğitim ve test seti olmak üzere ikiye ayrılmış, eğitim seti yerkağu hareket hızlarına ilişkin bulanık kuralların oluşturulmasında kullanılmıştır. Uygulamada bulanık alt kümelerin oluşturulmasında çıkarımlı kümeleme algoritmasından yararlanılmış, üyelik fonksiyonunun seçiminde ise mekansal bağlılığı göz önüne alan variogram fonksiyonu kullanılmıştır. Test setine ilişkin kestirimler eğitim setinden oluşturulan bulanık kuralların kullanılması ile hesaplanmıştır. Kestirim değerlerine ilişkin hata miktarları hata kareler ortalamasının karekökü ölçütüne göre hesaplanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan yöntemden elde edilen bulanık kurallar yardımı ile Ege Bölgesi ve çevresinde yer alan ölçüm yapılmamış noktalara ilişkin yerkağu hareket hızları kestirilebilecektir. Çalışma alanı içerisinde istenilen herhangi bir noktanın kestirimini elde etmek için ilk olarak o noktanın hangi alt kümeler tarafından kapsandığı belirlenir. Bu alt kümelere ilişkin bulanık kurallar belirlenerek kestirimi yapılacak noktanın koordinatları ilgili kurallarda yerine yazılır. Gerekli hesaplamaların yapılması ile kestirim değeri hesaplanmış olur. Bu kestirimler mevcut ölçümlerle birlikte değerlendirildiğinde bölgenin yerkağu hareket yapısı hakkında ayrıntılı bilgilere ulaşılabilecektir. Bu bilgiler ışığında bölgenin depremselliği üzerine yeni çalışmalar yapılabileceği düşünölmektedir. Çalışma bu açıdan deprem uzmanlarınca değerlendirildiğinde bilimsel çalışmalara katkı sağlayacak niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] Barka, A., Altunel, E., Akyüz, S., Sunal, G., Hartleb, R., Uslu, O. B. ve Toroman, E., Yeryüzü ve Deprem, Boyut Yayıncılık, İstanbul (2000).
- [2] Cressie, N.A.C., Statistics for Spatial Data, John Wiley and Sons, Inc., Canada (1993).
- [3] Tercan, A.E. ve Saraç, C., Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 48, Ankara (1998).
- [4] Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets", Information and Control, 8, 338-353 (1965).
- [5] Lai, Y. ve Hwang, C., Fuzzy Mathematical Programming, Gpringer-Verlag, Germany (1992).
- [6] Klir, G.J. ve Yuan, B., Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Prentice Hall. PTR., A.B.D. (1995)
- [7] Cheng, C.B. ve Lee, E.S., "Applying Fuzzy Adaptive Network to Fuzzy Regression Analysis", Computers and Mathematics with Applications, 38, 123-140 (1999).
- [8] Şen, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Sanat Yapım Yay. Kağ. Turz. San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul (2001).
- [9] Elmas, Ç., Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, Ankara (2003).
- [10] Jang, J.-S.R., "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 23, 665-685 (1993)
- [11] Ishibuchi, H. ve Tanaka, H., "Fuzzy Neural Networks with Fuzzy Weights and Fuzzy Biases", In proceedings of 1993 IEEE International Conference on Neural Networks, San Francisco, 1650-1655 (1993).
- [12] Erbay Dalkılıç, T. ve Apaydın, A., "Bulanık Kümelemeye Dayalı Switching Regresyon Analizi", 4. İstatistik Günleri Sempozyumu, İzmir, 263-269 (2004).
- [13] Jang, J-S.R. ve Sun, C.-T., "Neuro-Fuzzy Modeling and Control", Proceedings of the IEEE, 83(3), 378-406 (1995).
- [14] Cheng, C.B. ve Lee, E.S., "Fuzzy Regression with Radial Basis Function Network", Fuzzy Sets and Systems, 119, 291-301 (2001).
- [15] Celep, Z. ve Kumbasar, N. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul (2000).
- [16] Mertol, A. ve Mertol, H.C., Deprem Mühendisliği, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Kozan Ofset, İstanbul (2002).
- [17] Hekim, M., Orhan, U. ve Durusoy, G. "Veri Kümeleme Üzerine Hibrit Yaklaşım", Eleco'2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa (2006).
- [18] Chiu, S.L., "Fuzzy Model Identification based on Cluster Estimation", J.Intell. Fuzzy Systems, 2 (3), 267-278 (1994).
- [19] Chen, M.-S. ve Wang S.-W., "Fuzzy Clustering Analysis for Optimizing Fuzzy Membership Functions", Fuzzy Sets and Systems, 103, 239-254 (1999).
- [20] Kim, J-H., Kim, S-H., Yang, H-S., Park, J-B. ve Park, Y-P, "Holographic Data System Using Prearranged Plan Table by Fuzzy Rule and Genetic Algorithm", ICCAS 2005, Gyeonggi-Do, Korea (2005).
- [21] Paiva, R. P. and Dourado, A., "Interpretability and Learning in Neuro-fuzzy Systems", Fuzzy Sets and Systems, 147, 17-38 (2004).
- [22] Demirli, K., Cheng, S.X. and Muthukumaran, P., "Subtractive Clustering Based Modeling of Job Sequencing with Parametric Search", Fuzzy Sets and Systems, 137, 235-270, (2003).

- [23] Tosunoğlu, N.G., Mekansal İstatistikte Bulanık Uyarlamalı Ağ Yaklaşımı İle Depremi Oluşturan Yerkabuğu Hareket Hızlarının Kestirimi, Doktora Tezi (basılmamış), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2007).
- [24] Isaaks, E.H. ve Srivastava, R.M., An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Pres, New York (1989).