

## Su Kalitesi İndeksinin Belirlenmesinde Uzman Bulanık Sistem Yaklaşımı

<sup>1</sup>Hatice ERCAN TEKŞEN <sup>1</sup>Ahmet Sermet ANAGÜN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Meşelik Kampüsü, Eskişehir, Türkiye

### Özet

Su insan yaşamında oldukça önemli bir yere sahiptir ve günümüzde sıkça kaliteli su kavramlarından bahsedilmektedir. Test edilmesi planlanan sular için, belirlenmiş su kalite indeksleri (Water Quality Index-WQI) ile analiz edilerek suyun kalitesi hakkında karara varılmaktadır. Ancak bu işlem her analiz sonunda karar vericinin elde edilen parametre değerlerine göre karar vermesinden dolayı sanıldığı kadar kolay olmamaktadır. Bunun yanı sıra uzman, birbirine benzer değerlerde farklı kalite seviyesi belirlemiş olabilmektedir. Ortaya çıkan bu karmaşa ve zorluklar suyun kalitesinin belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımının kullanımını akla getirmektedir. Bu çalışmada su kalitesi indeksinin belirlenmesinde kullanılan her bir parametre (pH, BOD, COD, vb.) için bulanık üyelik fonksiyonları belirlenmiş, ardından karar kuralları (if-then) ile uzman bulanık sistemler oluşturulmuştur. Ayrıca mevcut veriler kullanılarak su kalitesi indeks değeri tahmini için farklı mimarilere sahip yapay sinir ağları oluşturulmuştur. Uzman bulanık sistem ile elde edilen su kalitesi indeks değerleri, yapay sinir ağları ile elde edilen su kalitesi indeks değerleri ile kıyaslanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Su kalitesi indeksi, uzman bulanık sistem, yapay sinir ağları, tahminleme.

### Abstract

Water has an important role in human life and today the concept of high qualified water is mentioned frequently. The quality of water is decided by analyzing water quality indices for water that is planned to be tested. But the process is not easy enough because the decision maker decides according to do values of the parameters at the end of every analysis. Also the expert may define different quality levels that have similar values. These confusions and difficulties makes us think about the use of fuzzy logic approach in deciding water quality indices. In this study, fuzzy membership functions are determined for every parameter (pH, BOD, COD etc.) that issued in determining water quality index then expert fuzzy systems are constituted by decision rules (if-then). Also artificial neural networks are constituted for estimation of water quality index values by using existing data. Water quality index values that are obtained by expert fuzzy system are compared to water quality index values that are obtained by artificial neural networks.

**Key Words:** Water quality index, expert fuzzy systems, artificial neural networks, forecasting

## 1. Giriş

Su insan vücudunun en önemli elementlerinden biridir. Su olmadan hayatın varlığından söz etmek mümkün değildir [1]. Bu sebepten, tüm dünyada çevre koruması ve su kalitesi yönetimi kamu politikalarında önemli konular olarak yer almaktadır [2]. Su kalitesini belirleyen verilerin karmaşık olması, genellikle diğer çevresel kaynakların kalitesiyle ilgili politikalar üretilmesini sağlamıştır.

\*Sorumlu Yazar: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Meşelik Kampüsü, Eskişehir, Türkiye.  
E-mail: ercanhatice@gmail.com

Günümüzde pek çok ülke akarsularının su kalitesini kimyasal, biyolojik ve besin değerleri açısından görmek için, değerlendirmeye ve incelemeye başlamıştır [2]. Bu kimyasal, biyolojik, besin değerleri önemli standartlar olup; insan vücudu mekanizmasının su ve mineraller ile çalıştığı düşünüldüğünde, su kaynaklarının sağladıkları kalite standartlarına göre sınıflandırılması oldukça önem teşkil etmektedir.

İnsanlara göre, suyun kötü kokulu ya da tadının kötü olması veya kirli görünmesi problem olarak görünürken, aslında çoğunlukla ciddi kirlilik veya atıklar suyun bu fiziksel özelliklerinde bir sorun teşkil etmezler ama insan sağlığını ciddi ölçüde olumsuz etkilerler [3]. Bir alan veya kaynaktan alınan suyun kalitesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler değerlendirilerek belirlenebilir. Ancak bu değerler insan sağlığı için yeterince güvenilir değildir. Bu yüzden su kalitesi indeksleri (WQI) tanımlanmıştır. Su kalitesi indeksi, Amerika’da en çok kullanılan 10 su kalitesi parametresi seçilerek, 1965 yılında Horton tarafından geliştirilmiştir. Çözünmüş oksijen, pH, baziklik, klorid gibi parametreler belirlemiştir [4]. Horton’un indeks çalışmasına benzer bir çalışmayı 1970 yılında Brown ve arkadaşları geliştirmiştir [5]. Sonrasında da pek çok çalışmada bu indeksler kullanılmış ve geliştirilmiştir [6, 7].

Bu çalışmada literatürde bahsedilen, suyun kalitesini belirlemede önemli etkilere sahip parametrelerden yararlanılarak suyun kalitesini belirlemeye yönelik iki yöntem kullanılmıştır.

## 2. Malzeme ve Metotlar

Su kalite indeksleri, su kalitesi parametreleri belirlendikten sonra uzman/uzmanların bilgi ve deneyimlerine bağlı olarak belirlenmektedir. Farklı uzmanlar benzer ve/veya aynı parametre değerlerine farklı su kalitesi indeksi belirleyebilmektedir. Hatta aynı uzman farklı zamanlarda yapılan benzer parametre değerlerine farklı su kalitesi indeksi belirleyebilmektedir. Özellikle parametrelerin sınır değerleri veya sınıra yakın değerlerinde uzmanın su kalitesi indeksini belirlemesi zorlaşmaktadır. Belirtilen sıkıntıların giderilmesi için 1965 yılında Zadeh’in geliştirmiş olduğu bulanık sayılardan yararlanmanın anlamlı olacağı düşünülmektedir. Günümüzde su kalitesi indeksinin belirlenmesinde bulanık sayıları ve bulanık mantığı kullanan çalışmalar artmaktadır [1- 3, 8- 12].

Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilen bulanık mantık günümüzde pek çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Bulanık mantığın temelinde yatan prensip doğada tüm verilerin (0, 1), olur-olmaz, olumlu-olumsuz şeklinde olmayıp, ara değerler de bulunabileceğidir. Başka bir ifade ile bulanık mantık, siyah-beyaz dışında verilerin günlük hayatta gri renklerde bulunduğu düşünülerek geliştirilmiştir.

Kumar 2004 yılında Allahabad’ın Sangam Bölgesi’ndeki çalışmasında su kirliliği için bulanık çevre yaklaşımı kullanmıştır [13]. Yadav (2007), Ganga ve Yamuna Nehirleri’nin su kalitesini bulanık mantık yaklaşımıyla değerlendirmiştir [8]. Raman ve arkadaşlarının 2009’da yaptığı çalışmada eğer bulanık mantığın doğru bir şekilde uygulanırsa bazı çevresel stratejiler için yetenekli bir araç olduğundan bahsetmektedir [9]. Abdullah ve arkadaşları 2008’deki çalışmasında benzer bulanık mantık yöntemleriyle Malezya’daki su kalitesi indeksinin geliştirilmesi üzerine

çalışma yapmıştır. Bu çalışma diğer çalışmaların aksine su kalitesi indeksinin sadece kabul edilebilir sonuçlarıyla ilgilenmiştir [2].

Deshpande ve arkadaşlarının hava ve su kalitesi üzerine yayınladığı makalesinde bulanık mantığın kesişen kümelerinden ve bu kesişen kümelerin analiz sonuçlarının uzmanlar tarafından yorumlanırken elde edilen farklılaşmaları küçülttüğünden bahsedilmiştir [14].

Köklü ve arkadaşları 2014'teki çalışmalarında su kalitesi parametrelerini ilk aşamada dört gruba ayrılmış ve her grup için bir sonuç çıktısı elde edilmiştir. Sonraki aşamada elde edilen bu sonuçları bulanık kural tabanlı sistemler ile değerlendirerek su kalitesi indeks değerleri belirlenmiştir [15]. Yine gruplandırma yaparak iki aşamada bulanık kural kullanılan ve sonuç elde edilen benzer bir çalışma Nasr ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışma İran bölgesi için bulanık kural tabanlı sistem oluşturmuşlar ve diğer makalelere kıyasla daha fazla kural geliştirerek uzman sistemdeki oluşabilecek hataları en aza indirmeyi amaçlamışlardır [16]

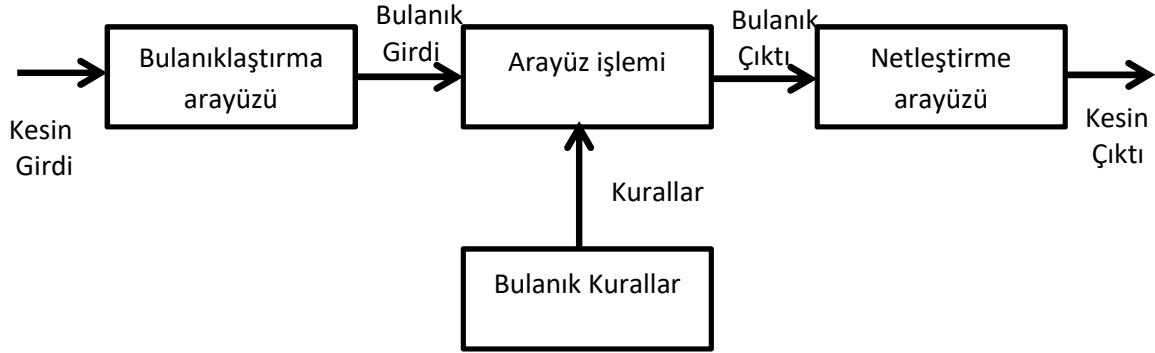
Yapay sinir ağları insan beyninin çalışma mantığını esas alınarak, insan beynindeki öğrenme ve eğitim aşamalarının matematik ekseninde modellenmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Yapay sinir ağları öğrenirken, kendilerine verilen örneklerden çıkarımda bulunurlar, daha sonra yeni örnekler hakkında bu çıkarımlara dayanarak sonuçlar üretirler [17].

Literatür incelendiğinde su kalitesinin belirlenmesinde yapay sinir ağları yöntemini kullanan çalışmalara rastlanılmıştır. Singh ve arkadaşları su kalitesi parametrelerini yapay sinir ağları yönteminde kullanarak bir nehirdeki su kalitesi indeks değerlerini belirlemiştir. Ölçülen değerler ve model ile elde edilen değerler karşılaştırılmıştır [18].

Su kalitesi indeksinin yapay sinir ağlarıyla belirlendiği bir diğer çalışma 2002'de Khuan ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmada su kalitesi indeksleri yapay sinir ağlarındaki farklı öğrenme yöntemleriyle elde edilmiş ve yöntemler kendi aralarında kıyaslanmıştır [19].

Bu çalışma kapsamında ise su kalitesi indeks değerleri için hem bulanık kural tabanlı uzman sistem hem de yapay sinir ağları yöntemi uygulanarak değerlendirme sonuçları kıyaslanmıştır.

Kullanılması planlanan yöntemlerden biri olan kural tabanlı bulanık uzman sistemin farklılığı girdi ve çıktıları bulanık girdi ve çıktı olarak tanımlayıp, bulanık kurallar ile sonuç çıkarmasıdır. Şekil 2.1'de bulanık kural tabanlı bir uzman sistemin çalışma şeması verilmiştir.



Şekil 2.1 Bulanık kural tabanlı uzman sistemin çalışma şeması

Su kalitesi indeksi belirlenirken oluşturulan bulanık uzman sistemin akış diyagramı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Bulanık uzman sistem akış diyagramı

Akış şemasında görülen parametrelerin seçimi kısmında su kalitesi indeksini etkileyen 11 parametre (amonyum azotu, biyo kimyasal oksijen ihtiyacı, klorür, nitrat azotu, nitrit azotu, pH değeri, renk, sodyum, sülfat, sıcaklık ve çözülmüş oksijen) dikkate alınmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler, XYZ barajı belirlenmiş sondaj noktalarından alınan ve laboratuvarında analiz edilen günlük su numuneleridir.

Bulanık mantığın temelindeki üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, her bir parametre için

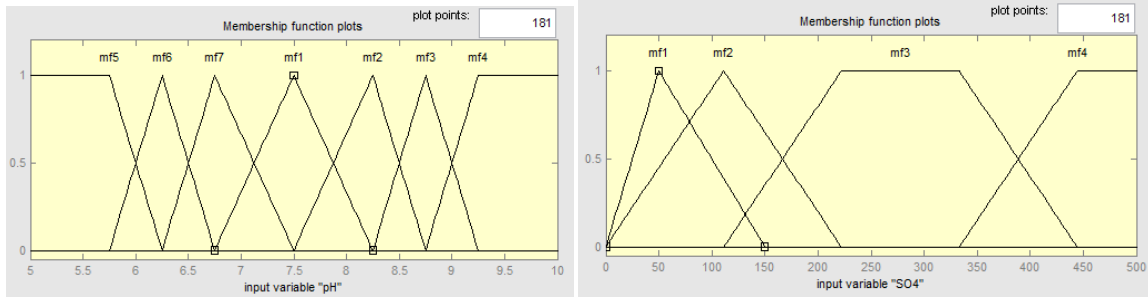
üçgen ve/veya yamuk bulanık sayılarla üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Üçgen bulanık sayıların (ÜBS) ve yamuk bulanık sayıların (YBS) üyelik fonksiyon değerini hesaplamayı sağlayan formüller denklem (1) ve (2)'de sırasıyla gösterilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , x > c \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{x-d}{c-d} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , x > d \end{cases} \quad (2)$$

ÜBS için tanımlanan bulanık  $\tilde{A}$  kümesinin sınır değerleri (a, b, c) olarak belirlenirken YBS için tanımlanan bulanık  $\tilde{A}$  kümesinin sınır değerleri ise (a, b, c, d) olarak belirlenir.

Çalışmada kullanılan her bir parametre için bulanık üyelik fonksiyonları belirlenmesi ve bulanık kuralların oluşturulmasında literatürden yararlanılmıştır [20]. On bir girdi ve bir çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonları tanımlanmış, 205 adet bulanık kural oluşturulmuştur. pH ve sülfat için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 pH ve Sülfat için oluşturulan üyelik fonksiyonları

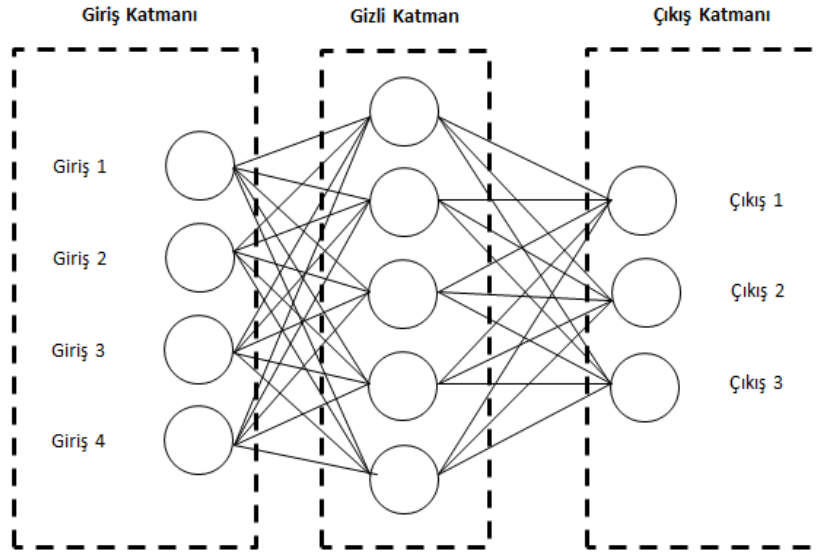
Su kalitesi indeksini belirlemek amacıyla oluşturulan kurallara ilişkin beş kural aşağıda örneklenmiştir;

- Eğer sıcaklık mf1 ve pH mf1 ve çözülmüş oksijen mf1 ve klorür mf1 ve sülfat mf1 ve amonyum mf1 ve nitrit mf1 ve nitrat mf1 ve renk mf1 ve sodyum mf1 ve biyo kimyasal oksijen ihtiyacı mf1 ise su kalitesi indeksi 1'dir.
- Eğer sıcaklık mf2 ya da pH mf2 ya da çözülmüş oksijen mf2 ya da klorür mf2 ya da sülfat mf2 ya da amonyum mf2 ya da nitrit mf2 ya da nitrat mf2 ya da renk mf2 ya da sodyum mf2 ya da biyo kimyasal oksijen ihtiyacı mf2 ise su kalitesi indeksi 2'dir.

- Eğer pH mf2 ve klorür mf1 ve sülfat mf1 ve nitrat mf1 ise su kalitesi indeksi 2'dir.
- Eğer pH mf1 ve klorür mf4 ve sülfat mf4 ve nitrat mf2 ise su kalitesi indeksi 3'tür.
- Eğer pH mf7 ve klorür mf1 ve sülfat mf3 ve nitrat mf4 ise su kalitesi indeksi 4'tür.

Oluşturulan üyelik fonksiyonları ve kurallar MATLAB Programının “Fuzzy” aracında çalıştırılmıştır. Daha sonra 320 adet veri için elde edilen bulanık su kalitesi indeks değerleri, laboratuvar analizleri ile elde edilen su kalitesi indeksleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapay sinir ağları genellikle bir girdi, bir ya da daha fazla gizli ve bir çıktı katmanı içerir. Şekil 2.4'te yapay sinir ağlarının katmanlarının şeması gösterilmiştir [21].



Şekil 2.4 Yapay sinir ağlarının katmanları

Çalışma kapsamında yapay sinir ağları için tek ve iki gizli katmanlı su kalitesi indeks değerleri belirlenmiş ve sonuçlar laboratuvar değerleri ile karşılaştırılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bulanık kural tabanlı su kalitesi indeks değerlerinin belirlenmesi için mevcut veriler MATLAB programına yüklenmiştir. Verilerin 238 tanesinin laboratuvar analiz sonuçları ile birebir uyduğu gözlenmiştir (%74,4). Geriye kalan 82 adet verinin 25 tanesi laboratuvar analizleri ile elde edilen veri değerini içeren kesişen kümelerde yer almıştır. Gerçek verilerin %17,8'inde ise uyumsuzluk gözlenmiştir.

Değerlendirmeler neticesinde gelecek çalışmalar için; sonuçların iyileştirilebilmesi adına yeni bulanık kurallar eklenebileceği gibi, daha anlamlı kurallar da geliştirilebilir. Bu sayede bulanık su kalitesi indeks değerlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğu sonuçlar elde edilebilir. Veri sayısının artırılması ile daha tutarlı sonuçlar gözlenebilir.

Bulanık mantık yaklaşımıyla tahmin edilen su kalitesi indeks değerlerini karşılaştırmak amacıyla, yapay sinir ağları kullanılmıştır. Farklı mimari, parametre, aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmalarına (gizli katman sayısı, katmanlardaki işlem elemanı sayısı, öğrenme oranı, momentum terimi, sigmoid/hiperbolik tanjant, parti öğrenme, geri yayılım, vb) sahip çok katmanlı yapay sinir ağları eğitilmiştir [18, 22, 23]. Denemelerde, bulanık mantık yaklaşımındaki veriler üzerinden 11 girdi ve 1 çıktı değeri dikkate alınmıştır.

Tek gizli katmanlı yapay sinir ağı modellerinde %89,7 ile %91,6 oranında başarı sağlanırken, iki gizli katmanlı yapay sinir ağı modellerinde %96,7 ile %98,5 oranında gerçek verilerle uyum gözlenmiştir. Bulanık mantık yaklaşımına göre daha iyi tahmin sonuçlarının elde edildiği bu uygulama, tahminleme açısından yapay sinir ağlarının su kalitesi indeksi için alternatif bir yaklaşım olduğunu gündeme getirmektedir.

#### 4. Bulgular

Bu çalışmada insan yaşamında oldukça önemli bir yere sahip olan suyun kalitesinin belirlenmesi için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Her iki yaklaşım mevcut verilerden yararlanılarak daha sonra elde edilen verilerle su kalitesi indeksini tahminlemek için oluşturulmuştur. Bulanık kural tabanlı uzman sistem yaklaşımında laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlarda yaklaşık %72-%82 oranında uygunluk görülürken yapay sinir ağları ile bu uyum oranı yaklaşık %90-%98 olarak gerçekleşmiştir.

Bulanık kural tabanlı uzman sistemin su kalitesi indeksi belirlemedeki performansı değerlendirilmek istenen çalışmada, alternatif yöntem olarak görülen yapay sinir ağları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda yapay sinir ağlarının bulanık kural tabanlı oluşturulan mevcut uzman sisteme göre daha anlamlı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

#### Kaynakça

- [1] Nezhad MF, Mehrdadi N, Torabian A. Definition of a new domestic effluent quality index using topsis decision making tool. Canadian Journal of Pure and Applied Sciences 2015;9:3467-72.
- [2] Abdullah MP, Waseem S, Bai V R, Mohsin I. Development of new water quality model using fuzzy logic system for Malaysia. Open Environmental Sciences 2008;2:101-6.
- [3] Mishra N, Jha P. Fuzzy expert system for drinking water quality index. Recent Research in Science and Technology 2014;6:122-5.
- [4] Horton RK. An index number system for rating water quality. J Water Pollu Cont Fed 1965;37(3):300-5.
- [5] Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG. Water quality index-do we dare?. Water Sewage Works 1970;117:339-43.
- [6] Bhargava DS, Saxena BS, Dewakar RW. A study of geo-pollutants in the Godavary river basin in India. Asian Environ 1998;12:36-59.

- [7] Dwivedi S, Tiwari IC, Bhargava DS. Water quality of the river Ganga at Varanasi. Institute of Engineers, Kolkota 1997;78:1-4.
- [8] Yadav S. Water quality assessment of water Ganga and Yamuna during ardh kumbh-2007 by fuzzy analysis [M.S. Thesis], Environment Science, Allahabad University.
- [9] Raman BV, Reinier B, Mohan S. Fuzzy logic water quality index and importance of water quality parameters. Air, Soil Water Research 2009;2:51-9.
- [10] Roveda SRMM, Bondança APM, Silva JGS, Roveda, JAF, Rosa AH. Development of a water quality index using a fuzzy logic: a case study for the Sorocaba River. 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence 2010; art no 5584172.
- [11] Babaei Semiromi F, Hassani AH, Torabian A, Karbassi AR, Hosseinzadeh Lotfi A. Water quality index development using fuzzy logic: a case study of the Karoon River of Iran. African Journal of Biotechnology 2011; 10:10125-33.
- [12] Srivastava P, Burande A, Sharaml N. Fuzzy environmental model for evaluating water quality of Sangam zone during maha kumbh 2013. Applied Computational Intelligence and Soft Computing 2013; art no 265924.
- [13] Kumar M. Application of fuzzy theory approach to study water pollution of sangam zone. M.Tech. Thesis Civil Engineering, Motilal Nehru National Institute of Technology, Allahabad, India 2004.
- [14] Deshpande A, Yadav J, Kharat V. Zadeh-deshpande approach for fuzzy description of air and water quality. Special Issue of BIJIT on Fuzzy Logic 2014;6:677-82.
- [15] Köklü R, Eren B, Şengörür B. Evaluating water quality with fuzzy logic approach. Journal of Selçuk University Natural and Applied Science 2014;ICOEST Conference 2014-1:23-8.
- [16] Nasr AS, Rezaei M, Barmaki MD. Analysis of groundwater quality using mamdani fuzzy inference system (MFIS) in Yazd province, Iran. International Journal of Computer Applications 2012;59:45-53.
- [17] Yılmaz B. Akarçay havzasında çözülmüş oksijen değerlerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesi [Uzmanlık Tezi], Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- [18] Singh KP, Basant A, Malik A, Jain G. Artificial neural network modeling of the river water quality-a case study. Ecological Modelling 2009;220:888-95.
- [19] Khuan LY, Hamzah N, Jailani R. Prediction of water quality index (WQI) based on artificial neural network (ANN). Student Conference on Research and Development Proceedings, Shah Alam, Malaysia 2002;157-61.
- [20] Icaga Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. Ecological Indicators 2007;7:710-8.
- [21] Kaya İ, Oktay S, Engin O. Kalite kontrol problemlerinin çözümünde yapay sinir ağları kullanımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2005;21:92-107
- [22] Renne EB, Saidutta MB. Prediction of Water Quality Indices by Regression Analysis and Artificial Neural Networks. Int. J. Environ. Res. 2008; 2: 183-8.
- [23] Gazzaz NM, Yusoff MK, Aris AZ, Juahir H, Ramli MF. Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors. Marine Pollution Bulletin 2012;64: 2409-20.