

## UYARLAMALI SİNİRSEL BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE AYLIK SU TÜKETİMİNİN TAHMİNİ

**Mahmut FIRAT, M. Ali YURDUSEV ve Mutlu MERMER**

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa

[mfirat@pau.edu.tr](mailto:mfirat@pau.edu.tr), [yurdusev@bavar.edu.tr](mailto:yurdusev@bavar.edu.tr), [mutluins@hotmail.com](mailto:mutluins@hotmail.com)

(Geliş/Received: 17.07.2007; Kabul/Accepted: 18.12.2007)

### ÖZET

Bu çalışmada, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık (USBM) yaklaşımı ile ekonomik ve iklim şartları gibi faktörlere bağlı olarak değişen aylık su kullanımının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için, toplam 108 adet veri toplanmış ve eğitim ve test olarak iki gruba ayrılmıştır. Çeşitli giriş değişkenlerin değişik bileşenlerinden oluşan modeller kurulmuş ve aylık su tüketiminin tahmini için en uygun model yapısı araştırılmıştır. Kurulan her bir model USBM yöntemi ile eğitilerek test edilmiş ve gözlem değerleri ile karşılaştırılarak en uygun model yapısı belirlenmiştir. Bu amaçla, Korelasyon Katsayısı (CORR), Verimlilik (E) ve Karesel Hataların Ortalamasının Karekökü (RMSE) gibi çeşitli performans değerlendirme ölçütleri hesaplanmıştır. Daha sonra, daha doğru ve güvenilir bir karşılaştırma ve değerlendirme yapmak için, en uygun model aynı veri seti kullanılarak Çoklu Regresyon Yöntemi (ÇRY) ile çözülmüş ve test edilmiştir. Her iki yöntem sonuçları karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Elden edilen sonuçlar, USBM yönteminin aylık su tüketimi tahmininde regresyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve su tüketimi tahmininde etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Su tüketimi, su tüketim tahmini, uyarlamalı sinirsel bulanık mantık.

## MONTHLY WATER DEMAND FORECASTING BY ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM APPROACH

### ABSTRACT

In this study, an adaptive Neuro-Fuzzy inference system (ANFIS) is used to forecast monthly water use from several socio-economic and climatic factors, which affect water use. Totally 108 data sets are collected and data sets are divided into two subsets, training and testing. The models consisting of the combination of the independent variables are constructed and the best fit input structure is investigated. The performance of ANFIS models in training and testing sets are compared with the observations and the best fit model forecasting model is identified. For this purpose, some criteria of performance evaluation such as, Root Mean Square Error (RMSE), efficiency (E) and correlation coefficient (CORR) are calculated for all models. Then, the best fit models are also trained and tested by Multiple Regression (MR). The results of models are compared to get more reliable comparison. The results indicated that ANFIS can be applied successfully for monthly water demand forecasting

**Keywords:** Water demand management, water demand forecasting, ANFIS.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su tüketimini, nüfus, nem, sıcaklık, ekonomik ve ticari şartlar ve yağış gibi birçok parametre etkilemektedir. Su tüketiminin tahmin edilmesi, gelecekte ekonomik ve iklim koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişen su ihtiyacının

belirlenmesinde kullanılmaktadır. İklim değişikliğinin oldukça yoğun bir şekilde hissedildiği bir dönemde, su tüketiminin tahmin edilmesi ve modellenmesi, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi, hazne işletme çalışması, pompa istasyonu ve borular gibi su dağıtım elemanlarının planlanması-tasarımı ve yönetilmesi için oldukça büyük önem taşımaktadır. Su talebi

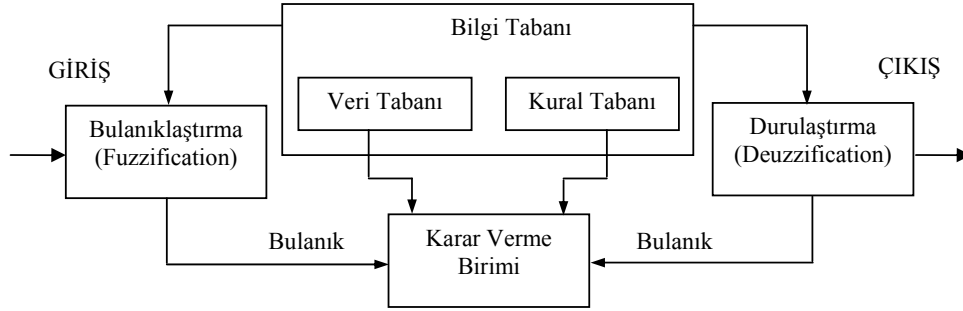
tahmininde, regresyon, Box- Jenkins ve ARIMA zaman serileri gibi birçok yöntem kullanılmaktadır [4]. Lahlou ve Colyer (2000), sürdürülebilir su yönetimi için çoklu regresyon su tüketim modeli önermiştir [17]. Froukh (2001) matematiksel yaklaşım ile karar verme-destek sistemi geliştirerek uzun dönemli su tüketim tahmin modeli geliştirmiştir [10]. Wong ve Mui (2007) yüksek katlı binalarda su talebinin belirlenmesi için matematiksel model geliştirmiştir [27]. Babel ve diğ. (2007)'de yaptığı çalışmada, iklim şartları, politik ve çeşitli sosyo-ekonomik faktörleri dikkate alarak evsel su talebi için çoklu su tüketim tahmin modeli önermiştir [4]. Evsel su tüketimi-talebi kentsel su tüketiminin en önemli bileşeni olduğundan, su talebinin-tüketiminin doğru ve güvenilir yöntemlerle tahmin edilmesi gereklidir. Jain ve diğ. (2001) yaptığı çalışmada, haftalık maksimum su tüketimi değerinin tahmin edilmesinde regresyon modelleri kullanmıştır [2001]. Zhou ve diğ. (2000) yaptığı çalışmada, günlük su tüketimi tahmini için zaman serileri modellerini kullanılmış ve önermiştir [28]. Son yıllarda, Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık (BM) gibi yeni yöntemler, karmaşık su kaynakları ve hidrolojik problemlerin modellenmesinde etkili ve alternatif yöntemler olarak kullanılmaktadır. YSA ile yağış-akış modellemesi [14, 16, 24], hidrolojik zaman serilerinin modellenmesi [12, 15], askı maddesi konsantrasyonu tahmini [21], akış ve katı madde modellemesi [1] gibi çalışmalar yapılmıştır. ASCE Task Committee (2000), hidrolojik olayların tahmin edilmesinde YSA yönteminin uygulamalarını detaylı bir rapor ile yayınlamıştır [3]. Ayrıca, Liu ve diğ. (2003) yaptığı çalışmada, su tüketiminin tahmin edilmesinde YSA yöntemini önermiştir [18]. Bougadis ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada, regresyon, zaman serileri ve YSA yöntemlerinin kısa süreli maksimum su tüketiminin tahmin edilmesinde uygulanabilirliğini araştırmıştır [5]. Diğer taraftan, Zadeh (1965) tarafından önerilen BM yöntemi su kaynaklarının planlanması gibi bir çok alanda uygulanmaktadır [19, 20, 22]. Altunkaynak ve diğ. (2005) İstanbul kenti su tüketim değerlerinin önceki zamanlara ait değerlerini kullanarak BM yöntemi ile geleceğe yönelik su tahmin modeli önermiştir [2]. Son yıllarda, YSA ve BM yöntemlerinin birlikte kullanımından oluşan USBM, inşaat mühendisliğinde ve hidrolojide uygulanmaya başlanmıştır [6, 7, 8, 9, 23, 26].

Bu çalışmanın amacı, USBM yönteminin aylık su tüketiminin tahmin edilmesinde uygulanabilirliği araştırmaktır. Bunun için, aylık su faturası, nüfus, hane sayısı, enflasyon, Gayri Safi Milli Hasıla, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama yağış ve aylık ortalama nem gibi birçok parametre dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin değişik bileşenleri dikkate alınarak modeller kurulmuş ve modeller USBM yöntemi ile eğitilerek test edilmiştir. USBM modellerinin eğitim ve test sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılarak model performansları

değerlendirilmiştir. Daha sonra, daha doğru ve güvenilir karşılaştırma ve değerlendirme yapmak için en uygun model, çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile de eğitilerek test edilmiştir.

## 2.UYARLAMALI SİNİRSEL BULANIK MANTIK YÖNTEMİ (USBM) (ADAPTIVE NEURO- FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS))

Bulanık çıkarım sistemi, temel olarak üç kavramsal bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; bulanık kurallarının toplamından oluşan *kural tabanı*, üyelik derecelerinin tanımlanmasında kullanılan *veri tabanı*, sistem giriş ve çıkışlarından kuralların toplanması ve uygun sonuçların üretilmesi işlevini gören *çıkartım mekanizmasıdır* [7, 25]. BM ile modellemede işleyiş, giriş değişkenlerinin üyelik derecelerinin belirlenmesi, kuralların oluşturulması, bu kurallardan çıkış karakteristiklerinin belirlenmesi, çıkış üyelik fonksiyonlarına geçiş ve en son adım olarak bu sistem çıkışının elde edilmesi şeklindedir. BM ile modellemede en önemli adım giriş/çıkış değişkenlerinin üyelik derecelerinin belirlenmesidir. Son yıllarda, YSA ve BM yöntemlerinin birlikte kullanılmasından oluşan USBM yöntemi kullanılmaktadır. USBM, YSA'nın öğrenme yeteneğini kullanarak giriş ve çıkış değişkenlerini ilişkilendirmekte ve bulanık kurallar oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, model parametrelerinin belirlenmesinde "*eğim düşümü*" yöntemi ve "*en küçük kareler*" yöntemlerinin birleşiminden oluşan *Hybrid öğrenme algoritması* kullanılmıştır. Eğim düşümü yöntemi, lineer olmayan giriş parametrelerinin düzenlenmesinde, en küçük kareler yöntemi ise lineer çıkış parametrelerinin düzenlenmesinde kullanılmaktadır [Nayak ve diğ., 2004b; Fırat ve Güngör, 2007]. Eğim düşümü yöntemi, modellemede ağ hatasını en küçük yapacak şekilde ağırlık katsayılarının değiştirilmesi ve güncelleştirilmesi için kullanılmaktadır. Hybrid öğrenme algoritması yardımıyla, giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin ve çıkış üyelik fonksiyon parametreleri güncellenmekte ve en uygun değerler elde edilmektedir. Literatürde en çok bulanık mantık çıkarım sistemi, *Mamdani* çıkarım sistemi ve *Sugeno* bulanık çıkarım sistemidir. İki sistemi birbirinden ayıran en önemli özellik çıkış değişkenlerinin tanımlanmasıdır. Bu çalışmada, *Sugeno bulanık mantık çıkarım* yöntemi kullanılmıştır. Bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 1'deki gibi verilmektedir. Bulanık çıkarım sisteminde çıkış değişkeni iki şekilde tanımlanır. Bunlar, "*sabit bir katsayı- 0. dereceden Sugeno model*" yada giriş değişkenlerine bağlı "*bir fonksiyon 1. dereceden Sugeno model*" dir.



Şekil 1. Bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı (General structure of fuzzy inference system)

Şekil 2’de iki giriş ve 1 çıkış değişkenine sahip USBM sisteminin yapısı gösterilmektedir. İki girişli bir yapı için 1. dereceden USBM sisteminin kuralları aşağıdaki gibi yazılabilir.

Kural 1: **EĞER**  $x$  is  $A_1$  **ve**  $y$  is  $B_1$  **İSE**

$$f_1 = p_1 * x + q_1 * y + r_1$$

Kural 2: **EĞER**  $x$  is  $A_2$  **ve**  $y$  is  $B_2$  **İSE**

$$f_2 = p_2 * x + q_2 * y + r_2$$

burada,  $x$  ve  $y$ ; bulanık olmayan giriş değerleri,  $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2$  ve  $r_2$  ise çıkarım sisteminin çıkış fonksiyonunun parametreleridir. USBM genel olarak aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

**Giriş düğümü (Tabaka 1):** bu tabakadaki her bir düğüm, giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarını göstermekte ve her bir düğüm çıkışı  $O_i^1$  denklem (1)’deki gibi hesaplanır;

$$\begin{aligned} O_i^1 &= \mu_{A_i}(x) & i &= 1, 2 \\ O_i^1 &= \mu_{B_{i-2}}(y) & i &= 3, 4 \end{aligned} \quad (1)$$

Burada,  $\mu_{A_i}$  ve  $\mu_{B_i}$ ;  $A_i$  ve  $B_i$  bulanık setlerinin üyelik fonksiyonları göstermektedir. Bu çalışmada, denklem (2)’de verilen Gauss tipi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

**Kural düğümü (Tabaka 2):** Bu tabakadaki her bir düğüm AND/OR operatörleri kullanılarak  $\Pi$  ile gösterilen giriş sinyalleri çarpılır ve ateşleme kuvveti  $O_i^2$  elde edilir.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

**Ortalama düğüm (Tabaka 3):** Bu tabakada her bir düğümde elde ateşleme kuvvetleri toplanır ve denklem (4) yardımıyla normalize edilir.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

**Tabaka 4:** Bu tabakada, her bir düğümün model çıktısına katkısı hesaplanır.

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i x + q_i y + r_i) \quad (5)$$

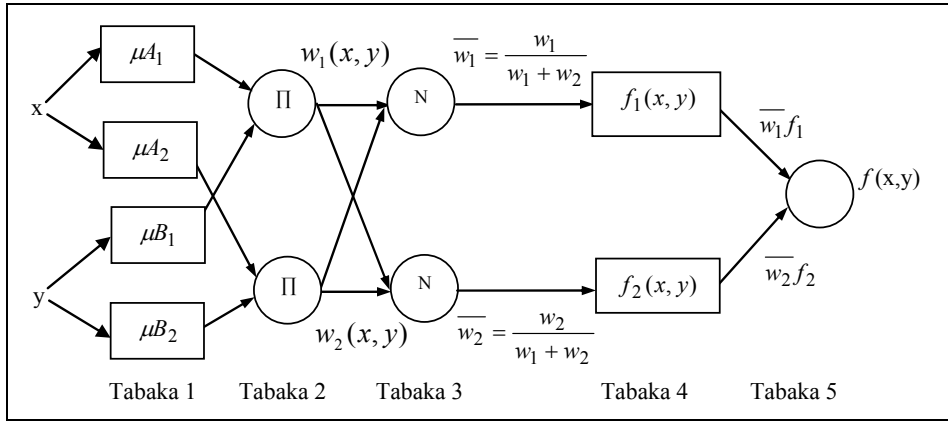
**Çıkış düğümü (Tabaka 5):** Bu tabakada, sistemin genel çıkışı hesaplanır ve durulaştırma işlemi ile bulanık değerden kesin değere dönüştürülür.

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \frac{w_1(x, y)f_1(x, y) + w_2(x, y)f_2(x, y)}{w_1(x, y) + w_2(x, y)} \\ &= \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$O_i^5 = f(x, y) = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

### 3. ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

İzmir, sanayi ve nüfus gelişimi bakımından Türkiye’nin üçüncü en büyük şehridir. Şehir, hızlı bir şekilde gelişmekte ve mevcut alt yapı yıldan yıla eklenen sanayi ve yerleşim yerleri ile yetersiz duruma gelmektedir. Şehrin gelişimi özellikle şehrin uygun iklim özelliğinden dolayı başka kentlerden gelen göçlerden dolayı oldukça hızlıdır. Diğer taraftan, şehir su kaynakları açısından zengin bir şehir değildir. Tablo 1’den de görüldüğü gibi, ortalama sıcaklık oldukça yüksek seviyede iken, yağış miktarı düşük seviyededir. Şehrin mevcut su kaynakları, uzun bir isale hattı ile getirilen Manisa Sarıkız ve Gökusu yeraltı suları, İki adet baraj (Tahtalı ve Balçova) ve bazı mahalli yeraltı su kaynaklarını içermektedir. Su kaynakları planlaması sağlıklı su ihtiyacı tahminlerini gerektirdiğinden bu çalışmada İzmir için aşağıda açıklanacak parametrelere bağlı olarak çok değişkenli bir su kullanım modellemesi sunulmaktadır.



Şekil 2. USBM sisteminin yapısı (The structure of ANFIS)

#### 4. AYLIK SU TÜKETİMİ TAHMİNİ (MONTHLY WATER DEMAND FORECASTING)

##### 4.1. Giriş Değişkenleri (Input Variables)

Su tüketimi (WD), aylık su faturası (SF), nüfus  $P$ , hane sayısı  $H$ , Gayri Safi Milli Hasıla  $GSMH$ , aylık ortalama sıcaklık  $T$ , aylık toplam yağış  $R$ , aylık ortalama nem  $N$  ve enflasyon  $E$  gibi birçok değişken ile karakterize edilebilir. Bu değişkenler ile su tüketimi arasındaki ilişki denklem (8)'deki gibi ifade edilebilir.

$$WD = f(SF, P, H, GSMH, T, R, N, E) \quad (8)$$

Su tüketimi-talebi tahmininde, denklem (8)'de verilen değişkenler tahmin modeli performansı üzerinde oldukça etkilidir. Sistemin oldukça karmaşık yapısından dolayı, tahmin ve modellemede kullanılan çoğu geleneksel yöntemler, güvenilir sonuçların elde edilmesinde yetersiz kalmaktadır. İzmir'in mevcut su sistemi oldukça kırılğan bir yapıya sahip olduğundan, kentsel su kullanımı için limitli kaynakların dikkatli bir şekilde planlanması ve kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, aylık su tüketiminin tahmin edilmesinde USBM yöntemi önerilmektedir. Bu amaçla, İzmir'e ait 1997–2005 yılları arasında gözlenmiş 108 adet veri toplanmıştır. Daha etkili bir tahmin modeli geliştirmek için, eğitim veri setinin ele alınan fiziksel olayın karakteristik özelliğini yansıtacak şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada, eğitim veri seti 1997–2004 yılları arasında gözlenmiş ve toplam veri setinin % 80'ini temsil eden 84 adet veriden oluşmaktadır. Test veri seti ise toplam veri sayısının % 20'sini oluşturan ve 2004–2005 yılları arasında gözlenmiş 24 adet veriye sahiptir. Modellemede kullanılan veri setinin yapısını ortaya koymak için, minimum ( $x_{\min}$ ), maksimum ( $x_{\max}$ ), ortalama ( $\bar{x}$ ), standart sapma ( $s_x$ ) ve çarpıklık katsayısı ( $c_{sx}$ ) gibi çeşitli istatistiksel ölçütler hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir.

##### 4.2. Model Yapıları (Model Structures)

Güvenilir ve etkili bir tahmin modeli geliştirmenin en önemli adımlarından biri giriş değişkenlerinin ve giriş yapısının belirlenmesidir. Çünkü giriş değişkenleri, model yapısını ve sonuçlarını etkilemektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada, giriş ve çıkış değişkenleri arasında korelasyonlar hesaplanarak model yapıları oluşturulmuştur. Bu çalışmada, ilk olarak, daha önceden verilen sekiz adet değişken birer birer kullanılarak I. tip tahmin modelleri kurulmuş ve Tablo 2'de verilmiştir. Her bir model eğitim veri seti ile eğitilerek test veri seti ile test edilmiş ve Korelasyon Katsayısı (CORR), Verimlilik (E) ve Karesel Hataların Ortalamasının Karekökü (RMSE) gibi ölçütler hesaplanarak performansları değerlendirilmiştir.

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^N (WD_D - \overline{WD_D}) \cdot (WD_Y - \overline{WD_Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (WD_D - \overline{WD_D})^2 \cdot (WD_Y - \overline{WD_Y})^2}} \quad (9)$$

$$E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad (10)$$

$$E_1 = \sum_{i=1}^N (WD_D - \overline{WD_D})^2, \quad E_2 = \sum_{i=1}^N (WD_Y - \overline{WD_D})^2$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (WD_D - \overline{WD_D})^2}{N} \right]^{0.5} \quad (11)$$

**Tablo 1.** Veri setleri için hesaplanan istatistiksel parametreler (The statistical parameters for data set)

Ölçüt	$WD$ ( $m^3$ )	$SF$ ( $YTL / Kişi$ )	$P$ ( $Kişi$ )	$H$	$GSMH$ ( $YTL / Kişi$ )	$T$ ( $^{\circ}C$ )	$R$ ( $mm$ )	$N$ ( $\%$ )	$E$ ( $\%$ )
$x_{max}$	11328637.00	50.87	4021065.00	756589.00	42057.57	29.90	287.40	76.70	101.60
$x_{min}$	5887594.00	19.64	3105515.00	455705.00	6467.51	5.60	0.00	39.40	8.72
$\bar{x}$	8218526.10	30.14	3543783.15	609016.59	13176.02	18.34	60.72	63.26	48.78
$s_x$	1144414.34	7.50	267861.65	89830.10	9210.20	7.22	71.33	7.18	28.33
$c_{sx}$	0.5037	0.75	0.09	0.00	1.65	0.10	1.48	-0.51	-0.01

**Tablo 2.** I. Tip Su Tüketim Tahmin modelleri  
(Type-I Water Demand Forecasting Models)

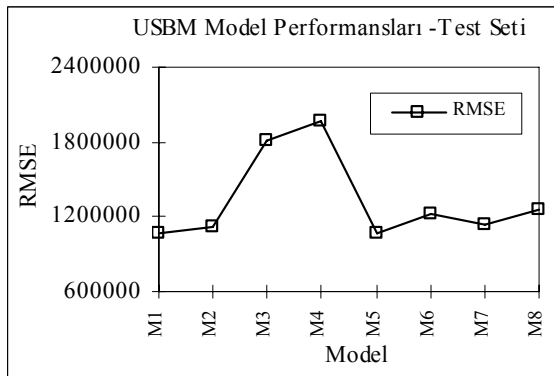
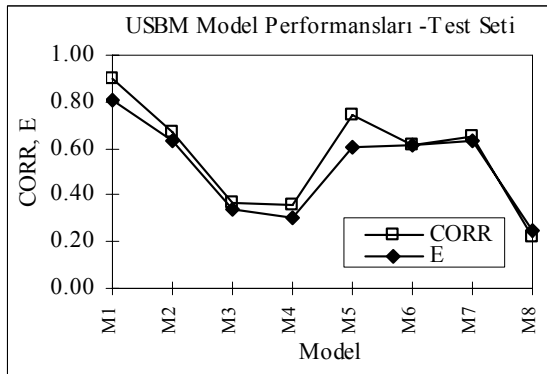
M.no	Giriş	Çıkış	M.no	Giriş	Çıkış
M1	$SF$	$WD$	M5	$T$	$WD$
M2	$P$	$WD$	M6	$R$	$WD$
M3	$H$	$WD$	M7	$N$	$WD$
M4	$GSMH$	$WD$	M8	$E$	$WD$

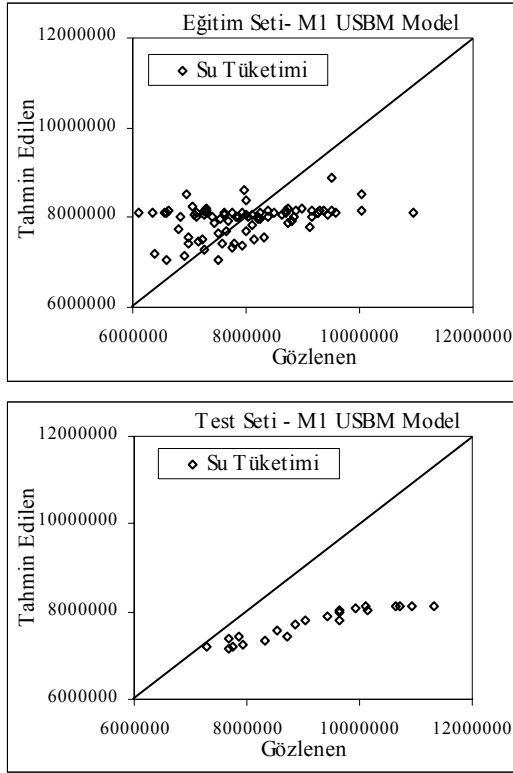
Burada,  $WD_Y$ ; tahmin edilen su tüketimi,  $WD_D$ ; gözlenmiş su tüketimi,  $\overline{WD}_y$ ; tahmin edilen su tüketim değerlerinin ortalaması,  $\overline{WD}_D$ ; gözlenmiş su tüketimi değerlerinin ortalamasını göstermektedir. CORR ve E terimleri en çok kullanılan istatistiksel parametre olup gözlenmiş ve hesaplanmış değerler arasındaki ilişki hakkında bilgi verir. Bu iki ölçütün 1'e yakın değerler alması modelin iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 3'de I. Tip

Şekil 3'den de görüldüğü gibi USBM modeller genel olarak performans değerlendirme ölçütlerinde önemli değişimler göstermiştir. Genel olarak grafikler incelendiğinde, M1 USBM olarak tanımlanan modelin diğer modellere göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. M1 USBM modeline ait CORR ve E değerleri diğer modellere göre daha yüksektir. Diğer taraftan M1 USBM modeline ait RMSE hata ölçütünün de diğer modellere göre daha düşük seviyede olduğu görülmektedir. Ayrıca, diğer model performanslarına bakıldığında, M2, M5 ve M6 USBM olarak tanımlanan modellerin de iyi bir performansa sahip olduğu söylenebilir. Grafikler incelendiğinde, aylık su faturası, aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve nüfus gibi parametrelerin tahmin modellerinin performansında etkili olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, M1, M2, M5 ve M6 USBM modelleri için hesaplanan performans ölçütleri Tablo 3'de verilmektedir. Tablo 3 incelendiğinde, RMSE değerinin en düşük değeri M1 USBM modelinden elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, CORR ve E değerleri karşılaştırıldığında, M1 USBM modeline ait değerler daha yüksek seviyededir. Sonuç olarak, hesaplanan bu ölçütlere göre, I. tip su tüketim tahmini için en uygun modelin M1 USBM olduğu söylenebilir. Şekil 4'de M1 USBM model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması verilmektedir

Bu çalışmada, ikinci olarak, I. tip tahmin modellerin performansları temel alınarak giriş değişkenlerinin değişik bileşenleri ile kurulan II. tip tahmin modelleri Tablo 4'de verilmiştir. Tablo'da verilen modeller eğitilerek test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılarak performansları Şekil 5'de gösterilmektedir.

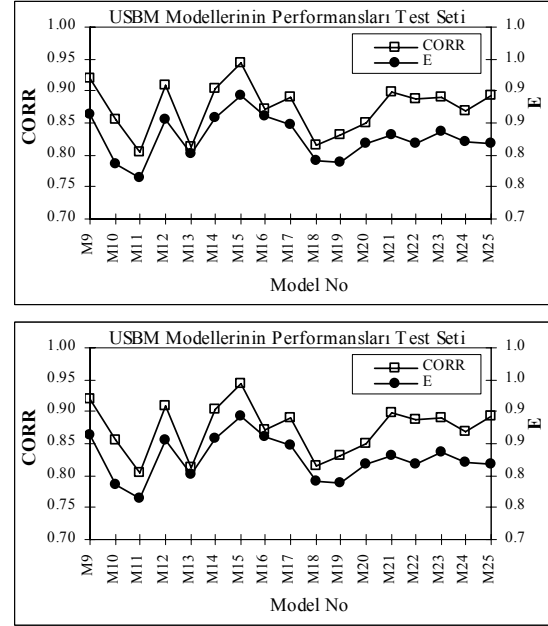
Şekil 5'de verilen sonuçlara göre, genel olarak M15 USBM model performansının diğer modellere göre daha iyi olduğu görülmektedir. Hesaplanan ölçütlerine bakıldığında, M15 USBM modeline ait CORR ve E değerleri diğer modellere göre daha yüksek olduğu söylenebilir. RMSE değerleri karşılaştırıldığında, M15 USBM modeline ait değer diğer modellere göre daha düşük seviyededir. Şekil 5'deki sonuçlara göre, aylık su faturası, nüfus ve aylık ortalama sıcak değişkenlerinden oluşan M15 USBM model su tüketimi tahmininde en iyi performansı göstermiştir.

**Şekil 3.** USBM I. tip tahmin model performansları  
(The performances of Type-I ANFIS models)



**Şekil 4.** USBM model sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of Results of ANFIS Models)

Ayrıca, Şekil 5 incelendiğinde, M9 ve M12 USBM modellerinin de iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, aylık su faturası, nüfus ve aylık ortalama sıcak değişkenlerinin su tüketimi tahmin modelleri performansları üzerinde oldukça etkili olduğu söylenebilir. M15, M9 ve M12 USBM modellerinin performansları Tablo 5’de gösterilmektedir.



**Şekil 5.** USBM tahmin modellerinin performansları (The Performances of the ANFIS Forecasting Models)

Şekil ve Tablo incelendiğinde, II. tip USBM model performanslarının I. tip model performanslarına göre daha iyi olduğu görülmektedir. Tablo 5’e göre, RMSE ölçütünün en düşük değeri M15 USBM modelinden elde edilmiştir. Diğer taraftan CORR ve E değerlerine bakıldığında, en büyük CORR ve E değerleri yine M15 USBM modelinden hesaplanmıştır. Sonuç olarak, aylık su tüketimi tahmini için en iyi model M15 USBM seçilmiş olup gözlem sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 6’da verilmiştir.

**Tablo 3.** USBM model performanslarının karşılaştırılması (Comparison of performances of the ANFIS forecasting models)

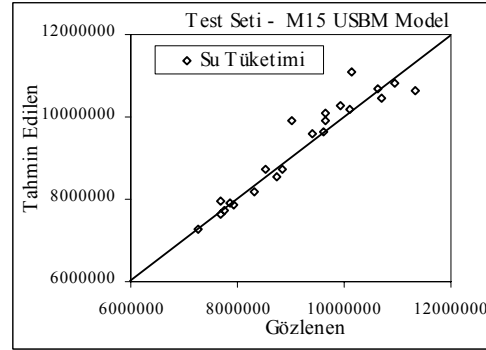
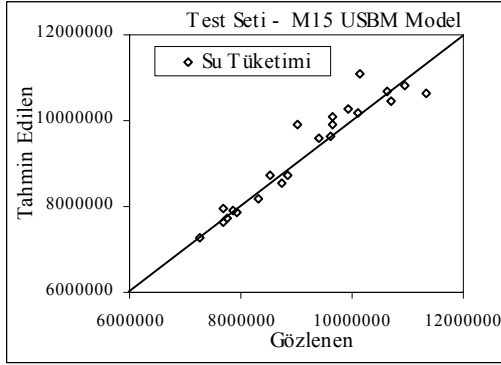
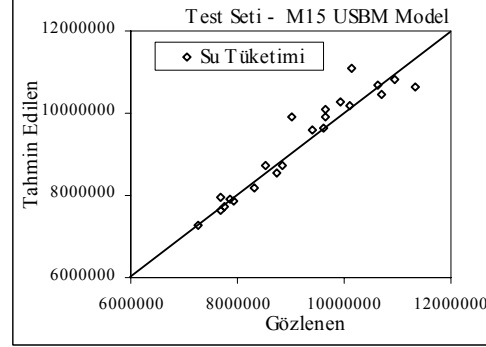
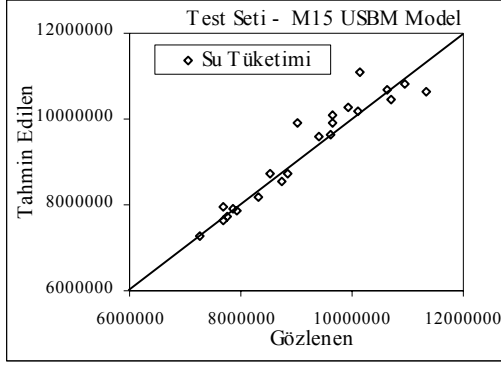
Model	Test Veri Seti (2004 – 2005)			Eğitim Veri Seti (1997 – 2004)		
	RMSE	E	CORR	RMSE	E	CORR
M1	1062787.56	0.803	0.901	827301.60	0.718	0.743
M2	1126027.40	0.632	0.672	890914.20	0.649	0.692
M5	1074193.93	0.605	0.743	630705.30	0.725	0.769

**Tablo 4.** II. tip tahmin modellerinin genel yapısı (General Structures of Type-II Forecasting models)

Model	Giriş Yapısı	Çıkış	Model	Giriş Yapısı	Çıkış
M9	SF, P	WD	M18	P, T, R	WD
M10	SF, T	WD	M19	P, T, N	WD
M11	SF, R	WD	M20	P, T, R, N	WD
M12	P, T	WD	M21	SF, P, T, R	WD
M13	P, R	WD	M22	SF, P, T, N	WD
M14	SF, P, H	WD	M23	SF, H, T, N	WD
M15	SF, P, T	WD	M24	SF, P, T, R, N	WD
M16	SF, H, T	WD	M25	SF, P, T, R, N, E	WD
M17	P, H, T	WD			

**Tablo 5.** USBM tahmin modellerinin performanslarının karşılaştırılması (Comparison of performances of the ANFIS forecasting models)

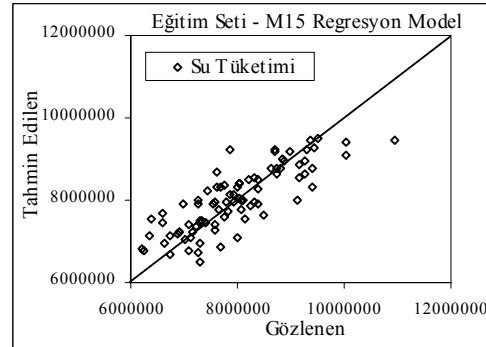
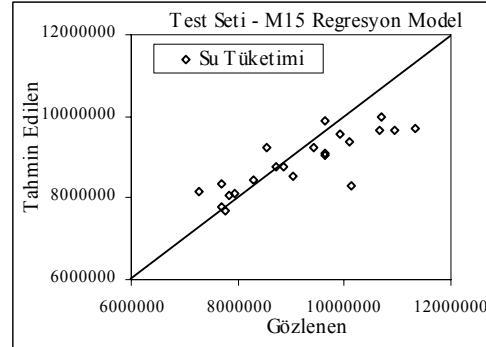
Model	Test Veri Seti (2004 – 2005)			Eğitim Veri Seti (1997 – 2004)		
	RMSE	E	CORR	RMSE	E	CORR
M15	<b>445128.20</b>	<b>0.893</b>	<b>0.944</b>	501082.47	0.843	0.886
M9	460169.80	0.864	0.919	548448.36	0.826	0.871
M12	484469.07	0.856	0.908	531678.39	0.836	0.842

**Şekil 6.** II. tip USBM tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of results of Type-II ANFIS forecasting models)

Elde edilen sonuçlar, USBM yönteminin su tüketimi tahmininde başarılı ve etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir.

Daha etkili ve güvenilir bir karşılaştırma ve değerlendirme yapmak için, en uygun yapıya sahip M15 modeli çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile de çözülmüş ve test verileri ile test edilmiştir. M15 USBM ve çoklu regresyon sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 6 ve Şekil 7'de verilmektedir.

Tablo 6 ve Şekil 7'de verilen sonuçlar karşılaştırıldığında, M15 USBM modelinin çoklu regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. M15 USBM modeline ait CORR ve E değerlerinin çoklu regresyon modeline ait değerlere göre daha yüksek seviyededir. Elde edilen sonuçlara göre, USBM yönteminin su tüketimi tahmininde çoklu regresyon yöntemine göre daha iyi bir performansa sahip olduğu söylenebilir.

**Şekil 7.** M15 USBM ve M15 regresyon model performanslarının karşılaştırılması (Comparison of results the M15 ANFIS and M15 MR models)

**Tablo 6.** USBM ve regresyon model performanslarının karşılaştırılması (Comparison of the performances of the ANFIS and MR Models)

Model	Test Veri Seti			Eğitim Veri Seti		
	RMSE	E	CORR	RMSE	E	CORR
M15 USBM	445128.20	0.893	0.944	501082.47	0.843	0.886
M15 Regresyon	766955.66	0.755	0.828	544825.61	0.685	0.825

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, USBM yönteminin aylık su tüketimi tahmininde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bunun için toplam 108 adet veri toplanarak eğitim ve test olarak iki gruba ayrılmıştır. İki farklı tipte modeller kurulmuş ve eğitilerek sonuçları gözlem sonuçları karşılaştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir. I.tip tahmin model sonuçları karşılaştırıldığında, performans ölçütleri önemli değişimler göstermiştir. Genel olarak, M1 USBM modelin diğer modellere göre daha iyi bir performansla sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan M2 ve M5 USBM olarak tanımlanan modellerin de iyi bir performansla sahip oldukları söylenebilir. Elde edilen bu sonuçlara göre, aylık su faturası, aylık ortalama sıcaklık ve nüfus değişkenleri model performansı üzerinde oldukça etkilidir. Çalışmada ikinci olarak, I.tip model sonuçları dikkate alınarak II. tip tahmin modelleri kurularak aynı veri setleri ile eğitilmiş ve test edilmiştir. Model performansları karşılaştırıldığında, II. tip modellerin I.tip modellere göre daha iyi sonuç vermiştir. II. tip modellerin sonuçlarına bakıldığında, aylık su faturası, aylık ortalama sıcaklık ve nüfus değişkenlerini içeren M15 USBM model performansının diğer modellere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, M15 USBM modeline ait CORR ve E değerleri diğer modellere ait değerlere göre daha yüksek seviyededir. Sonuç olarak, performans ölçütlerine göre, M15 USBM model su tüketimi tahmini için en uygun tahmin modeli seçilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, daha güvenilir ve etkili bir karşılaştırma ve değerlendirme yapmak amacıyla en uygun yapıya sahip M15 modeli çoklu regresyon yöntemi ile de çözülmüş ve test verileri ile test edilmiştir. M15 USBM ve M15 çoklu regresyon sonuçları karşılaştırıldığında, USBM yönteminin çoklu regresyon yöntemine göre daha iyi bir performansla sahip olduğu görülmüştür. Sonuçlar, USBM yönteminin su tüketimi tahmininde başarılı ve etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar ışığında, İzmir bölgesi

için en uygun modelde kullanılan aylık su faturası, aylık ortalama sıcaklık ve nüfus değişkenlerinin tek tek zamana bağlı regresyonundan gelecekteki değerleri tahmin edilip, örneğin 20 yıllık bir tahmin, daha sonra bu değerlerin modele konulması ile gelecek su tüketimi için tahmin gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Agarwal, A., Mishra, S.K., Ram, S., ve Singh, J.K. "Simulation of runoff and sediment yield using artificial neural networks" **Biosystems Engi.**, 94 (4), 597–613, 2006.
2. Altunkaynak, A., Özger, M., ve Çakmakçı, M. "Water Consumption Prediction of Istanbul City by Using Fuzzy Logic Approach", **Water Resources Manage.**, 19, 641–654, 2005
3. ASCE Task Committee. "Artificial neural networks in hydrology-II: Hydrologic applications", **Journal of Hydrologic Engineering**, ASCE 5 (2), 124–137, 2000.
4. Babel, M.S., Gupta, A.D., ve Pradhan, P. "A multivariate econometric approach for domestic water demand modeling: An application to Kathmandu, Nepal", **Water Resour Manage.**, 21, 573–589, 2007.
5. Bougadis, J., Adamowski, K., ve Diduch, R. "Short-term municipal water demand forecasting", **Hydrol. Processes**, 19, 137–148, 2005.
6. Chen, S.H., Lin, Y.H., ve Chang, L.C. "Chang F.J. The strategy of building a flood forecast model by neuro fuzzy network", **Hydrol. Processes.**, 20, 1525–1540, 2005.
7. Chang F.J. Chang Y.T. 2006. Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir. **Advances in Water Resources**. 29: 1-10
8. Fırat M, ve Güngör M. "River Flow Estimation using Adaptive Neuro-Fuzzy inference System", **Mathematics and Computers in Simulation**, 75(3-4), 87-96, 2007.
9. Fırat, M. "Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Havza Modellemesi", Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Denizli, 2007.
10. Froukh, M.L. "Decision-Support System for Domestic Water Demand Forecasting and Management", **Water Resources Management**, 15, 363–382, 2001.
11. Jain, A., Varshney, A.K., ve Joshi, U.C. "Short-term water demand forecast modeling at IIT Kanpur using artificial neural networks", **Water Resources Manage.**, 15, 299–321, 2001.
12. Jain, A., ve Kumar, A.M. "Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting", **Applied Soft Computing**, 7, 585–592, 2007.



13. Jang, J.S.R., Sun, C.T., ve Mizutani, E. **Neuro-Fuzzy and Soft Computing**, PrenticeHall, ISBN 0-13-261066-3, 607p, 1997.
14. Jeong, D., ve Kim, Y.O. "Rainfall-runoff models using artificial neural networks for ensemble stream flow prediction", **Hydrolo. Processes**, 19, 3819–3835, 2005.
15. Komornik, J., Komornikova, M., Mesiar, R., Szökeova, D., ve Szolgay, J. "Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series", **Physics and Chemistry of the Earth**, 31, 1127–1145, 2006.
16. Kumar, A.R.S., Sudheer, K.P., Jain, S.K., ve Agarwal, P.K. "Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks: comparison of network types", **Hydro.Processes**, 19, 1277–1291, 2005.
17. Lahlou M, ve Colyer, D. "Water conservation in Casablanca, Morocco", **J Am Water Resour Assoc.**, 36(5), 1003–1012, 2000.
18. Liu, J., Savenije, H.H.G., ve Xu, J. "Forecast of water demand in Weinan City in China using WDF-ANN model", **Physics and Chemistry of the Earth**, 28, 219–224, 2003.
19. Liong, S.Y., Lim, W. H., Kojiri, T., ve Hori T. "Advance Flood forecasting for Flood stricken Bangladesh with a fuzzy reasoning method", **Hydrological Processes**, 14, 431- 448, 2000.
20. Mahabir, C., Hicks, F.E., ve Fayek, A.R., "Application of fuzzy logic to the seasonal runoff", **Hydrological Processes**, 17, 3749–3762, 2003.
21. Nagy, H.M., Watanabe, K., ve Hirano, M. "Prediction of Sediment Load concentration in Rivers using Artificial Neural Network Model", **Journal of Hydr. Eng.**, 128, 588-595, 2002.
22. Nayak, P.C., Sudheer, K.P., ve Ramasastri, K.S. "Fuzzy computing based rainfall-runoff model for real time flood forecasting", **Hydrological Processes**, 17, 3749–3762, 2004a.
23. Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Rangan, D.M., ve Ramasastri, K.S. "A Neuro Fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", **Journal of Hydr.**, 29, 52–66, 2004b.
24. Rajurkar, M.P, Kothiyari, U.C., ve Chaube, U.C. "Modeling of the daily rainfall-runoff relationship with artificial neural network", **Journal of Hydrology**, 285, 96–113, 2004.
25. Şen, Z. **Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri**, ISBN: 9756455101, 193 p, Su Vakfı Yayınları, 2004.
26. Şen, Z., ve Altunkaynak, A. "A comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation", **Hydrolo. Processes**, 20, 1993–2009, 2006.
27. Wong, L.T., ve Mui, K.W. "Modeling water consumption and flow rates for flushing water systems in high-rise residential buildings in Hong Kong", **Building and Environment**, 42, 2024–2034, 2007.
28. Zhou, S.L., McMahon, T.A., Walton, A., ve Lewis, J. Forecasting daily urban water demand: a case study of Melbourne", **Journal of Hydro.** 236(3), 153–164, 2000.