



## AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE ANFIS YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ

Ramazan ACAR<sup>1,\*</sup>, Kemal SAPLIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye  
<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

### ÖZET

İçme suyu ile kullanma suyunun temini, akarsulardaki kirlilik seviyesi ve baraj, bağlama gibi su yapılarının projelendirilmesi gibi çalışmalarda sediment miktarının tahmini çok önemlidir. Bu çalışmada, Fırat Havzası üzerindeki Göynük Çayı, Murat Nehri ve Peri Suyu gibi nehirler sediment taşınımı konusunda irdelenmiştir. Bölgedeki istasyonlar için yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi yöntemler denenmiştir. Bu üç istasyona ait uygulamalarda debi(Q), sediment(Q<sub>s</sub>), sıcaklık(T) ve yağış(P) verilerinden faydalanılmıştır. Bu veriler ile üç istasyon için sediment tahmin modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller hem eğitim hem de test aşamalarında regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) ve ortalama yüzde hatası (OYH) bakımından karşılaştırılmıştır. Regresyon katsayısı bakımından eğitim ve test aşamalarında en başarılı sonuç yapay sinir ağlarından elde edilmiştir. Ortalama yüzde hatası bakımından ise YSA ve ANFIS yöntemlerinden hem eğitim hem de test aşamalarında birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sediment, Yapay sinir ağları, ANFIS, Akarsular

## DETECTION OF SEDIMENT TRANSPORT IN STREAMS BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND ANFIS METHODS

### ABSTRACT

Prediction of the amount of sediment is of utmost significance in studies about the supply of drinking water and running water, level of pollution in streams and projects about water structures such as dams and regulator. Therefore, detecting the amount of sediment is vital for water resources engineering. In this study, the subject of sediment transport in rivers such as Göynük Stream, Murat River and Peri River on the Euphrates Basin. For the stations in the region, methods such as artificial neural networks (ANN) and adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) were tested. In the practices for these three stations, flow rate (Q), sediment (Q<sub>s</sub>), temperature (T) and precipitation (P) data were taken into consideration. With these data, sediment predictions models were formed for these three stations. These models formed were compared during both the training and test phases in terms of the regression coefficient (R<sup>2</sup>) and mean percentage error (MPE). In terms of the regression coefficient, the most successful result in the training and tests phases was obtained from the artificial neural networks. In terms of the mean percentage error, ANN and ANFIS methods yielded rather close results to each other both in training and in test phases.

**Keywords:** Sediment, ANN, ANFIS, Streams

### 1. GİRİŞ

Akarsular üzerinde çok çeşitli amaçlarla (enerji üretimi, taşkın kontrolü, içme ve kullanma vb.) barajlar inşa edilmektedir. İnşa edilen bu yapıların havzalarını akarsular beslemektedir. Akarsular beraberinde getirdiği katı maddeler (silt, çakıl, kum, kaya parçaları vb.) ile baraj göllerini doldururlar. Bu sebeple barajların hem depolama kapasitesi hem de ekonomik ömürleri azalmaktadır. Bununla birlikte toprağın üst tabakasının da yok olmasına neden olmaktadır. Bu olayların sonucunda da; tarım arazilerinin yok olması, çevre kirliliği ve su yapılarının iş göremez hale gelmesi veya yıkılması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Unutulmamalıdır ki baraj ve bağlama gibi su yapılarının hem boyutlandırılmasında ve hem de ölü hacimlerinin hesabında akarsuların beraberinde taşıdığı sediment miktarına ait değerler kullanılmaktadır.

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ramazanacar@munzur.edu.tr

Geliş / Received: 07.12.2018 Kabul / Accepted: 25.03.2019 doi: 10.28948/ngumuh.681208

Yukarıda belirtilen sorunlardan dolayı hidrolojik olaylar (yağış, sediment taşınımı, akış vb.) arasında var olan ilişkiyi hem doğru hem de güvenilir bir şekilde belirlemek gerekir. Burada her bir hidrolojik olguyu birçok değişkenin etkilemesi bu problemin daha da karmaşık bir hal almasına sebep olmaktadır. Son yıllarda bu karmaşık problemlerin çözümünde yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır [1, 2, 3]. Bunlara örnek olarak yapay sinir ağları (YSA) [4, 5, 6] ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) [7, 8, 9,10,11] gibi yöntemlerdir.

Gunawan ve diğerleri [12] yapay sinir ağı yöntemi olan geri yayılım ağı (BPNN) şemasını kullanarak sediment yükü verileri ile ilgili tahmin çalışmaları yapmışlardır. Sonuç olarak bu modelin korelasyon katsayısı (R) ve ortalama Karesel hata (MSE) kararlılığı ile diğer bilinen hesaplama metotlarına göre daha iyi performans sergilediğini söylemişlerdir. Tayfur ve Güldal [13] nehirlerdeki günlük toplam sediment yükünün (TSS) tahmini için bir yapay sinir ağı (YSA) modelini kullanmışlardır. Bu model ile TSS oranlarının tahmini için yağış (P) verilerini girdi olarak kullanmışlardır. Bu veriler kullanılarak günlük TSS yüklerini başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir ( $R^2=0.91$ ). Buna ek olarak kullandıkları bu modeli doğrusal olmayan kara kutu modeline karşı da test etmişlerdir. Sonuç olarak YSA'nın kara kutu modelinden çok daha iyi bir performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Wieprecht ve diğerleri [14] Ren Nehri'nde yatak yükü ve toplam yatak malzemesi yükünün tahmini için uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) kullanmışlardır. Mevcut veri setlerinin (yatak yükü ve toplam yatak malzemesi) üçte ikisini eğitim aşaması için, kalan üçte birini ise test aşaması için kullanmışlardır. Sonuç olarak; ANFIS modelleme yaklaşımının yatak yükü ile toplam yatak malzemesi yükü tahmini için iyi bir alternatif olabileceğini söylemişlerdir. Seyedian ve Rouhani [15] ABD'de bulunan dört istasyon için günlük sediment yüklerini tahmin etmek için ANFIS'in yeteneklerini incelemişlerdir. Daha sonra oluşturdukları ANFIS modelini RMSE, MBE ve  $R^2$  değerleri açısından sediment anahtar eğrisi (SRC) modeli ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ANFIS modelinin SRC modeline göre daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Fırat Havzası'nda bulunan Murat Nehri Palu (2102), Göynük Çayı Çayağzı (2164) ve Peri Suyu Loğmar (2166) akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait sediment miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu AGİ'lere ait yağış, sıcaklık ve debi verilerine bağlı olarak yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemleri kullanılarak sediment miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ANFIS ve YSA yöntemleri kullanılarak oluşturulan modeller determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama yüzde hatası (OYH) açısından değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışma alanı olarak Fırat Havzası seçilmiştir. Bu bölgede üç adet akım gözlem istasyonu (AGİ) seçilmiştir. Bu istasyonlar; Murat Nehri Palu (2102), Göynük Çayı Çayağzı (2164) ve Peri Suyu Loğmar (2166) istasyonlarıdır. Bu istasyonlar hakkında detaylı bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

- 2102 numaralı istasyon  $38^{\circ} 41' 49''$  kuzey ve  $39^{\circ} 56' 22''$  doğu koordinatlarındadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 859 m ve 25515,6 km<sup>2</sup> alana sahiptir. Tablo 1'de 2102 numaralı istasyonun istatistikleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** 2102 numaralı Murat Nehri – Palu istasyonu

<b>2102 - Murat Nehri - Palu İstasyonu</b>				
	<b>Yağış (mm)</b>	<b>Debi (m<sup>3</sup>/sn)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Sediment Konsantrasyonu (ppm)</b>
<b>Ortalama</b>	1.27	243.42	13.12	609.55
<b>Standart Hata</b>	0.28	28.42	0.63	80.49
<b>Ortanca</b>	0.00	92.21	13.00	152.42
<b>Standart Sapma</b>	3.49	352.67	7.85	998.87
<b>Örnek Varyans</b>	12.18	124372.97	61.56	997734.79
<b>Basıklık</b>	23.69	9.56	-1.18	8.56
<b>Çarpıklık</b>	4.35	2.78	0.04	2.76
<b>Aralık</b>	27.20	2274.96	29.00	5649.69

*AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ*

<b>En Büyük</b>	27.20	2289.29	29.00	5670.62
<b>En Küçük</b>	0.00	14.33	0.00	20.93
<b>Toplam</b>	195.30	37486.92	2021.00	93871.03
<b>Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)</b>	0.56	56.14	1.25	159.02

- 2164 numaralı istasyon 38° 48' 06" kuzey ve 40° 33' 32" doğu koordinatlarındadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 998 m ve 2232,0 km<sup>2</sup> alana sahiptir. Tablo 2'de 2164 numaralı istasyonun istatistikleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.** 2164 numaralı Göynük Çayı – Çayağzı istasyonu

<b>2164 - Göynük Çayı - Çayağzı İstasyonu</b>				
	<b>Yağış (mm)</b>	<b>Debi (m<sup>3</sup>/sn)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Sediment Konsantrasyonu (ppm)</b>
<b>Ortalama</b>	3.12	31.01	13.04	31.02
<b>Standart Hata</b>	0.71	3.79	0.60	3.59
<b>Ortanca</b>	0.00	10.80	12.00	6.24
<b>Standart Sapma</b>	8.59	45.81	7.25	43.36
<b>Örnek Varyans</b>	73.72	2098.62	52.58	1880.26
<b>Basıklık</b>	19.21	4.54	-1.15	3.36
<b>Çarpıklık</b>	4.06	2.21	0.21	1.83
<b>Aralık</b>	60.20	219.54	26.00	225.41
<b>En Büyük</b>	60.20	220.77	27.00	225.88
<b>En Küçük</b>	0.00	1.23	1.00	0.47
<b>Toplam</b>	455.20	4527.96	1904.00	4529.41
<b>Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)</b>	1.40	7.49	1.19	7.09

- 2166 numaralı istasyon 38° 51' 31" kuzey ve 39° 48' 50" doğu koordinatlarındadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 847 m ve 5385,8 km<sup>2</sup> alana sahiptir. Tablo 3'te 2166 numaralı istasyonun istatistikleri gösterilmiştir.

**Tablo 3.** 2166 numaralı Peri Suyu - Loğmar istasyonu

<b>2166 - Peri Suyu - Loğmar İstasyonu</b>				
	<b>Yağış (mm)</b>	<b>Debi (m<sup>3</sup>/sn)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Sediment Konsantrasyonu (ppm)</b>
<b>Ortalama</b>	1.57	66.71	12.58	455.64
<b>Standart Hata</b>	0.51	9.18	0.84	89.01
<b>Ortanca</b>	0.00	33.76	11.50	108.85
<b>Standart Sapma</b>	4.40	80.05	7.33	776.00
<b>Örnek Varyans</b>	19.39	6408.46	53.74	602178.75
<b>Basıklık</b>	11.94	4.58	-1.08	6.17

<b>Çarpıklık</b>	3.41	2.10	0.13	2.57
<b>Aralık</b>	23.90	391.72	25.00	3484.90
<b>En Büyük</b>	23.90	393.64	25.00	3499.20
<b>En Küçük</b>	0.00	1.93	0.00	14.30
<b>Toplam</b>	119.40	5070.23	956.00	34628.40
<b>Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)</b>	1.01	18.29	1.68	177.32

Çalışmada, 2102 numaralı ve 2164 numaralı istasyonlara ait 1993 - 2005 yılları arasında ölçülmüş debi, sıcaklık ve toplam sediment yükü verilerinden sırasıyla 154'er ve 146'şar adet veri değerlendirilmiştir. 2166 numaralı istasyonda ise 1994 - 2000 yılları arasında ölçülmüş debi, sıcaklık ve sediment verilerinden 76'şar adet veri değerlendirilmiştir. Ayrıca bu üç istasyonda girdi verisi olarak kullanılmak üzere yağış verileri de değerlendirilmiştir. Üç istasyonda da tüm verilerin ilk %80'lik dilimi eğitim aşaması, son %20'lik dilimi ise test aşaması için ayrılmıştır.

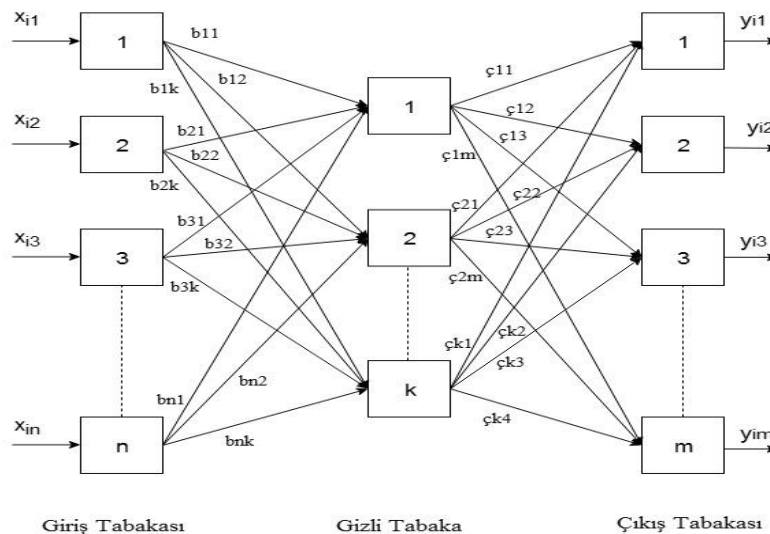
## 2.2. Metot

Bu bölüm içerisinde yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemleri hakkında temel ve teorik bilgiler anlatılmıştır.

### 2.2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beyni ile ilgili binlerce yıl boyunca çalışmalar yapılmıştır. Zamanla gelişen teknolojiden dolayı modern elektronik cihazlar kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte insan beyni ile ilgili çalışmalar da hız kazanmıştır. Yapay sinirler hakkında ilk çalışma McCulloch ve arkadaşları [14] tarafından 1943 yılında yapılmıştır ve elektrik devreleri hakkında yapmış oldukları çalışmaların sonucunda basit yapay sinirler modellemişlerdir. 1959 yılında Widrow ve Hoff [17] ADALINE ve MADALINE isimli yöntemleri geliştirmişlerdir. Problemlerin çözümünde kullanılan ve dünya üzerinde gerçekliği kabul edilmiş ilk yapay sinir ağı modeli MADALINE'dir [6].

Yapay sinir ağları (YSA) ağı YSA'nın yapısı ve matematiksel fonksiyonlar olmak üzere iki bölümde incelenebilir. YSA yapısı girdi, gizli ve çıktı katmanları olmak üzere üç katmandan oluşur (Şekil 1). Gizli hücrelerde tetikleme işlemcisi bulunur. YSA'nın işleyişi, iki matematiksel işleme sahip iç ve dış işlemciler olarak düşünülebilir. YSA'nın iç işleyişi gizli tabakadaki işlemciler tarafından gerçekleştirilmektedir. Dış işleyişinde ise ilk önce ardışık tabaka hücrelerinin arasındaki değerlerin atanması yapılmaktadır. Daha sonra geri besleme vb. işlemler ile çıktıların tahmininde hatanın en aza indirilerek yenilenmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu matematiksel işlemler, YSA'nın öğrenme, eğitime, hatırlama, ağ bağlantılarını yenileme ve sık sık yeni bilgileri tanıma görevlerini üstlenmektedirler [18].



Şekil 1. Genel yapay sinir ağı mimarisi

## AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ

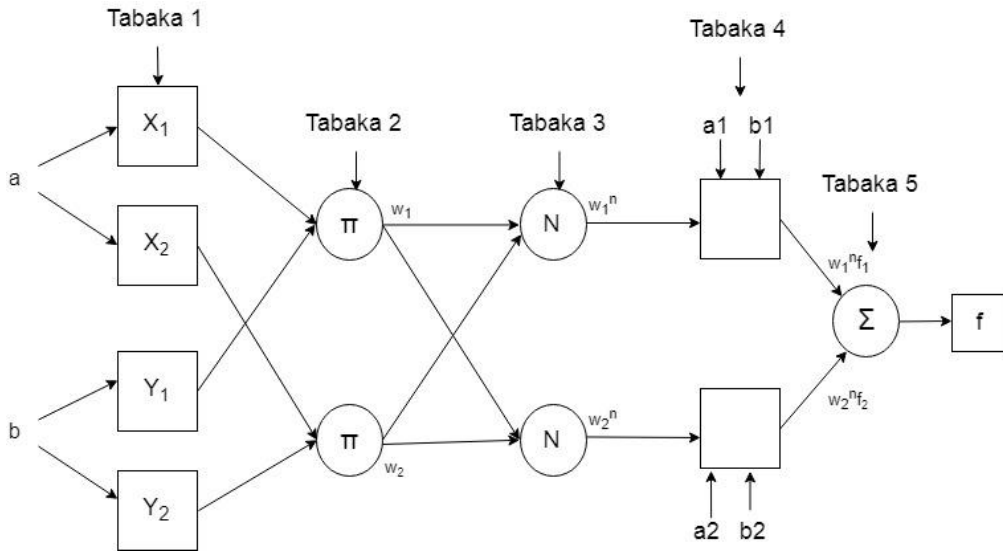
- **Girdi katmanı:** YSA bu katmanda normal sistemler gibi davranır ve giriş verileri doğrultusunda sonuçlar üretir. Bu giriş verileri hem dış dünyadan ve hem de diğer YSA hücrelerinden gelebilir. Burada bulunan nöron sayısı ile dışardan gelen giriş sayısı eşittir. Girdi katmanında genelde verilerin işlemlere tabi tutulmadığı belirtilmiştir [19].
- **Gizli tabaka:** Bu tabakadaki nöron sayısı hem girdi hem de çıktı sayısından bağımsızdır. Hem ara katmanlarda ve hem de gizli tabakadaki nöron sayısının artması durumunda hesap karmaşıklığı ve hesap süresi artar. Buna rağmen yapay sinir ağlarının çok daha karmaşık sorunların çözümü için kullanılabilmesinde etkin rol oynadığı belirtilmiştir [19].
- **Çıktı katmanı:** Ara katmandan iletilen bilgiler son olarak burada işlenir. Daha sonra girdi katmanında bulunan girdilere karşılık olarak ağ tarafından üretilen çıkışlar belirlenir ve kullanıma hazır bilgi haline getirildiği belirtilmiştir [19].

### 2.2.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Uyarlamalı ağlar çerçevesinde uygulanan bir bulanık çıkarım sistemi olan ANFIS ilk olarak Jang (1993) tarafından geliştirilmiş olan bir modeldir. ANFIS'in amacı kuralları otomatik olarak elde etmektir ve bu yönüyle de bulanık mantıktan farklıdır. ANFIS yapısı bulanık mantık çıkarımı ile birlikte YSA'ların öğrenme yeteneğini de kullanır. Bu yönüyle ANFIS hem bulanık mantığın ve hem de YSA modelinin tek başına çalıştırılmasından daha başarılıdır. Girdi değerleri ile çıktı değerleri bilindiği zaman, ANFIS olası tüm kuralları belirler (Denklem 1). ANFIS modeli beş katmandan (buzlanma, kural, normalleştirme, bulanıklaştırma ve toplama) oluşur (Şekil 2). Birinci tabaka ile dördüncü tabaka uyarlanabilir [2].

$$f_1 = p_1a + q_1b + r_1 \quad \Longrightarrow \quad f = \frac{w_1f_1 + w_2f_2}{w_1 + w_2} \quad (1)$$

$$f_2 = p_2a + q_2b + r_2 \quad \quad \quad f = \bar{w}_1f_1 + \bar{w}_2f_2$$



Şekil 2. ANFIS ağ mimarisini

- **Buzlanma tabakası (1. Tabaka):** X ve Y iki özgün girdi değerleridir. X ve Y iki giriş düğümünde beslenirler ve bu da değerleri üyelik işlevlerine dönüştürür.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(a) \quad i=1,2 \quad (2)$$

$$O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(b) \quad i=3,4 \quad (3)$$

Burada,  $O_i^j$  j katmanında i çıkış düğümünü, a veya b girdi değerini,  $\mu_{Ai}$  veya  $\mu_{Bi-2}$  ise bu tabaka ile ilişkili bulanık kümesinin ifade edildiği belirtilmiştir [15].

- **Kural tabakası (2. Tabaka):** Bu katmanda yer alan her düğüm aldığı sinyalleri çoğaltır. Düğümün  $O_i^2$  çıktısı Denklem (4)'deki gibi hesaplanabildiği belirtilmiştir [15]:

$$O_i^2 = W_i = \mu_{Ai}(a) \cdot \mu_{Bi}(b) \quad i=1,2 \quad (4)$$

- **Normalleşme tabakası (3. Tabaka):** Bu tabakadaki düğümlerin çıkışı Denklem (5)'dekine benzer ilişki kullanılarak elde edildiği belirtilmiştir [15]:

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \quad i=1,2 \quad (5)$$

- **Bulanıklaştırma tabakası (4. Tabaka):** Bu tabakada 'i' düğümü birinci kural yöntemine bağlı olarak tanımlanan çıktı modelinin işlevinde 'i' sıralı kuralının sağladığı katkının hesaplandığı belirtilmiştir [15]:

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i A + q_i B + r_i) \quad i=1,2 \quad (6)$$

Burada,  $\bar{w}_i$  üçüncü tabakanın çıktısını,  $p_i$ ,  $q_i$  ve  $r_i$  ise parametre kümelerini ifade eder.

- **Toplama tabakası (5. Tabaka):** Bu tabakanın tek düğümü, sistemin ağırlıklı küresel (global) çıktısını Denklem (7)'deki gibi hesaplandığı belirtilmiştir [15]:

$$O_i^5 = \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

$f$  'in sabit olduğu durumlarda, sıfır sıralı bir Sugeno [20] bulanık modeli elde edilir. Bu da hem Mamdani bulanık çıkarım sisteminin [19] ve hem de Tsukamoto bulanık modelinin [22] özel bir durumu olarak görülebilir. Buna ek olarak, sıfır sıralı bir Sugeno bulanık modeli, bazı küçük kısıtlamalar altında radyal temel fonksiyon ağına işlevsel olarak eşdeğerdir [23].

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Analizler İçin Oluşturulan Modeller

Murat Nehri (2102 numaralı istasyon), Göynük Çayı (2164 numaralı istasyon) ve Peri Suyu (2166 numaralı istasyon) için yağış (P), debi (Q) ve sıcaklık (T) verileri girdi olarak, sediment konsantrasyonu (C) verisi ise çıktı olarak kullanıldığı yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri oluşturulmuştur. Yapay sinir ağları kullanılarak her istasyon için ayrı ayrı 10'ar adet YSA modeli oluşturulmuştur. ANFIS kullanılarak her istasyon için ayrı ayrı 5'er adet ANFIS modeli oluşturulmuştur. Bu modellerden elde edilen sonuçlar hem eğitim verileri ve hem de test verileri için irdelenmiştir.

#### 3.2. 2102 Numaralı Murat Nehri – Palu İstasyonu Tahmin Sonuçları

##### 3.2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Sonuçları

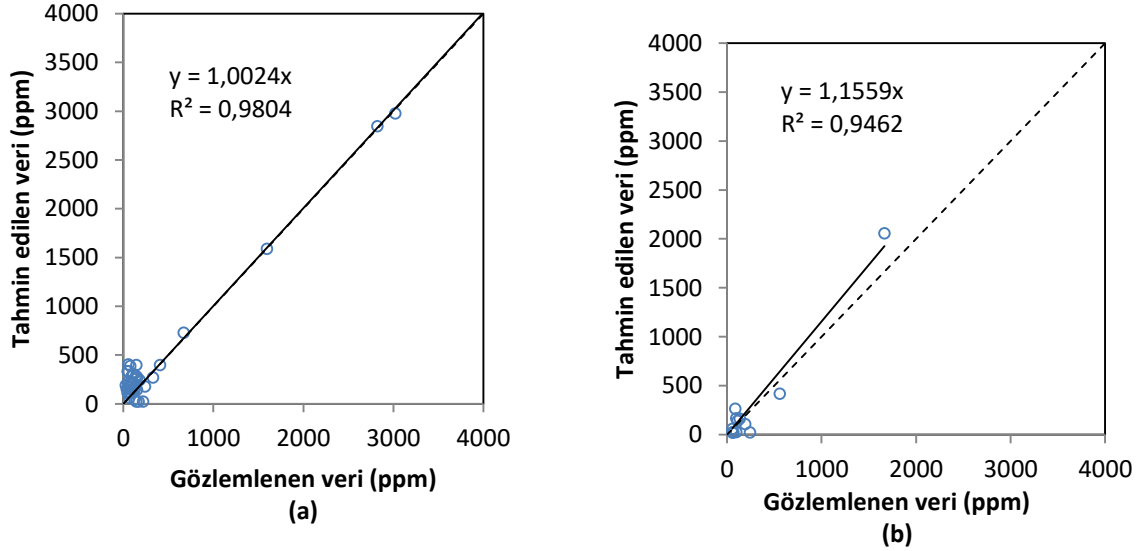
Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Tablo 4'te verilmiştir.

*AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ*

**Tablo 4.** YSA modelleri ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	OYH	R <sup>2</sup>	OYH
<b>P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli</b>	1	0.7524	5.480	0.7414	5.196
	2	0.8563	4.555	0.7983	4.877
	3	0.8963	4.880	0.7027	4.873
	4	0.8549	4.491	0.8472	4.556
	5	0.8654	4.106	0.8167	4.539
	6	0.9062	<b>3.680</b>	0.8443	<b>4.249</b>
	7	0.8440	5.289	0.8324	5.093
	8	0.9494	4.906	<b>0.9462</b>	4.589
	9	0.9591	4.790	0.8050	5.493
	10	<b>0.9804</b>	4.161	0.9405	4.364

3 girdili 8 nöronlu YSA hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R<sup>2</sup> değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 3.** 8 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramları (a) eğitim, (b) test

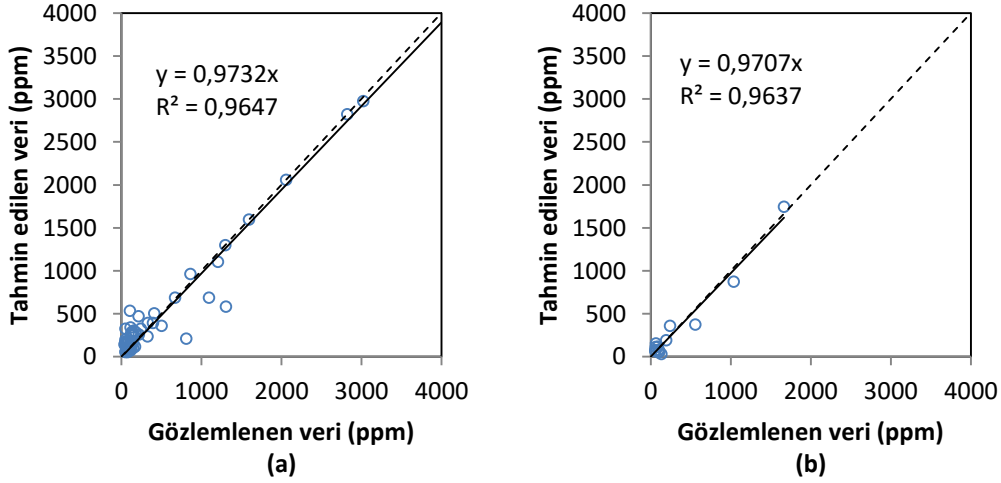
### 3.2.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) Sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** ANFIS modelleri ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	OYH	R <sup>2</sup>	OYH
<b>P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı ANFIS modeli</b>	3-3-3	0.8891	3.781	0.823	4.483
	4-4-4	0.9329	3.781	0.9168	<b>4.296</b>
	5-5-5	0.9358	3.556	0.8205	4.625
	6-6-6	0.953	3.241	0.9134	5.703
	7-7-7	<b>0.9647</b>	<b>2.807</b>	<b>0.9637</b>	5.335

3 girdili 7 alt kümeli ANFIS hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R<sup>2</sup> değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

**Şekil 4.** 3 girdili 7 alt kümeli ANFIS modeline göre saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test

2102 numaralı AGİ için eğitim aşamasında regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan modellerde en iyi performansı sergileyen YSA modelidir (R<sup>2</sup>= 0.9804). Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren ANFIS modelidir (OYH=2.807). 2102 numaralı AGİ için test aşamasında R<sup>2</sup> açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan modellerde en iyi performansı sergileyen ANFIS modelidir (R<sup>2</sup>=0.9637). Ortalama yüzde hatası açısından en iyi sonucu veren YSA modelidir (OYH=4.249).

### 3.3. 2164 Numaralı Göynük Çayı- Çayağzı İstasyonu Tahmin Sonuçları

#### 3.3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Tablo 6'da verilmiştir.

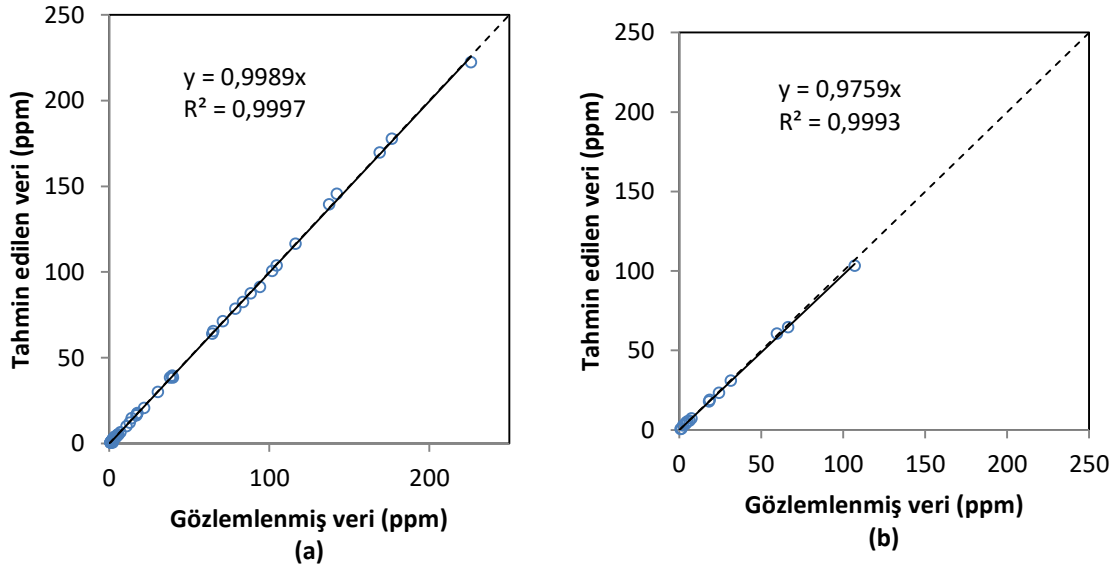


*AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ*

**Tablo 6.** YSA modelleri ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	OYH	R <sup>2</sup>	OYH
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	1	0.9367	3.871	0.9355	3.510
	2	0.9713	3.380	0.9689	3.606
	3	0.9620	3.748	0.9611	3.956
	4	0.9597	4.583	0.9591	3.888
	5	0.9946	0.932	0.9945	<b>1.062</b>
	6	0.9771	4.092	0.9749	3.623
	7	0.9930	3.403	0.9890	2.291
	8	0.9830	3.393	0.9821	3.395
	9	0.9986	1.902	0.9979	1.914
	10	<b>0.9997</b>	<b>1.076</b>	<b>0.9993</b>	1.461

3 girdili 10 nöronlu YSA hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R<sup>2</sup> değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 5.** 10 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test

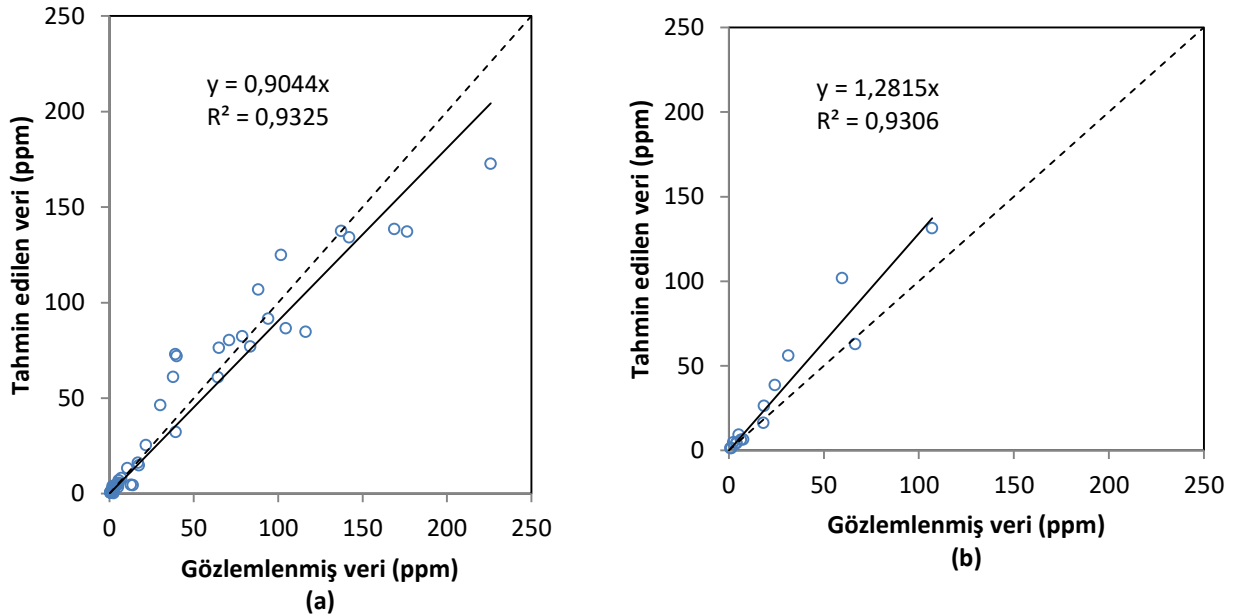
### 3.3.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) Sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** ANFIS modelleri ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	OYH	R <sup>2</sup>	OYH
<b>P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı ANFIS modeli</b>	3-3-3	0.8871	3.850	0.8697	3.694
	4-4-4	0.8864	2.637	0.8768	4.270
	5-5-5	0.9318	1.886	0.9071	3.701
	6-6-6	<b>0.9325</b>	2.002	<b>0.9306</b>	<b>2.967</b>
	7-7-7	0.9209	<b>1.578</b>	0.9013	3.278

3 girdili 6 alt kümeli ANFIS hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 6'da verilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R<sup>2</sup> değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

**Şekil 6.** 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS modeline göre saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test

2164 numaralı AGİ için eğitim aşamasında regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan modellerde en iyi performansı sergileyen YSA modelidir (R<sup>2</sup>= 0.9997). Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modelidir (OYH=1.076). 2164 numaralı AGİ için test aşamasında R<sup>2</sup> açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan modellerde en iyi performansı sergileyen YSA modelidir (R<sup>2</sup>=0.9993). Ortalama yüzde hatası açısından en iyi sonucu veren YSA modelidir (OYH=1.062).

### 3.4. 2166 Numaralı Peri Suyu - Loğmar İstasyonu Tahmin Sonuçları

#### 3.4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Sonuçları

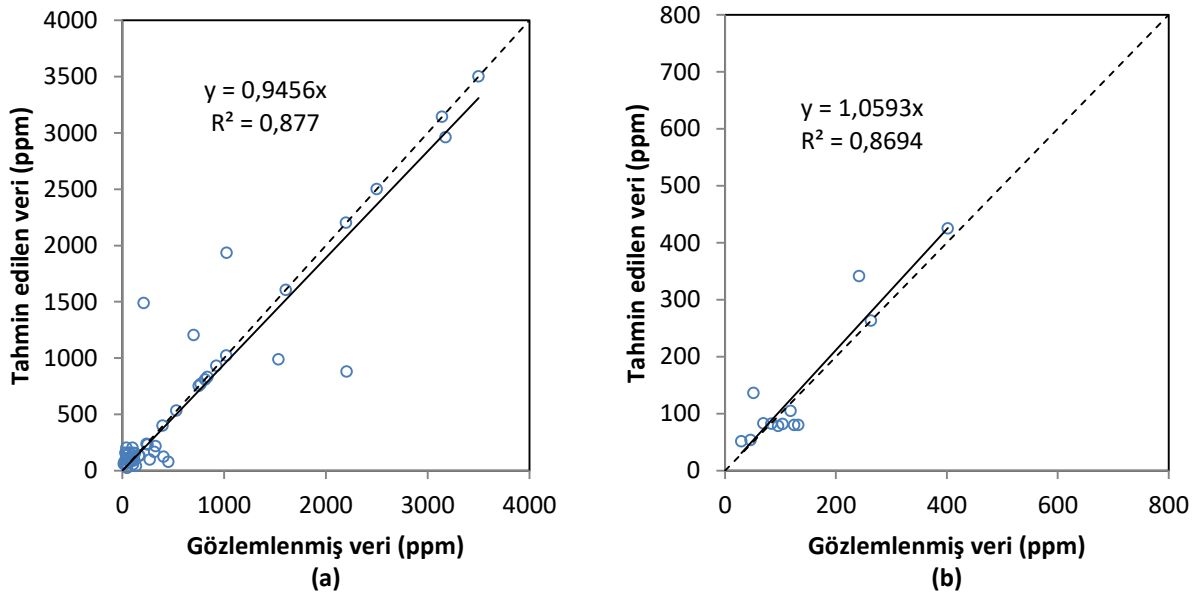
Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Tablo 8'de verilmiştir.

*AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ*

**Tablo 8.** YSA modelleri ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	OYH	R <sup>2</sup>	OYH
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	1	0.8128	4.132	0.7785	3.987
	2	0.8120	5.400	0.7797	3.656
	3	0.8497	4.276	0.7785	3.480
	4	<b>0.9528</b>	4.647	0.7646	4.072
	5	0.8375	4.638	0.7489	5.045
	6	0.8886	4.103	0.7824	3.328
	7	0.8608	4.387	0.7871	3.493
	8	0.8112	5.194	0.7662	3.523
	9	0.8479	4.526	0.8142	2.527
	10	0.8770	<b>3.284</b>	<b>0.8694</b>	<b>2.293</b>

3 girdili 10 nöronlu YSA hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 7’de verilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R<sup>2</sup> değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°’lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 7.** 10 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test

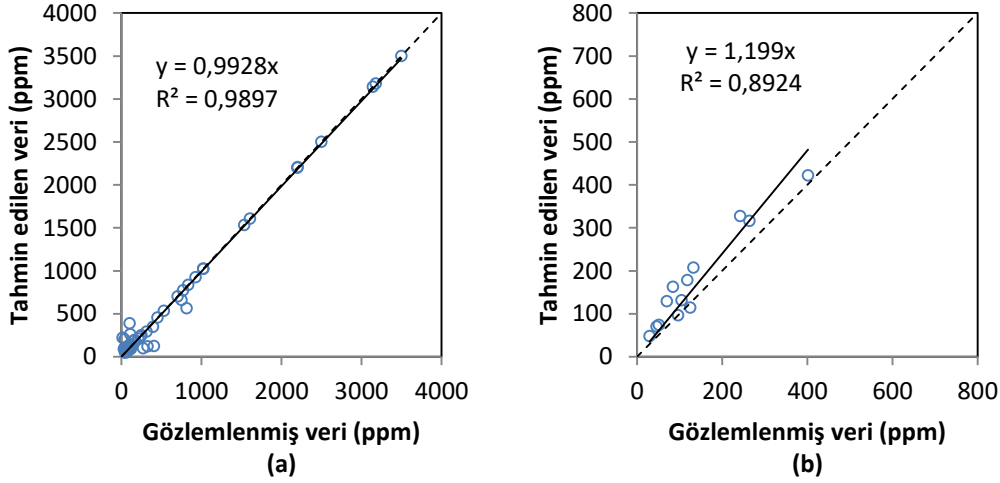
### 3.4.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) Sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9.** ANFIS modelleri ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	OYH	R <sup>2</sup>	OYH
<b>P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı ANFIS modeli</b>	3-3-3	0.8877	3.652	0.8345	3.559
	4-4-4	0.9432	3.213	0.8303	3.281
	5-5-5	0.9449	2.178	0.7999	3.405
	6-6-6	<b>0.9897</b>	2.198	<b>0.8924</b>	<b>2.656</b>
	7-7-7	0.9947	<b>1.956</b>	0.8861	3.170

3 girdili 6 alt kümeli ANFIS hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 8'de verilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R<sup>2</sup> değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

**Şekil 8.** 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS modeline göre saçılım diyagramları (a) eğitim, (b) test

2166 numaralı AGİ için eğitim aşamasında regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) açısından 1994-2000 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan modellerde en iyi performansı sergileyen ANFIS modelidir (R<sup>2</sup>= 0.9897). Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren ANFIS modelidir (OYH=1.956). 2166 numaralı AGİ için test aşamasında R<sup>2</sup> açısından 1994-2000 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan modellerde en iyi performansı sergileyen ANFIS modelidir (R<sup>2</sup>=0.8924). Ortalama yüzde hatası açısından en iyi sonucu veren YSA modelidir (OYH=2.293).

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemlerinin sediment konsantrasyonu tahminindeki performansları araştırılmıştır. Bu amaçla Fırat Havzası'na ait 2102 numaralı, 2164 numaralı ve 2166 numaralı AGİ'ler için sediment tahmin modelleri geliştirilmiştir. Fırat Havzası üzerinde bulunan bu istasyonlarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi (E.İ.E.) tarafından ölçülen sediment miktarı ile YSA ve ANFIS yöntemlerinin tahminleri karşılaştırılmıştır. Yağış (P), debi (Q) ve sıcaklık (T) verileri girdi parametresi olarak, sediment konsantrasyonu da çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan modellerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Hazırlanan YSA ve ANFIS modelleri ile yapılan sediment tahminlerinde, ölçülen değerlere makul ölçüde yakınsadığı saçılma grafiklerinde görülmüştür.

## AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI VE UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TESPİTİ

2. 2102 numaralı istasyonda eğitim aşamasında regresyon katsayıları( $R^2$ ) açısından yapay sinir ağları ANFIS yöntemine göre daha başarılı performans sergilemiştir. Test aşamasında ise ANFIS yöntemi YSA yöntemine göre daha başarılı performans sergilemiştir.
3. 2164 numaralı istasyonda hem eğitim aşamasında hem de test aşamasında regresyon katsayıları( $R^2$ ) açısından yapay sinir ağları ANFIS yöntemine göre daha başarılı performans sergilemiştir.
4. 2166 numaralı istasyonda ise hem eğitim aşamasında hem de test aşamasında regresyon katsayıları( $R^2$ ) açısından ANFIS yöntemi YSA yöntemine göre daha başarılı performans sergilemiştir.
5. Ortalama yüzde hatası bakımından üç istasyon için de yapay sinir ağları ve ANFIS modelleri eğitim ve test aşamalarında birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.
6. Üzerinde çalışılan üç istasyon için regresyon katsayıları ( $R^2$ ) açısından YSA ve ANFIS başarılı performanslar sergilemişlerdir. Hem  $R^2$  hem de OYH sonuçlarına bakıldığında üç istasyon arasından en iyi sonuçlar 2164 numaralı istasyondan elde edilmiştir. 2166 numaralı istasyondan elde edilen sonuçlara bakıldığında ANFIS modelinin, YSA modelinden daha başarılı bir performans sergilediği görülmüştür. Bu da YSA'nın performans konusunda veri sayısından etkilendiğini göstermektedir.

İlerleyen çalışmalarda kullanılan girdi değişkenlerinden farklı girdi verileri kullanılarak sediment konsantrasyonu tahminine yönelik yeni çalışmalar yapılabilir. Hem eğitim hem de test aşamalarında modellerde kullanılan veri sayısının artırılması ile modellerin performanslarının çok daha başarılı olabileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] M. Buyukyıldız, S. Kumcu, "An estimation of the suspended sediment load using adaptive network based fuzzy inference system, support vector machine and artificial neural network Models", Water Resources Management, vol. 31, no. 4, pp:1343-1359, 2017.
- [2] J. Jang, "Anfis: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1993.
- [3] S. Ghavidel, M. Montaseri, "Application of different data-driven methods for the prediction of total dissolved solids in the Zarinerohd basin", Stochastic environmental research and risk assessment, vol. 28 no. 8, pp: 2101-2118, 2014.
- [4] O. Sivrikaya, T. Soyca, "Estimation of compaction parameters of fine-grained soils in terms of compaction energy using artificial neural networks" International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol. 35 no. 17, pp: 1830-1841, 2011.
- [5] H. Erdem, "Predicting the moment capacity of RC beams exposed to fire using ANNs", Construction and Building Materials, vol. 101, pp: 30-38, 2015.
- [6] K. Saplioglu, M. Çimen, "Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, vol. 1, no.1,pp: 14-21, 2010.
- [7] I. Ebtehaj, H. Bonakdari, "Design of a fuzzy differential evolution algorithm to predict non-deposition sediment transport", Applied Water Science, vol. 7, no. 8, pp: 4287-4299, 2017.
- [8] A. Partovian, V. Nourani, M. Alami, "Hybrid denoising-jittering data processing approach to enhance sediment load prediction of muddy rivers", Journal of Mountain Science, vol. 13 no. 12, pp 2135-2146, 2016.
- [9] V. Kitsikoudis, E. Sidiropoulos, V. Hrissanthou, "Assessment of sediment transport approaches for sand-bed rivers by means of machine learning", Hydrological sciences journal, vol. 60 no. 9, pp: 1566-1586, 2015.
- [10] Y. Çatal, K. Saplioglu. "Comparison of adaptive neuro-fuzzy inference system, artificial neural networks and non-linear regression for bark volume estimation in brutian pine (Pinus brutia Ten.)." Applied ecology and environmental research vol.16, no.2, pp: 2015-2027,2018.
- [11] K.Saplioglu, T. S. Kucukerdem. " Estimation of missing streamflow data using ANFIS models and determination of the number of datasets for ANFIS: the case of Yeşilirmak River." Applied ecology and environmental research vol.16, no.3, pp: 3583-3594,2018.
- [12] T. Gunawan, M. Kusuma, M. Cahyono, J. Nugroho, "The application of backpropagation neural network method to estimate the sediment loads", In MATEC Web of Conferences, vol. 101, pp: 5-16, 2017.
- [13] G. Tayfur, V. Guldal, "Artificial neural networks for estimating daily total suspended sediment in natural streams", Hydrology Research, vol. 37, no. 1, pp: 69-79, 2006.
- [14] S. Wieprecht, H. Tolossa, C. Yang, "A neuro-fuzzy-based modelling approach for sediment transport computation", Hydrological sciences journal, vol. 58 no. 3, pp. 587-599, 2013.
- [15] S. Seyedian, H. Rouhani, "Assessing ANFIS accuracy in estimation of suspended sediments", Građevinar, vol. 67 no. 12, pp: 1165-1176, 2016.

- [16] S. McCulloch, H. Pitts, “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Neural Net”, Bulletin of Mathematical Biophysics, vol. 5, no. 4 pp:115-133, 1943.
- [17] B. Widrow, M. Hoff, “Adaptive switching circuits”, 1960 IRE WESCON Convention Record, 4, 96-104. , Newyork, 1960.
- [18] Z. Şen, “Principles of Artificial Neural Networks”, Turkish Water Foundation Publication, in Turkish, 2004.
- [19] Ö. Başkan, “İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2004.
- [20] V. Kitsikoudis, E. Sidiropoulos, V. Hrissanthou, “Assessment of sediment transport approaches for sand-bed rivers by means of machine learning”, Hydrological sciences journal, vol. 60, no. 9, pp: 1566-1586, 2015.
- [21] E. Mamdani, S. Assilian, “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 7, no. 1, pp:1-13, 1975.
- [22] Y. Tsukamoto, “An approach to fuzzy reasoning method, In:M.M. Gupta, R.K. Ragade, and R. Yager, eds. Advances in fuzzy set theory and applications”, Amsterdam: Elsevier Science Ltd., 1979.
- [23] J. S. Jang Sun “Functional equivalence between radial basis function networks and fuzzy inference systems”, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 4, no. 1, pp: 156-159, 1993.

