

# Oluşturulan bir bulanık-YSA metodunun iklim bölgelerinin belirlenmesinde kullanılması ve performansının test edilmesi

Sinan ŞAHİN\*, H. Kerem CİĞİZOĞLU

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada bulanık mantık ve Yapay Sinir Ağlarını (YSA) bir arada kullanan bir bulanık-YSA metodu oluşturulmuştur. Bu metodun amacı çok boyutlu veri uzayında 'belirgin' bir şekilde lineer olarak birbirinden ayrılmış kümeler elde etmektir. 'Belirgin' kümeleri elde etmek için, bulanık c-ortalamar metodu ile hesaplanan küme merkezleri koordinatları, YSA metodlarının girdisini oluşturmuştur. Geleneksel küme analizi ve YSA metodlarının aksine giriş verisi bulanık küme merkezleri koordinatlarına göre türetilmiştir. Bulanık-YSA metodunda en iyi sonucu elde etmek için, İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ (İBGYSA), Genelleştirilmiş Regresyon Ağı (GRYSA) ve Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları (RTFA) olmak üzere üç farklı YSA metodu kullanılmıştır. Bulanık-YSA metodu, literatürde küme analizi metodlarının performansının test edilmesi için sıkça kullanılan iris verisi üzerinde denenmiş ve % 94'lük bir performans göstererek küme analizi problemlerinde kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bulanık-YSA modeli, bulanık c-ortalamar metodu ve YSA tabanlı olduğundan, sonuçları bulanık c-ortalamar metodu ve YSA'nın küme analizinde kullanılan türü Kohonen YSA (KYSA) ile karşılaştırdığımızda, bulanık-YSA modeli hem bulanık c-ortalamar metodu (% 90) hem de KYSA'dan (% 88.67) daha iyi sonuç vermiştir. Bulanık-YSA metodu, Türkiye iklim bölgelerinin belirlenmesi için korelasyonlardan oluşan matrisin kullanıldığı küme analizlerinde, Ward metodu ve KYSA metoduna göre daha başarılı bulunmuştur. Yağış rejimi bölgelerinin belirlendiği küme analizlerinde ise Ward metodu bulanık-YSA metoduna göre daha iyi sonuç vermiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık-YSA metodu, küme analizi, iris verisi, iklim bölgeleri.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Sinan ŞAHİN. ssahin@corlu.edu.tr; Tel: (282) 652 94 76 dahili: 180.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Yapay sinir ağlarının iklim bölgelerinin belirlenmesinde kullanılması ve Ward metodu ile karşılaştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 04.03.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 06.05.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Applying the generated neuro-fuzzy method on determining climate zones of Turkey and testing its performance

### Extended abstract

*A neural network can approximate a function, but it is impossible to interpret the result in terms of natural language. The fusion of neural networks and fuzzy logic in neuro-fuzzy models provide learning as well as readability. Control engineers find this useful, because the models can be interpreted and supplemented by process operators.*

*A neural network can model a dynamic plant by means of a nonlinear regression in the discrete time domain. The result is a network, with adjusted weights, which approximates the plant. It is a problem, though, that the knowledge is stored in an opaque fashion; the learning results in a (large) set of parameter values, almost impossible to interpret in words. Conversely, a fuzzy rule base consists of readable if-then statements that are almost natural language, but it cannot learn the rules itself. The two are combined in neuro-fuzzy systems in order to achieve readability and learning ability at the same time. The obtained rules may reveal insight into the data that generated the model, and for control purposes, they can be integrated with rules formulated by control experts (operators).*

*This article introduces a method which is a mixture of the fuzzy c-means clustering method and the artificial neural networks (ANN) used in one system. The goal of this method is to obtain clearly separated clusters in high dimensional data space. In order to obtain clear 'obvious' clusters, the cluster centers calculated by the fuzzy c-means method is used as input for the artificial neural networks. Unlike conventional cluster analysis methods and artificial neural networks, the input data is generated according to the coordinates of cluster centers calculated by the fuzzy c-means method. Three different artificial neural network techniques, namely, the Feed Forward Back Propagation (FFBP), the Generalized Regression Neural Networks (GRNN) and the Radial Basis Function-Based Neural Networks (RBFNN) are used in the neuro-fuzzy method in order to achieve better performance. The performance of the proposed method was illustrated using the Iris data set which is commonly used in the international literature.*

*We tested the performance all three cluster analysis methods which were the Ward's method, the Kohonen-ANN and a neuro-fuzzy method developed in this study for defining the precipitation regime regions and the climate zones. The Iris data which is commonly used in the literature for determining the performance of the clustering methods was used to test the performance of the neuro-fuzzy method. The performance of the neuro-fuzzy method was 94% and this result showed that the neuro-fuzzy method can be used in the cluster analyses. This result is better than Ward's method result (89.33%) which is commonly used for defining climate zones, the Kohonen-ANN (88.67%) and the fuzzy Kohonen-ANN (91.33%) which is a mixture of fuzzy set theory and ANN. Thus, an improvement had been made the results of the fuzzy c-means clustering method and the Kohonen-ANN with the created neuro-fuzzy method that uses fuzzy the c-means method and ANN methods. According to the stability analyses of the clustering methods applied in this study were showed that these 3 methods can be applied in the cluster analyses which have different number of stations. The results of the stability analysis of these 3 methods were so close to each other but Kohonen-ANN had showed a bit better performance than the Ward's method and the Kohonen-ANN. A matrix created from the correlation coefficients of the meteorological data were used as input for cluster analysis methods. In the international literature, there is no similar approach like the creation of this correlation matrix. Due to appearance of "sub-climate zones" when the correlation coefficients were used as input, sub-precipitation regime regions" and "sub-climate zones" of Turkey were manage to demonstrate by maps.*

*The generated neuro-fuzzy method's results were more consistent on determination of climate zones considering the influence of large scale pressure systems and upper air circulation, location of transition regions, topography, exposure, continentally, the controls of physical geography and orography. The ward's method results didn't used due to unexpected transition regions. According to the results of the generated neuro-fuzzy method, there is seven main climate region and 15 sub-climate regions in Turkey. The 'sub-climate' regions of the main climate zones are revealed for the first time in the international literature.*

**Keywords:** Neuro-fuzzy method, cluster analysis, iris data, climate zones.

## **Giriş**

Yapay sinir ağları, insan beyninin temel birimi olan nöronlara benzer olarak teşkil edilen yapay nöronların farklı topoloji ve ağ modelleriyle birbirine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Bir yapay sinir ağı, birbiriyle etkileşim içindeki pek çok yapay nöronun paralel bağlı bir hiyerarşik organizasyonudur. Yapay sinir ağında hesaplama algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme tekniğidir. Programda adım adım yürütülen bir yöntemin verilmesi yerine sinirsel ağ ilişkilendirmeyi yapan iç kurallarını kendisi üretir ve bu kuralları, sonuçları örneklerle karşılaştırarak düzenler.

Yapay sinir ağları ayrı zaman alanlarında nonlineer regresyon yani dinamik modelleme yapabilir. Sonuç ağırlıkları ayarlanmış model tahmini yapan bir ağıdır. Ancak problem şudur ki, mantık kurallarıyla belirlenemeyen bilgi ve öğrenme sonuçları, sözel veri ve parametre değerleri seti olarak yorumlanamaz. Diğer taraftan bulanık tabanlı sistemler eğer-ise yapılarını içeren doğal bir dil içerir, ancak kendi kendine kuralları öğrenemez. Bu ikisinin bir arada olduğu hem doğal bir dil içeren hem de kendi kendine kuralları öğrenebilen sistemlere bulanık-YSA sistemler denmektedir. Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar 1940'lı yıllarda, bulanık mantıkla ilgili çalışmalar ise 1960'lı yıllarda başlamıştır. Fakat bulanık-YSA sistemleri ile ilgili çalışmalar bahsi geçen çalışmalara göre yenidir.

Kullanılan veriden kural çıkarmak; model tanımlama, veri analizi veya verinin yapısını araştırmak olarak tanımlanabilir (Bezdek vd., 1992). Buradaki amaç problemdeki karmaşıklığı azaltmak ya da problemle ilişkili verinin azaltılmasıdır. Veri analizi konusu çok çeşitli metotları içerir, buradaki amaç bulanık ve yapay sinir ağların birleşiminden oluşan uygulanabilir bir yöntem sunmaktır. Bu çalışmada hem bulanık mantık hem de yapay sinir ağlarını kullanan bir metot geliştirerek bu iki metodun avantajlarından faydalanılmaya çalışılmıştır.

Literatürde karşılaşılan bulanık yapay sinir ağları metotları hidroloji ve meteorolojide sıkça uygulanmaktadır. Bunlardan, Annas ve diğerleri

(2007) danışmanlı bir bulanık-YSA sınıflandırma modeli kullanarak (Nefclass) tropik günlük yağış değişimlerini hesaplamıştır. Bu metod, bulanık sınıflandırma kurallarıyla gösterilen model çıktılarının yapılandırılmasına imkân veren nöro-bulanık modellerinin içinde özel bir örnektir. Burrows ve Pudykiewicz (1997) Nöro-Bulanık Çıkarım yöntemi (NBÇ) kullanarak bir ozon tahmin uygulamasını açıklamıştır. NBÇ yöntemi girdi verisinin boyutunu azaltmak için "bulanık kümeleme yöntemi" kullanır ve kullanılan yapay sinir ağları modelinin performansını artırır. Geniş dağılımlı binlerce veri eğitim için kullanılabilir. Veri yapay sinir ağlarına girilmeden önce mümkün olan sayıda küme ile eşlendirilir. Kümeler belirlendikten sonra bulanık kural tabanları geliştirilir. Reimer ve Sodoudi (2004) Elbe Nehri'nin havza alanının iklim modelinin 1979-2055 yılları arasındaki hesaplamaları için bir bulanık-YSA yöntemi uygulamışlardır. Model sistemin değişik simülasyonları (3 boyutlu hidrostatik iklim modeli) bu projede kullanılmıştır. Yakın yüzey parametrelerinin 1979-2000 yılları arasındaki ölçümlerinin yerel serileri, yıllık varyasyonlara ve kısa dönem sapmalara bölünmüştür. Bulanık-YSA modeli günlük toplam yağış, günlük ortalama sıcaklık, bağıl nem ve buharlaşmayı tahmin etmek için kullanmıştır. Literatürde bulanık-YSA metotlarının kullanıldığı diğer çalışmalara örnek olarak Ninan ve diğerleri (2001) ile Wang ve Feihui (1999) çalışmaları verilebilir.

Bu çalışmada oluşturulan bulanık-YSA metodu, literatürde küme analizi metotlarının performansının test edilmesi için sıkça kullanılan iris verisi üzerinde denenmiş ve metodun % 94'lük bir performans göstererek küme analizi problemlerinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Bulanık-YSA metodu bulanık c-ortalamar metodu ve YSA tabanlı olduğundan, sonuçları bulanık c-ortalamar metodu ve YSA'nın küme analizinde kullanılan türü Kohonen YSA (Kohonen, 1982) (KYSA) ile karşılaştırdığımızda, bulanık-YSA modeli hem bulanık c-ortalamar metodu (% 90) hem de KYSA'dan (% 88.67) daha iyi sonuç vermiştir. Daha sonra oluşturulan bulanık-YSA metodu iklim bölgelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

## Kullanılan veri

Kullanılan veri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 1974-2002 yılları arasında ölçülmüş aylık toplam yağış ( $P_t$ ), ortalama sıcaklık ( $T_n$ ), bağıl nem ( $R_h$ ) verileridir.

Tablo 1'de maksimum, minimum ve ortalama değerlerin yanında toplam eksik veri sayısı ve eksik veri yüzdesi görülmektedir. Tablo 1'deki değerler 150 adet istasyonda ölçülmüş verilere ait değerlerdir.

*Tablo 1. İstasyonların ölçülen aylık verilerinin bazı istatistik değerleri (Toplam ifadesi eksik veri sayısını yüzde ifadesi ise eksik veri yüzdesini göstermektedir)*

Parametre	Mak.	Min.	Ort.	Toplam	Yüzde (%)
$P_t$ (mm)	907.2	0	51.17	498	0.62
$T_n$ (°C)	28.79	-26.36	8.04	779	0.96
$R_h$ (%)	95.62	1.44	64.47	850	1.05

$P_s$  hariç diğer parametrelerin eksik veri sayısı istenen seviyededir (<% 4). Eksik veri sayısını azaltmak için eksik veri yüzdesi % 5'den büyük istasyonlar çıkarılmıştır ( $P_s$  hariç).

Bu veriler iklim bölgelerini belirlemek için kullanılacağından bütün verilerin aynı periyotta olması zorunludur. Bu yüzden Tablo 1 bütün veriler için ortak olan 1974-2002 yılları arasındaki istatistikî bilgileri vermektedir.

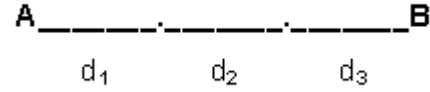
## Kullanılan yöntem

### Bulanık-YSA metodunun çıkış noktası

Bulanık c-ortalamlar metodu veri uzayındaki her noktaya birer üyelik derecesi atadıktan sonra belirli hedef fonksiyonuna iterasyonlar sonucu ulaşarak küme merkezlerini bulmaya çalışır. Daha sonra bulunan küme merkezlerine en yakın noktalar o kümeye ait kabul edilir ve kümeleme yapılmış olur. Hâlbuki her zaman küme merkezine en yakın nokta o kümeye ait olmayabilir, başka bir deyişle kendisine biraz daha uzak bir başka kümeye de ait olabilir. Öyleyse küme merkezlerine benzer yakınlıktaki bir noktanın hangi kümeye ait olduğu bulunabilirse bulanık c-ortalamlar metodu sonuçlarında bir dü-

zeltme ve bunun sonucunda bir iyileştirme yapılabilir.

Şekil 1'de A kümesine  $d_1$  mesafesindeki nokta A küme merkezine çok daha yakın olduğundan bulanık c-ortalamlar metoduna göre A kümesine aittir. Benzer şekilde  $d_3$  mesafesindeki nokta da B küme merkezine çok daha yakın olduğundan B kümesine dâhildir.



*Şekil 1. İki küme merkezi arasındaki mesafe*

Burada çözülmesi gereken problem,  $d_2$  mesafesindeki noktaların hangi kümeye ait olduğudur. Katı kümeleme ve bulanık c-ortalamlar metoduna göre  $d_2$  mesafesindeki noktalar hangi küme merkezine daha yakınsa o kümeye ait olarak bulunur. Uzaklık mesafesi ölçümü içinse genelde Öklid mesafesi kullanılır. Ancak  $d_2$  mesafesindeki noktaların her zaman en yakın kümeye ait olmayacağı aşikârdır. Bu noktaların hangi kümeye ait olduğunun belirlenmesi için yapay sinir ağı modelleri kullanılacaktır. Böylece hem bulanık c-ortalamlar metodu hem de yapay sinir ağlarını bir arada kullanan bir bulanık-YSA metodu geliştirilmiş olacaktır. Kullanılan yapay sinir ağları metotları GRNN, İBGYS ve RTFA'dır.

Burada karşılaşılan en önemli problem bulanık c-ortalamlar metodu sonuçlarının yapay sinir ağlarına nasıl tanıtılacağıdır. Bunun yapılabilmesi için eğitim verisi tablosu oluşturularak eğitim verileri türetilmiştir. Basitçe söylemek gerekirse küme merkezlerine yakın olan değerler ( $d_1$  ve  $d_3$  mesafesi) ait olduğu küme merkezine atanmıştır. Yani bulanık küme merkezine yakın olan değerler eğitim verisinin girdisini, bulanık küme merkezleri ise eğitim verisinin çıktısını oluşturmuştur. Böylece küme merkezine yakın olan noktalar küme merkezlerine çekilerek lineer olarak ayrılabilen kümeler elde edilmiştir. Burada  $d_1$ ,  $d_2$  ve  $d_3$  mesafeleri birbirine eşit kabul edilmiştir. Eğitim verisinin nasıl türetildiği detaylı olarak aşağıda Adım 2'de anlatılmıştır.

### Bulanık-YSA metodunun algoritması

Bulanık-YSA metodu ilk önce bulanık c-ortalamlar metodunu kullanır. Daha sonra bulanık c-ortalamlar metodu sonuçları yapay sinir ağlarının girdilerini oluşturur. Bunun sistematik bir şekilde yapılabilmesi için eğitim verisi tablosu oluşturulur. Aşağıda bulanık-YSA metodu adım adım anlatılmıştır.

*Adım 1.* Bulanık c-ortalamlar metodu ile küme merkezlerinin bulunması. Bulanık c-ortalamlar metodu algoritması K adet m boyutlu veri noktasını bulanık kümelerle dönüştürür ve hedef fonksiyonu minimize ederek kümelerin merkezlerini bulur. Bulanık küme merkezlerinin bulanık c-ortalamlar metoduyla Jang ve diğerleri (1997) çalışmasında ayrıntılı olarak anlatılmıştır

*Adım 2.* Bulanık c-ortalamlar metodunun sonuçlarının yapay sinir ağlarına nasıl tanıtılacağı problemini aşmak için eğitim verisi tablosu oluşturulmuştur. Kullanılan GRNN İBGY ve RTFA ağları kümeleme yapmadığından eğitim verileri kümeleme yapacak şekilde türetilmiştir. Tablo 2 yardımıyla nasıl eğitim verisi türetildiği aşağıda anlatılmıştır.

Tablo 2. Eğitim verisi tablosu

	Veri 1	Veri 2	Veri 3
Min. değer	A(1)	A(6)	A(11)
Merkez 1	A(2)	A(7)	A(12)
Merkez 2	A(3)	A(8)	A(13)
Merkez 3	A(4)	A(9)	A(14)
Maks. değer	A(5)	A(10)	A(15)

Örnek veri setinin 3 küme merkezi olduğunu varsayalım. Minimum değer ve maksimum değer, verinin her bir boyutu için maksimum ve minimum değerleri ifade eder. Merkez değerleri ise bulanık c-ortalamlar metodu ile bulunan küme merkezleridir. Tablo 2’de hesaplanan bulanık küme merkezleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır.

Örnek olarak A(2) merkezi için eğitim verisinin nasıl oluşturulduğu aşağıda görülmektedir.

$$C(1)=(A(2)-A(1))/3$$

$$C(2)=(A(3)-A(2))/3$$

Burada C(1) ve C(2) parametreleri 2 küme merkezi arasındaki eğitim verisi sınırlarıdır. Bu örnekte eğitim verisi sınırı 1/3 olarak alınmıştır. Başka bir deyişle iki küme merkezi arasındaki mesafenin en fazla 1/3 kadarı o kümeye ait kabul edilmiştir, bu mesafe dışında kalan verilerin hangi kümeye ait olduğunu yapay sinir ağları metotları belirleyecektir.

$$\begin{aligned} B(1) &= A(2) - C(1) & B(11) &= A(2) + C(2) \\ B(2) &= A(2) - C(1) * 0.9 & B(12) &= A(2) + C(2) * 0.9 \\ B(3) &= A(2) - C(1) * 0.8 & B(13) &= A(2) + C(2) * 0.8 \\ & & B(10) &= A(2) - C(1) * 0.8 & B(20) &= A(2) + C(2) * 0.8 \end{aligned}$$

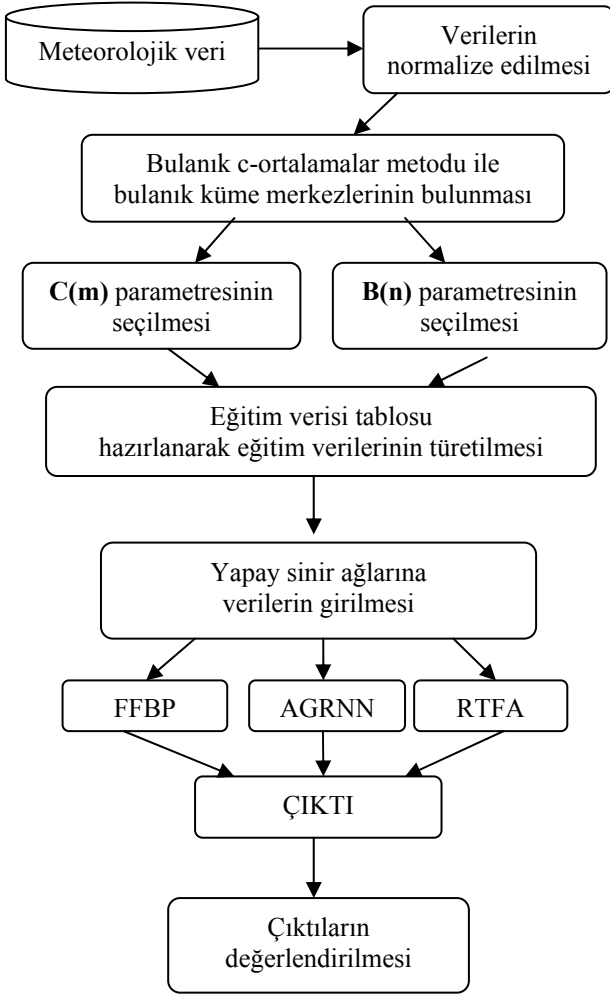
Burada B(n) girdi parametreleri o kümenin küme merkezi ile C(1) veya C(2) mesafesi arasında kalan noktaları göstermektedir. Başka bir deyişle küme merkezi ile en yakın diğer küme merkezi arasındaki mesafenin 1/3’ü kadar olan aralıktaki noktalar B(n) girdi parametreleridir. Özetle C(m)=1/3 ve B(n)=1/10 için eğitim verileri oluşturulmuştur. B(n) ve C(m) parametreleri kümelenecek verilerin küme merkezlerinde toplanmasını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Eğer veriler küme merkezlerinde toplanmıyorsa ilk önce B(n) parametresini ve daha sonra bu yeterli gelmezse C(m) parametresini artırma yoluna gidilmelidir.

*Adım 3.* Her bir B(n) girdi değerlerinin ait olduğu M küme merkezi değerine atanması. Böylece yapay sinir ağının eğitilmesi için gerekli giriş ve çıkış verileri türetilmiş olur.

*Adım 4.* Kullanılacak yapay sinir ağı modeline karar verilmesi ve eğitim verisinin girilmesi. Metodun başarısı problemin türüne ve kullanılan yapay sinir ağları metotlarına göre değişmektedir. Örneğin İBGYSA Iris verisinde en iyi sonucu vermiştir. Ancak, iklim verilerinin kümeleneğinde GRNN daha iyi sonuç vermiştir. Bu yüzden kullanılacak yapay sinir ağları modeline problemin türüne göre araştırıcı kendisi karar vermelidir. Burada yer darlığından dolayı GRNN ve İBGYSA ağları tanıtılmamıştır.

Adım 5. Son olarak küme merkezlerine çekilen noktalar belirlenir ve bu noktaların merkezine çekildiği kümeye ait olduğu kabul edilir. Artık hangi noktanın hangi kümeye ait olduğu bilindiğinden kümeleme işlemi yapılmış olur.

Şekil 2’de algoritması adım adım anlatılan bulanık-YSA metodunun akış şeması görülmektedir.



Şekil 2. Bulanık-YSA metodu akış şeması

### Oluşturulan Bulanık-YSA metodunun literatürdeki diğer bulanık-YSA metotlarından farklı özellikleri

Aşağıda maddeler halinde oluşturulan bulanık-YSA metodunun, diğer bulanık-YSA metotlarından farklı özellikleri anlatılmıştır.

- Oluşturulan bulanık-YSA metodu diğer bulanık-YSA metotlarında olduğu gibi bulanık çıkarım yapmaması.

- Esasen kümeleme yapmayan IBGYSA, GRNN ve RTFA yapay sinir ağları metodlarının kümeleme yapmasını sağlayacak şekilde eğitim verisi türetilmesi.
- Veri uzayında lineer olarak ayrılabilen kümelerin oluşturulması ve ‘belirgin’ kümelerin varlığının araştırılması.
- Kullanılacak yapay sinir ağları metoduna araştırmacının kendisinin karar vermesi. Böylece en iyi sonucu veren YSA metodu belirlenerek uygulanan metodun başarısı artırılabilir.

Sonuç olarak, oluşturulan bulanık-YSA metodu literatürdeki diğer bulanık-YSA metotları gibi bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını beraber kullanmasına rağmen metodun oluşturulma biçimi, eğitim aşaması için kullanılan veri ve lineer olarak ayrılmış kümelerin elde edilmesini başarabilmesi açısından diğer bulanık-YSA metotlarından farklıdır.

### Oluşturulan Bulanık-YSA metodunun performansının iris verisi üzerinde test edilmesi

Fisher (1936) tarafından ölçülen iris veri seti literatürde geniş bir şekilde kümeleme algoritmalarının performansını göstermek için kullanılmaktadır. Iris verisi, Iris çiçeğinin 3 türü olan *Iris setosa*, *Iris versicolor* ve *Iris virginica*’ya ait toplam 150 adet Sepal Uzunluğu (SU), Sepal Genişliği (SG), Petal Uzunluğu (PU) ve Petal Genişliğinin (PG) milimetre cinsinden ölçümlerinden oluşur. Her türe ait 4 boyutlu 50 adet veri vardır. Setosa sınıfı lineer olarak diğer türlerden ayrılır ancak versicolor ve virginica sınıfları lineer olarak ayrılmazlar. Aşağıda 4 adımda bulanık-YSA metodunun iris verisine uygulanışı gösterilmiştir.

Bulanık c-ortalamlar metodu uygulanarak, 27 iterasyonla hedef fonksiyonu 6128.98 değerine ulaşarak küme merkezleri bulunmuştur.

Tablo 3’teki bulanık küme merkez değerleri temel alınarak eğitim verisi oluşturulacak ve bu veriler YSA metotlarının girdisini oluşturacaktır.

Tablo 3. Bulanık c-ortalamlar metodu ile bulunan küme merkezleri

İris türü	PG (mm)	PU (mm)	SG (mm)	SU (mm)
Versicolor	14.044	43.905	27.519	58.737
Setosa	2.537	14.831	34.142	50.085
Virginica	20.118	56.468	30.465	67.664

Tablo 4’te merkez 1 değeri lineer olarak diğer iki türden ayrılan *Iris setosa* türüne aittir. Bulanık-YSA metodunun amacı lineer olarak ayrılmış kümeler elde etmek olduğundan *Iris setosa* türü için diğer iki türden ayrı olarak eğitim verisi tablosu hazırlanmıştır. Merkez 2 değeri *Iris versicolor*, merkez 3 ise *Iris virginica* için hesaplanan bulanık küme merkezleridir. Eğitim verisi Tablo 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Iris verisi için hazırlanan eğitim verisi tablosu

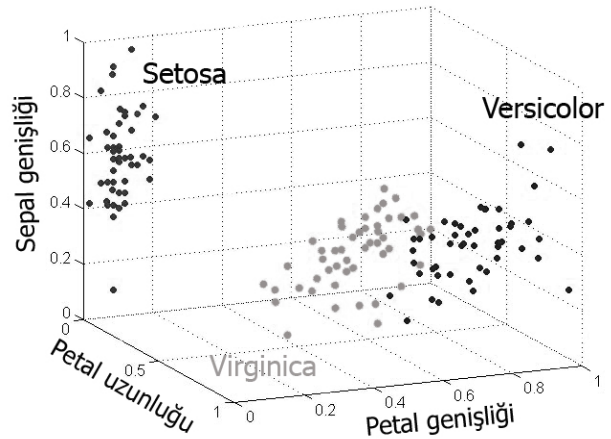
	PG (mm)	PU (mm)	SG (mm)	SU (mm)
Min.	1	10	23	43
Merkez 1	2.538	14.84	27.52	50.085
Maks.	6	19	44	58
Min.	10	30	20	49
Merkez 2	14.044	43.906	30.466	58.737
Merkez 3	20.118	56.468	34.143	67.664
Maks.	25	69	38	79

Şekil 3’te iris verisinin normalize edilmiş değerlerinin 3 boyutlu dağılım grafiği gösterilmiştir. Bulanık-YSA metodu verileri normalize ederek analiz yaptığı için karşılaştırma açısından iris verisi de normalize edilmiştir.

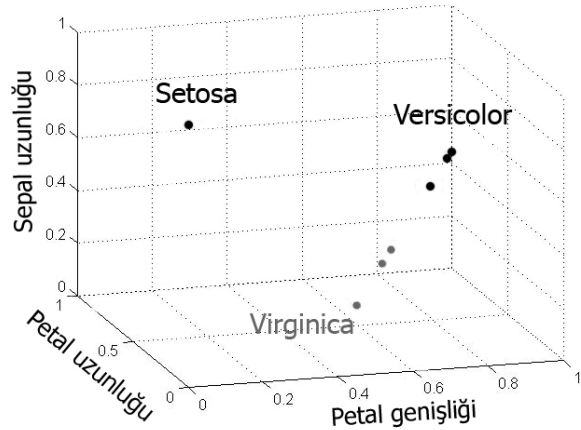
Şekil 4’te iris verisinin kümelenmesinde en iyi sonucu veren IBGYSA kullanan bulanık-YSA metodunun sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi virginica ve versicolor türleri iç içe girmiştir. Setosa türü ise diğer 2 türden lineer olarak ayrılmıştır.

Şekil 4’te bulanık-YSA metodu yardımıyla versicolor ve virginica türlerinin lineer olarak ayrılması sağlanmıştır. Setosa türüne ait tüm veriler bir küme merkezinde toplanabilmiştir.

Bu yüzden bulanık-YSA sonuçlarına dayanarak setosa türünün veri uzayında ‘belirgin’ olarak kümeleştiği yorumu yapılabilir. Sonuç olarak bulanık-YSA metodu ile Şekil 3’teki iris verisinin, Şekil 4’teki gibi küme merkezlerine doğru çekilerek birbirinden lineer olarak ayrılması sağlanmıştır. IBGYSA tabanlı bulanık-YSA metodunun yanı sıra GRNN ve RTFA tabanlı bulanık-YSA metotları da kullanılmış ve en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Tablo 5’te uygulanan diğer metotlar ve bulanık-YSA metodu sonuçları verilmiştir.



Şekil 3. Iris verisinin 3 boyutlu saçılım grafiği



Şekil 4. IBGYSA kullanan bulanık-YSA metodunun iris verisine uygulanması

### Bulanık-YSA metodunun iris verisi üzerindeki performansı

Tablo 5’te bu çalışmada kullanılan küme analizi metotlarının ve bulanık-YSA metodunun Iris verisi üzerindeki performansları gösterilmiştir.

Burada doğruluk oranı; doğru olarak tahmin edilen küme sayısının toplam küme sayısına göre yüzdesini ifade etmektedir. RTFA iris verisinin kümelenmesinde başarılı olmadığından dolayı Tablo 5'te RTFA tabanlı bulanık-YSA metodu sonuçları verilmemiştir.

*Tablo 5. Bulanık-YSA metodu sonuçları ve uygulanan diğer metotlarla karşılaştırılması*

Algoritma	En iyi sistem parametresi	Doğruluk (%)
Bulanık KYSA (Mitra vd., 1994)	Ağ boyutu 10x10 100 iterasyon	91.33
Bulanık c-ortalamlar	75 iterasyon	90.00
KYSA (Kohonen, 1982)	Ağ Boyutu 3x1 45 iterasyon	88.67
Ward metodu	-	89.33
Bulanık-YSA Modeli (ffbp)	Neron sayısı 25 63 İterasyon	94.00
Bulanık-YSA Modeli (grnn)	S=0.13	91.33

IBGYSA kullanan bulanık-YSA metodu sonucuna göre, 150 veriden 9 tanesi, GRNN kullanılan bulanık-YSA metodunda ise 13 veri yanlış kümelenmiştir. Ward metodu 16, KYSA ise 17 veriyi yanlış kümelemiştir. Bulanık-YSA metodu bulanık c-ortalamlar metodu tabanlı olduğundan bu iki yöntemi karşılaştırdığımızda bulanık-YSA metodunun bulanık c-ortalamlar metodu sonuçlarında bir iyileştirme gerçekleştirdiği görülmektedir. Sonuç olarak, bulanık-YSA metodu iris verisinin kümelenmesinde Ward metodu, KYSA ve bulanık c-ortalamlar metodundan daha iyi performans göstererek küme analizi problemlerinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

### **Oluşturulan Bulanık-YSA metodunun iklim bölgelerinin belirlenmesinde kullanılması**

Herhangi bir yerin ya da bölgenin iklimi, büyük değişkenliğe sahip elemanların bileşkesi olduğu için tümüyle benzeşen bir iklime sahip olan iki yer bulmak hemen hemen imkânsızdır. Bu da, yeryüzünde neredeyse sınırsız sayıda ayrı iklim görünümü demektir. Sonuçta iklim bölgelerini

belirlemek için benzer iklim koşullarını bir araya getirmek amaçlanmalıdır. Bu çalışmada da benzer iklim koşullarını “bir araya getirmek” için çeşitli küme analizi metotları ve bu metotlara girdi olarak sunmak için çeşitli yollar izlenmiştir. Bu yollar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

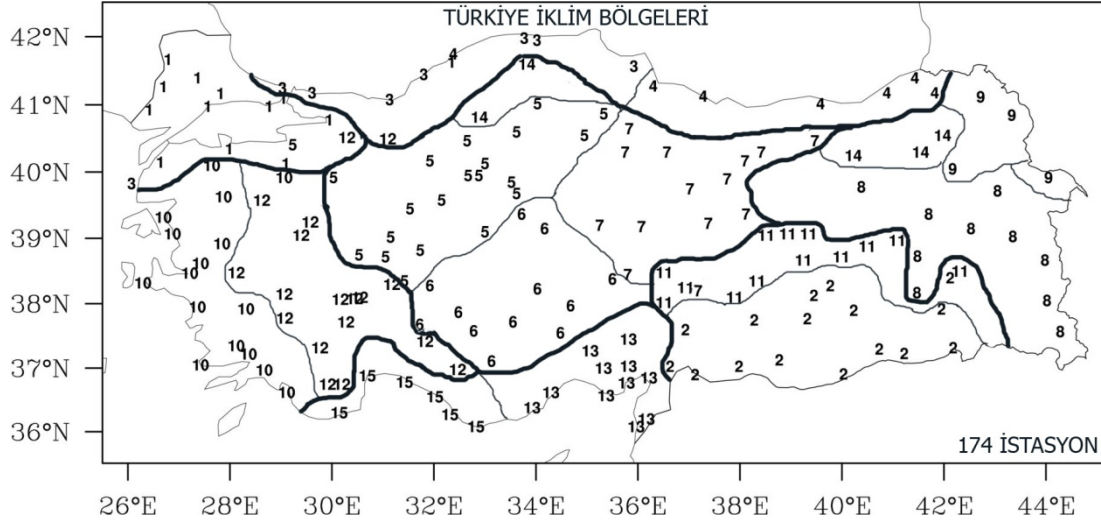
- Küme analizinde kullanılan verilerin normalleştirilmesi.
- Ana bileşen analizi sonucu elde edilen sonuçlarının kullanılması.
- Tüm istasyonların diğer istasyonlarla olan korelasyonlarından oluşan matrisin kullanılması.

Ortalama sıcaklık ve yağış verileri yukarıda anlatılan yollarla kümelendikten sonra bu verilere bağıl nem, maksimum ve minimum sıcaklık verileri ayrı ayrı ya da hep birlikte eklenerek iklim bölgeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Geçiş bölgelerinin varlığı, bölgedeki genel hava dolaşımı ve hava kütleleri, arazinin topografyası ve bakışı gibi jeomorfolojik özellikler, fiziki coğrafya denetçileri, karasallık derecesi ve orografik etmenler ve yükselti de göz önüne alındığında Bulanık-YSA metodu sonuçlarının daha tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yüzden Türkiye iklim bölgelerinin belirlenmesinde Bulanık-YSA metodu sonuçları kullanılacaktır. Şekil 5'te bulunan iklim bölgeleri 1974-2002 yılları arasında ölçülmüş aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve aylık bağıl nem zaman serilerinden elde edilen korelasyonlardan oluşan matrisin, GRYSA tabanlı bulanık-YSA metoduna girdi olarak verilmesi sonucu bulunmuştur.

### **Türkiye iklim bölgelerinin farklı ve ortak yönlerinin fiziki coğrafya denetçileri açısından değerlendirilmesi**

Genel olarak subtropikal kuşak anakaralarının batısında egemen olan Akdeniz büyük iklim bölgesine dahil edilen Türkiye iklimi, Kuzeydoğu Atlantik ve Akdeniz kaynaklı cephesel siklonların (alçak basınçların), subtropikal antisiklonların (yüksek basınçların) ve Muson alçak basıncının Orta Doğu'ya doğru uzantısını oluşturan Basra alçak basınç alanının mevsimsel yer değiştirmelerinin bir ürünüdür. Atlantik kaynaklı nemli hava akımlarıyla taşınan cephesel orta





Şekil 5. Bulanık-YSA metodu ile belirlenen Türkiye iklim bölgelerinin coğrafi dağılımları

enlem ve Akdeniz siklonları, yaz mevsimi dışında yılın önemli bir bölümünde Türkiye'ye kolaylıkla ulaşmaktadır. Bu uygun koşullar, yazın polar jet akımının yaklaşık 60 °K enlemlerindeki polar cephe kuşağına ve ötesine göçü nedeni ile ortadan kalkar. Böylece, Türkiye ve bölgesi üzerinde, özellikle yaz boyunca Kuzey Afrika ve Orta Doğu/Arabistan bölgelerinden kaynaklanan karasal tropikal hava akımları egemen olur. Genel dolaşımdaki bu değişiklik, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi ve Kuzeydoğu Anadolu Bölümü dışında kalan yerlerinde, yaz boyunca genellikle uzun süreli kuru ve sıcak iklim koşullarının oluşmasına neden olur (Türkeş, 1998, 1999). Türkiye'nin birçok istasyonunda kış yağışlarının yıllık yağış içindeki payı oldukça büyüktür (Türkeş, 1999). Bu yüzden alansal ve zamansal ilişkiler açıklanırken genel olarak kış yağışı ile ilgili analiz sonuçları kullanılacaktır.

### İç Anadolu Bölgesi (İAN) ikliminin incelenmesi

Kuzey Atlantik Salınımı (NAO)'nun davranışları ve ekstrem evreleri sinoptik ve yarımküresel ölçekli hava olaylarını ve bölgesel iklim anomalilerini kontrol etmektedir. Yıllık ya da mevsimlik toplam yağış verilerinin Temel Bileşen Analizi (TBA) sonucu ilk bileşen (TBA1) genel olarak geniş ölçekli ve/veya sinoptik ölçekli atmosfer özellikleri (yüzey ve üst atmosfer hava basıncı rüzgâr sistemleri) ile yakından ilişkilidir (Türkeş vd., 2008)

Kış NAO indisi ve Normalleştirilmiş Yağışlar (NY) arasındaki korelasyon haritasına göre (Türkeş ve Erlat, 2003) ve kış TBA1 yüklem değerleri haritasına göre geniş ölçekli basınç sistemleri ve üst atmosfer sirkülasyonlarının etkisinin 5 numaralı alt iklim bölgesinde daha fazla olduğu ve genel olarak doğuya ve güneye doğru bu etkilerin azaldığı yorumu yapılabilir. Karasallığın etkilerini açık bir şekilde gösteren sonbahar TBA2 sonuçlarına göre ise karasallık Türkiye'nin batısından doğusuna doğru azalmaktadır. Bu sonuca göre İAN bölgesinin en karasal bölgesi bu bölgenin doğusundaki 7 numaralı alt iklim bölgesidir.

Kuraklık indisi haritasına göre (Türkeş, 1998, 1999) yarıkurak ve kurak-yarınemli iklim koşulları, Anadolu'nun karasal iç bölgelerinde egemendir. Türkiye'nin klimatolojik kuraklık anlamında en kurak yöresi Konya ovası (Türkeş, 1999) 6 numaralı alt iklim bölgesidir. Genel olarak Konya ovasından kuzeye ve güneye doğru gidildikçe kurak-yarı nemli iklim koşullar görülmeye başlanır.

### Doğu Anadolu Bölgesi (DAN) ikliminin incelenmesi

Kış TBA1 sonuçlarına göre kısmen kuzeydoğu Atlantik ve Akdeniz orijinli geniş ölçekli cephesel siklonlar ve bununla ilişkili hava sistemlerinin etkisinin Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'ne doğru etkisini kaybettiği görülür (Türkeş vd., 2008). Bu durum kuzeydoğu Anadolu Bölge-

si'nin kış yağışlarının düşüklüğünü çok iyi açıklamaktadır.

Yaz TBA3 sonuçları kıyusal orografik ve iç karasal lokal konvektif yağışları açıklamaktadır. Bu iki durum, kuzeyli sektör yüzeyi ve üst hava akımları ve üst hava merkezleri ve alçakları gibi atmosferik karışıklıklar ile yakından ilişkilidir ve doğu Anadolu dağlarının ve yüksek kuzeydoğu Anadolu platolarının bölgesel yüzey ısınması bu mekanizmaya katkı sağlayarak güçlendirmektedir (Türkeş vd., 2008). TBA3 yükleme değerleri ile hazırlanan haritaya göre sözü edilen mekanizma kuzeydoğu Anadolu'dan batıya ve güneye doğru azalmaktadır ve Batı Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ulaşmadan etkisini tamamen kaybetmektedir.

Yağış karasallığı açısından Türkiye'nin en karasal bölgesi DAN'daki 9 numaralı alt iklim bölgesidir. 8 numaralı alt iklim bölgesi ise Türkiye'nin ortalama yüksekliği en yüksek gölgesidir. Topografik etkiler ve yerel iklim faktörleri bu bölgedeki farklı alt iklim bölgelerinin oluşmasına zemin hazırlamıştır.

#### **Karadeniz Bölgesi (KAD) ikliminin incelenmesi**

Sonbahar TBA2 sonuçlarına göre açık olarak kuzeyli sirkülasyon ve orografyanın Karadeniz yağış rejimine etkileri görülmektedir (Türkeş vd., 2008). Bu etkiler Karadeniz'in doğu ve batı bölgelerine göre farklılık arz etmektedir. TBA2 yükleme değerlerinin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde daha yüksek olması bu bölgedeki orografyanın yağışlara olan etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Batı Karadeniz'de ise özellikle İsfendiyar dağlarının bulunduğu yörede yükleme değerlerinin karasal iç kesimlere ve doğuya doğru Samsun kıyıları boyunca azalması, orografik etkilerin Doğu Karadeniz kıyılarındaki kadar güçlü ve sürekli olmadığı sonucuna vardırı.

Kış NAO indeksi ve NY değerleri arasındaki korelasyon değerleri Karadeniz Bölgesi'nde düşüktür ve doğuya doğru giderek azalmaktadır (Türkeş ve Erlat, 2003). Benzer durum sonbahar mevsiminde de görülmektedir. Bu sonuç bu

bölgede kış ve sonbahar aylarında kuzeydoğu Atlantik kaynaklı geniş ölçekli atmosferik sirkülasyonların ülkenin batı, kuzeybatı ve Anadolu'nun iç kısımlarındaki kadar etkili olmadığını, orografya ve topografya gibi yerel faktörlerin önemli olduğunu göstermektedir.

**Akdeniz Bölgesi (AKD) ikliminin incelenmesi**  
AKD'nin batı kesiminde bulunan 15 numaralı alt iklim bölgesi Türkeş (1998, 1999) kuraklık indeksi haritasına göre "nemli" bölgedir. Bu alt iklim bölgesi kendisi ile aynı ana iklim bölgesinde bulunan 13 numaralı alt iklim bölgesi ile sınırı Türkeş (1998, 1999) kuraklık haritasında yarıkurak, kurak-yarınemli ve yarınemli iklim koşullarına geçişin olduğu sınırla çakışması dikkat çekicidir. Türkeş (1998, 1999) kuraklık indeksi haritasına göre 15 numaralı bölgede nemli iklim koşulları görülürken 13 numaralı kümede yarıkurak, kurak-yarınemli, yarınemli ve nemli iklim koşullarının tümü görülmektedir.

Kış TBA3 sonuçlarına göre, Antalya merkezli güçlü pozitif sinyaller, Akdeniz'in bölge üzerinde orta enlem siklonlarının kış yağışlarına olan etkilerini güçlendiren olası deniz-sıcaklık etkilerini açıklamaktadır (Türkeş vd., 2008). Bu sonuca göre deniz-sıcaklık etkilerinin kış yağışlarına etkisinin özellikle Antalya yöresinde daha önemli olduğunu ve 13 numaralı bölgede bu etkinin azaldığı yorumu yapılabilir.

#### **Ege Bölgesi ikliminin incelenmesi**

Atlantik kaynaklı orta enlem ve Akdeniz siklonları ile Azorlar bölgesinden kaynaklanan dinamik oluşumlu subtropikal antisiklonları gibi geniş ölçekli basınç sistemleri ve üst atmosfer sirkülasyonlarının etkisinin Akdeniz ve Ege Bölgeleri'nde aynı olduğu söylenebilir. Akdeniz iklimi görülen Ege bölgesinin iklimi arasındaki farklar ancak yerel faktörlerle belirlenebilir. Bu bölgede bulunan alt iklim bölgelerindeki farklılıkların nedeni mevsimsellik, yağışın yıldan yıla değişebilirliği, direk olarak batıdan gelen, yerine göre kararsız nemli ve ılık Akdeniz hava sistemlerinin etkisi, az da olsa yıllık toplam yağış miktarları farkı gibi etmenlerin doğuya doğru azalarak kendini göstermesi olarak söylenebilir.

### **Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin (GAN) ikliminin incelenmesi**

Yarıkurak ve kurak-yarınemli iklim koşulları (yazlar kurak ve çok sıcak, kışlar yağışlı ve soğuk), Güneydoğu Anadolu üzerinde egemendir (Türkeş, 1998, 1999). Bu bölge, İAN'dan fazla yağış almasına karşın daha kuraktır. Kuraklığın daha etkili olmasında, yaz sıcaklığının fazlalığı nedeniyle buharlaşmanın şiddetli olması etkilidir. Bu bölgede mevsimsellik kuzeye doğru azalmaktadır (Türkeş, 1998, 1999).

GAN bölgesinde TBA analizi sonucuna göre görülen pozitif sinyalli yüklemeler Muson alçağının etkisini göstermektedir (Türkeş vd., 2008) (Asya yaz Muson alçağının sirkülasyon tabanlı etkisi). Bu dağılım belirgin bir biçimde Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin 2 numaralı alt iklim bölgesinin sınırlarına benzemekte ve en yüksek yükleme değerini bu bölgede almaktadır ve karasal iç kısımlara doğru hızlı bir biçimde azalmakta ve kaybolmaktadır. Sonbahar TBA3 sonuçlarına göre (Türkeş vd., 2008) Muson alçağının etkisi yaklaşık olarak 11 numaralı alt iklim bölgesinin kuzey sınırında tamamen kaybolmaktadır.

Bu bölgede, 2 numaralı bölgede görülen mevsimsellik, kuraklık, yıldan yıla yağış değişkenliği de 11 numaralı alt iklim bölgesine doğru azalmaktadır (Türkeş, 1998, 1999).

### **Marmara Bölgesi'nin (MARG) ikliminin incelenmesi**

Bu iklimin genel karakterini tropikal ve polar hava kütlelerinin mevsimlik frekansları tayin eder. Bu bölge sirkülasyon bakımından çok hareketlidir. Istranca (Yıldız) dağları, Karadeniz'in nemli havasını iç kısımlara sokmaz. Basınç koşulları nedeniyle hâkim rüzgâr, yönü kuzey olduğundan, Balkanlar üzerinden gelen nemli hava kütleleri nemini Balkan dağlarına bıraktığından, nemden yoksun kuru özellik taşıyarak buralara ulaşır. Bu yüzden Trakya'da karasal iklimin etkileri görülür. Balkanlardan gelen hava kütleleri Marmara Denizi üzerinden nem alır. Bu nemi güney Marmara kıyılarına taşır, dolayısıyla denizsel iklime neden olur.

Marmara Bölgesi ortak bir bölgesel iklim tipinin hâkimiyeti altında olmakla beraber gerçekte topografya, yükselti, bağıl konum, bakı ve vejetasyon gibi faktörlerin karakterlerindeki değişikliklerden dolayı bazı önemli farklarla birbirinden ayrılan belirgin bir iklim tipi arz eder.

### **Sonuçlar**

Aşağıda bu makalenin sonuçları maddeler halinde özetlenecektir:

- Bu çalışmada bulanık c-ortalamarlar metodu ve yapay sinir ağlarını beraber kullanan bir bulanık-YSA metodu geliştirilmiştir. Bu metod sonuçlarına göre "belirgin" kümelerin varlığı araştırılabilir ve veri uzayında lineer olarak kümeleşme sağlanabilir.
- Oluşturulan bulanık-YSA metodu, literatürde küme analizi metodlarının performansının test edilmesi için sıkça kullanılan iris verisi üzerinde denenmiş ve % 94'lük bir performans göstererek küme analizi problemlerinde kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Bulanık-YSA metodu uygulanırken kullanılan üç farklı YSA metodundan İBGYSA en iyi sonucu (% 94) vermiştir. İklim bölgelerinin belirlenmesinde ise lineer kümeleşmeler çok daha iyi görüldüğünden GRYSA tabanlı bulanık-YSA metodu kullanılmıştır.
- Geniş ölçekli basınç sistemleri ve üst atmosfer sirkülasyonlarının etkisi, geçiş bölgelerinin varlığı, bölgedeki genel hava dolaşımı ve hava kütleleri, arazinin topografyası ve bakısı gibi jeomorfolojik özellikler, fiziki coğrafya denetçileri, karasallık derecesi ve orografik etmenler ve yükselti de göz önüne alındığında bulanık-YSA metodunun sonuçlarının iklim bölgelerini belirleme konusunda daha tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bulanık-YSA metodunun iklim verilerine uygulanması sonucu 7 adet ana iklim bölgesi ve 15 adet 'alt iklim' bölgesi bulunmuştur.

### **Kaynaklar**

Annas, S., Kanai, T. ve Koyama, S., (2007). Assessing daily tropical rainfall variations using a

- neuro-fuzzy classification model, *Ecological informatics*, **2**, 159-166.
- Bezdek, J.C., Tsao, E. ve Pal, N.R., (1992). Fuzzy kohonen clustering networks, 0-7803-2, 192.
- Burrows, W.R. ve Pudykiewicz, J., (1997). A non-linear regression procedure to produce statistical air-quality forecast models, Air & Waste Management Association's 90<sup>th</sup> Annual Meeting & Exhibition, June 8-13, Canada.
- Fisher, R.A., (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems, *Annual Eugenics*, **7** (Part II).
- Jang R., Sun, C.T. ve Mizutani, E., (1997). Neuro-fuzzy and soft computing, Prentice-Hall, Upper Saddle River 1997, 245.
- Kohonen, T., (1982). Self-organized formation of topologically correct features maps, *Biological Cybernetics*, **43**, 59-69.
- Mitra, S. ve Sankar, K., (1994). Self-organizing neural network as a fuzzy classifier, *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, **24**, 3.
- Ninan, A., Philip, S. ve Mahanti, P.K., (2001). Soft computing models for weather forecasting, Cochin University of Science and Technology, India.
- Reimer, E. ve Sodoudi, S., (2004). Climate model for the catchment area of the elbe river with neuro-fuzzy methode, EMS Annual Meeting Abstracts, *European Meteorological Society*, **1**, 00374.
- Türkes, M., (1998). İklimsel değişebilirlik açısından Türkiye'de çölleşmeye eğilimli alanlar, *Bildiri Kitabı*, DMİ/İTÜ II. Hidrometeoroloji Sempozyumu, D.M.İ. Ankara, 45-57.
- Türkeş, M., (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions, *Turkish Journal of the Engineering and Environmental Sciences*, **23**, 363-380.
- Türkeş, M. ve Erlat, E., (2003). Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000, *International Journal of Climatology*, **23**, 1771-1796.
- Türkeş, M., Koç, T. ve Sarış, F., (2008). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1768 (in press).
- Wang, L. ve Feihui, Q.İ., (1999). Adaptive fuzzy kohonen clustering network for image segmentation, Shanghai Jiaotong University Shanghai, 200030, P.R. China.
- Ünal, Y., Kindap, T. ve Karaca., M., (2003). Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis, *International Journal of Climatology*, **23**, 1045-1055.