

## Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi

Emrah DOĞAN\*

### ÖZ

Su kaynakları projelerinin planlanması ve yönetilmesinde nehirdeki katı madde konsantrasyonunun tahmini çok önemlidir. Literatürdeki birçok katı madde taşınım denklemleri birbiriyle uyuşmamakta ve birbirlerinden farklı sonuçlar vermektedir. Ayrıca bu denklemler detaylı akım ve sediment (katı madde) özelliklerine ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmanın ana amacı bağımlı değişken (toplam katı madde konsantrasyonu) ile bağımsız değişkenler (yatak eğimi, akım debisi, ve katı madde dane çapı) arasındaki lineer olmayan ilişkiyi açıklayan etkili bir model kurmaktır. Olayın karmaşık olmasından dolayı bu çalışmada bağımlı değişkenler ve bağımlı değişken arasındaki lineer olmayan ilişkiyi açıklayabilmek için esnek (soft) hesaplama yöntemlerinden yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Sunulan bu çalışmada 60 adet deney verisi YSA modelin oluşturulması için kullanılmıştır. Yapay sinir ağları bazı katı madde taşınım denklemleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, yapay sinir ağlarının diğerlerine göre daha iyi tahminler verdiğini gözlemlenmiştir. Yapay sinir ağlarından sonra en iyi sonucu Modifiye Edilmiş Einstein (Einstein-Brown) denklemi vermiş olup, bu denklemle elde edilen sonuçların yapay sinir ağları ve gözlenen değerlere uyum sağladığı görülmüştür. Graf ve Acaroglu denklemleri ile elde edilen değerlerin ise gözlenen değerle uyum sağlamadığı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Katı madde konsantrasyonu, esnek hesaplama yöntemleri, yapay sinir ağları.

### ABSTRACT

#### Prediction of Sediment Concentration Using Artificial Neural Networks

Estimation of sediment concentration in rivers is very important for water resources projects planning and managements.

In the literature, most of the sediment transport equations do not agree with each other and require many detailed data on the flow and sediment characteristics.

The main purpose of the study is to establish an effective model which includes nonlinear relations between dependent (suspended sediment concentration) and independent (bed slope, flow discharge and sediment particle size) variables. Because of the complexity of

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 07.12.2006 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya - emrahdogan77@gmail.com

the phenomena, a soft computing method artificial neural network (ANNs) which is the powerful tool for input-output mapping is used for estimating total sediment load concentration. In the present study, 60 experiments were used for establishing ANN model. However, ANN model was compared with some sediment transport equations. The results show that ANN model is found to be significantly superior to others. The ANN model performs best followed by the model of Modified Einstein Formula (Einstein-Brown) and also results of Modified Einstein Formula are in agreement with observed data and ANN model. The results of Graf and Acaroglu Formulae however, were not found to be in agreement with the observed data.

**Keywords:** Sediment concentration, soft computing methods, artificial neural networks.

## 1. GİRİŞ

Akarsu üzerine inşa edilen yapıların planlanması ve projelendirilmesinde nehirlerde taşınan katı madde miktarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi hidrolik mühendisliği açısından önem arz etmektedir. Akarsularda katı madde taşınımı, akarsu üzerine yapılan tesislerin ekonomik ömrünü azaltmakta ve tarımsal alanlara da zarar vermektedir. Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama tesislerinde biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır ve zamanla su alma ağzının tıkanmasına sebep olur. Su alma yapısının tıkanması ise haznenin fonksiyon görmez duruma gelmesi demektir.

Ayrıca akarsu taşımacılığı, taşkın kontrolü için akarsu düzenlemelerinde, su kuvveti tesislerinin tip ve yerlerinin seçiminde, viyadük, köprü gibi diğer yapıların akarsu içerisinde kalan ayaklarında meydana gelebilecek oyulma ya da yığılma miktarlarının belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması bakımından katı madde taşınım miktarının tahminleri önemli bir yer tutmaktadır [1, 2].

Katı madde taşınımı aynı zamanda su kalitesini etkilediğinden dolayı sağlık açısından da büyük önem taşımaktadır. Çünkü katı maddelerin kirlilik taşıyıcı bir yönü vardır. Kirlenmiş suların ekolojik dengeyi bozucu bir çok problemi beraberinde getirdiği ise bilinen bir gerçektir. Bu açıdan, bir nehrin ya da rezervuardaki suyun kirlilik seviyesinin tahmininde yine askı maddesi dağılımının başka bir ifade ile askı maddesi konsantrasyonunun gerçek zamandaki tahmini yolunda yapılacak gelişmeler bu problemlerin çözümüne de katkı sağlayacaktır [3].

Genellikle katı madde miktarı ya sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümlerle ya da literatürde bulunan katı madde taşınım denklemleriyle belirlenmektedir. Askı maddesinin doğrudan akarsudan ölçüm metoduyla belirlenmesi en güvenilir yol olmasına rağmen zaman alan ve pahalı bir yöntemdir. Ayrıca birçok gözlem istasyonlarından su debisi ölçülmesine karşın askı maddesi ölçümü yapılmamaktadır. Bununla birlikte taşkınlar sırasında da sediment gözlem istasyonlarından askı maddesi ölçümü yapılamamaktadır.

Diğer taraftan literatürde birçok katı madde taşınım denklemleri bulunmaktadır. Fakat bu formüllerin çoğunda akım ve katı madde özellikleriyle ilgili detaylı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle bu formüller kendi aralarında da çalışmaktadır bu nedenle en iyi çözümü veren denklemi belirlemek oldukça güç olmaktadır. Ayrıca bu denklemler evrensel

değildirler, çoğu laboratuvar verilerine dayalıdır dolayısıyla doğal nehirlerin özelliklerini yansıtmayabilirler [4].

Karşılaşılan bu zorluklar nedeniyle araştırmacılar genellikle kolay, basit ve zaman almayan çözümler bulma yoluna gitmişlerdir. Bu çözüm metodlarından en çok tercih edileni katı madde debisi ile su debisi değişimi arasındaki ilişkiye dayalı olan sediment anahtar eğrisidir. Ancak bu klasik regresyon analizi problemin doğasından kaynaklanan lineer olmayan kompleks ilişkiler sebebiyle iyi sonuçlar vermemektedir [2]. Son yıllarda akarsu debisi ile askı maddesi miktarı arasındaki ilişkiyi açıklamak için yapay sinir ağları kullanılmaya başlanmıştır [5, 6, 7, 8]. Çalışma kapsamında, yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak deneysel yolla elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun tahmini yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda YSA modelinin, Graf, Acaroglu ve Modifiye Edilmiş Einstein denklemlerinden çok daha iyi tahminler verdiği gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında olaya etki eden bağımsız değişkenlerin etkinlik dereceleri de araştırılmış en etkin parametrenin su debisi  $Q_w$ , daha sonra ortalama çap  $D_{ort}$  ve olaya en az etki eden parametrenin ise taban eğimi  $S_o$  olduğu görülmüştür.

## 2. VERİLERİN TOPLANMASI

Bu çalışmanın ana amacı bağımlı değişken olan toplam katı madde konsantrasyonu C ile bağımsız değişkenler olan su debisi  $Q_w$ , taban eğimi  $S_o$  ve ortalama dane çapı  $D_{ort}$  arasında lineer olmayan ilişkiyi etkin bir şekilde modelleyebilmektir. Deneysel çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTU) İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için 12.10x1.80x0.75 m ebatlarında bir kanal tasarlanıp bu kanaldan askı maddesi ve yatak malzemesi ölçümleri yapılmıştır. Bağımsız değişkenler çeşitlendirilerek  $5(Q_w) * 4(S_o) * 3(D_{ort}) = 60$  adet deney seti oluşturulmuş ve buna karşılık gelen bağımlı değişkenler elde edilmiştir [9]. Yapılan bu deneysel çalışmanın veri grubu Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 Deneysel çalışmada elde edilen değerler

Deney No	S m/m	D mm	b cm	$O_w$ lt/s	C ppm	Denev No	S m/m	D mm	b cm	$O_w$ lt/s	C ppm
1	0.008	1.1	180	36	126.42	31	0.013	0.9	180	36	197.19
2	0.008	1.1	180	67	131.71	32	0.013	0.9	180	67	221.3
3	0.008	1.1	180	95	156.92	33	0.013	0.9	180	95	269.14
4	0.008	1.1	180	149	178.1	34	0.013	0.9	180	149	320.76
5	0.008	1.1	180	210	199.33	35	0.013	0.9	180	210	401.07
6	0.012	1.1	180	36	138.81	36	0.015	0.9	180	36	204.38
7	0.012	1.1	180	67	143.18	37	0.015	0.9	180	67	212.02
8	0.012	1.1	180	95	161.24	38	0.015	0.9	180	95	288.15
9	0.012	1.1	180	149	183	39	0.015	0.9	180	149	335.17
10	0.012	1.1	180	210	204.55	40	0.015	0.9	180	210	397.02
11	0.013	1.1	180	36	144.67	41	0.008	0.8	180	36	206.14

Tablo 1 Deneysel çalışmada elde edilen değerler (devam)

Denev No	S m/m	D mm	b cm	O <sub>w</sub> lt/s	C ppm	Denev No	S m/m	D mm	b cm	O <sub>w</sub> lt/s	C ppm
12	0.013	1.1	180	67	168.12	42	0.008	0.8	180	67	217.71
13	0.013	1.1	180	95	197.3	43	0.008	0.8	180	95	270.73
14	0.013	1.1	180	149	219.76	44	0.008	0.8	180	149	329.98
15	0.013	1.1	180	210	247.35	45	0.008	0.8	180	210	378.18
16	0.015	1.1	180	36	153.51	46	0.012	0.8	180	36	234.26
17	0.015	1.1	180	67	176.92	47	0.012	0.8	180	67	245.1
18	0.015	1.1	180	95	209.22	48	0.012	0.8	180	95	312.19
19	0.015	1.1	180	149	232.13	49	0.012	0.8	180	149	384.06
20	0.015	1.1	180	210	266.66	50	0.012	0.8	180	210	446.81
21	0.008	0.9	180	36	166.18	51	0.013	0.8	180	36	242.39
22	0.008	0.9	180	67	172.23	52	0.013	0.8	180	67	265.02
23	0.008	0.9	180	95	220.07	53	0.013	0.8	180	95	359.19
24	0.008	0.9	180	149	255.63	54	0.013	0.8	180	149	421.02
25	0.008	0.9	180	210	296.75	55	0.013	0.8	180	210	504.24
26	0.012	0.9	180	36	193.4	56	0.015	0.8	180	36	258.73
27	0.012	0.9	180	67	205.12	57	0.015	0.8	180	67	268.53
28	0.012	0.9	180	95	237.5	58	0.015	0.8	180	95	381.92
29	0.012	0.9	180	149	291.09	59	0.015	0.8	180	149	499.76
30	0.012	0.9	180	210	360.42	60	0.015	0.8	180	210	597.43

### 3. KATI MADDE TAŞINIM DENKLEMLERİ

#### 3.1 Modifiye Edilmiş Einstein Formülü: (Einstein – Brown, 1950)

$$Q_s = \Phi \left[ (g(\gamma_s/\gamma) - 1) D^3 \right]^{1/K} \quad (1)$$

$$\Phi = 40 \left[ \tau / ((\gamma_s - \gamma) D) \right]^{1/3} \quad (2)$$

$$K = \left[ 2/3 + (36\nu^2/gD^3) \right]^{1/2} - \left[ (36\nu^2/gD^3) \right] \quad (3)$$

#### 3.2 Acaroğlu Formülü: (Acaroğlu, 1968)

$$C = \left[ 21.44 (D^{3/2}) / R\nu \right] (SR/D)^{2.52} \quad (4)$$

### 3.3 Graf Formülü: (Graf, 1971)

$$C = \left[ 16.69 (gRSD)^{0.5} / q_w \right] (\tau_*)^{2.02} \quad (5)$$

$$q_w = Q_w / b \quad (6)$$

$$\tau_* = 0.606 RS / D \quad (7)$$

burada,

$b(L) =$  kanal genişliği

$D(L) =$  dane çapı,

$\gamma_s (M/L^2T^2) =$  katı maddenin (sedimentin) özgül ağırlığı,

$\gamma (M/L^2T^2) =$  suyun özgül ağırlığı,

$\nu (L^2/T) =$  kinematik viskozite,

$S(L/L) =$  taban eğimi,

$g(L/T^2) =$  yerçekimi ivmesi,

$C(ppm) =$  katı madde (sediment) konsantrasyonu,

$R(L) =$  hidrolik yarıçap,

$q_w (L^3/T/L) =$  birim genişlikten geçen su debisi,

$Q_w = L^3/T =$  su debisi,

$\tau (M/L^2) =$  kayma gerilmesi,

$\tau_* (M/L^2/M/L^2) =$  boyutsuz kayma gerilmesi.

## 4. YAPAY SİNİR AĞLARINA GİRİŞ

### 4.1 Yapay Sinir Ağlarının Bileşenleri

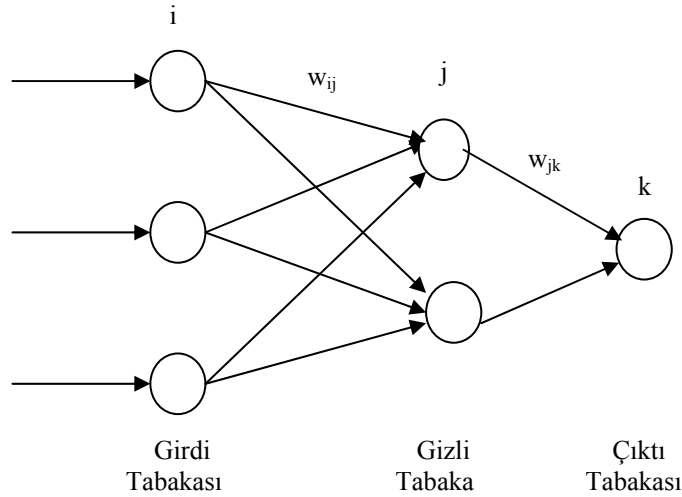
YSA kavramı insan beyninin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri ile ortaya çıkmış olup ilk çalışmalar nöronların matematiksel modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. YSA'lar çok sayıda birbirine paralel birçok işlemci eleman ve aralarındaki bağlantılardan oluşmaktadır. Kısaca üç bileşenden oluşur:

- Nöronlar
- Ağırlıklar (Bağlantı gücü)
- Transfer (Toplama) fonksiyonu

YSA mimarisinde tabakalar ve bunların içerisinde yer alan nöronlar bulunmaktadır. Girdi tabakasından alınan giriş sinyalleri bir sonraki tabakaya aktarılır. Bu işlem ağırlıklar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Burada bahsedilen “ağırlıklar” iki nöron arasındaki bağlantı gücünü ifade etmektedir. Literatürde en çok kullanılan YSA tipi üç tabakalı ileri beslemeli geri yayınlı yapay sinir ağlarıdır [10].

#### 4.2 Üç Tabakalı Yapay Sinir Ağı

Tipik bir üç tabakalı ileri beslemeli YSA Şekil 1 de gösterildiği gibi bir girdi, bir gizli ve bir çıktı tabakasından oluşmaktadır. Şekildeki  $i$ ,  $j$ ,  $k$  sembolleri sırasıyla girdi, gizli ve çıktı katmanlarını ifade etmektedir.  $w$  ise her bir nöronun ağırlığıdır. Alt indisler ise bağlantının hangi nöronlar arasında olduğunu göstermektedir. Örneğin  $w_{ij}$   $i$  nöronundan  $j$  nöronuna olan bağlantıyı açıklar. “İleri beslemeli” ifadesi nöron bağlantılarının girdi tabakasından gizli katmana veya girdi katmanından çıktı katmanına doğru olduğunu ve aynı tabaka içerisinde bulunan nöronların kendi aralarında bağlantı içermediğini vurgular.



Şekil 1 Üç tabakalı ileri beslemeli YSA mimarisi

#### 4.3 Girdi ve Çıktı Parametrelerini Seçilmesi

YSA mimarisini daha etkili kullanmak için problemdeki girdi değişkenleri seçimine çok dikkat edilmelidir. Bunu yapabilmek için de problemi çok iyi anlamak gerekmektedir. Sağlam bir YSA mimarisinde eğitimin daha iyi yapılabilmesi için anahtar değişkenler olaya dahil edilirken gereksiz parametrelerin kullanımından sakınılmalıdır. Bu nedenle, olaya etki eden parametrelerin seçimi için Duyarlılık Analizi yapılmalıdır [10]. Yeterli sayıda veri olması durumunda duyarlılık analizi iyi bir karar verici niteliğinde olmaktadır.

Toplam katı madde konsantrasyonuna etki eden bağımsız değişkenler :

$C=f(Q_w, h, D_{ort}, S_o, g, \rho, b, n, \mu)$  [4] şeklindedir.

burada,

$b(L) =$  kanal genişliği

$D_{ort}(L) =$  ortalama dane çapı,

$\rho(M/L^3) =$  suyun yoğunluğu,

$\rho_s(M/L^3) =$  katı maddenin yoğunluğu,

$\mu(M/LT) =$  suyun dinamik viskozitesi,

$S_o(L/L) =$  kanal taban eğimi,

$g(L/T^2) =$  yerçekimi ivmesi,

$C(ppm) =$  katı madde (sediment) konsantrasyonu,

$h(L) =$  Akım yüksekliği,

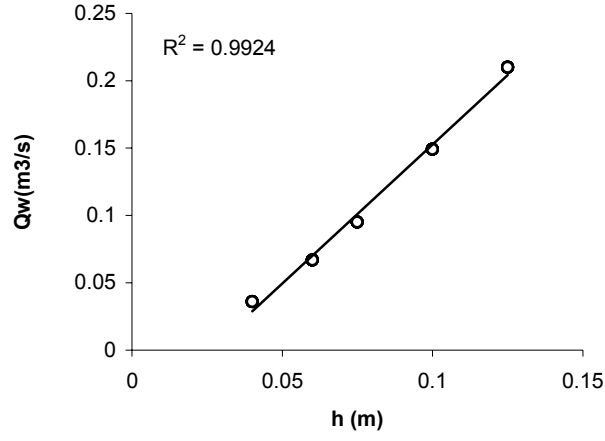
$Q_w = L^3/T =$  su debisi,

$n =$  kanal pürüzlülük katsayısı.

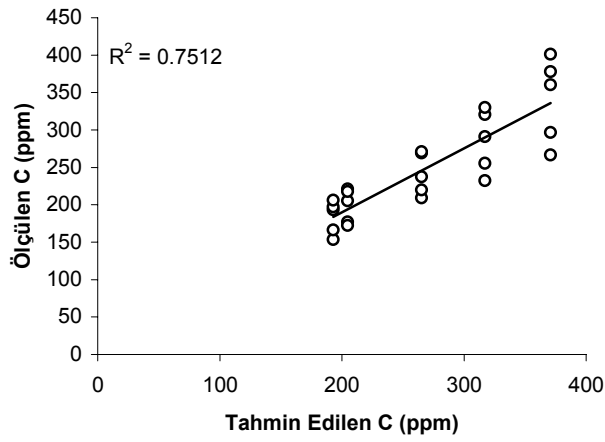
#### 4.4 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi olaya etki eden bağımsız değişkenlerin etkinlik derecesinin araştırılmasıdır. YSA ile bu değişkenler arasında bir analiz yapmadan önce verilerin elde edilebilirliği ve olayın fiziği araştırılmalıdır. Bir parametrenin deney boyunca sabit tutulması ya da ölçülememesi YSA modeli üzerinde herhangi bir etkiye neden olmayacağından bu parametreler modele dahil edilmezler. Dolayısıyla bu problemde suyun viskozitesi  $\mu$ , yoğunluğu  $\rho$ , yer çekimi ivmesi  $g$  ve kanal genişliği  $b$  olaya dahil edilmemiştir. Bu çalışmada kanal pürüzlülük katsayısı  $n$  ölçülmediğinden bu parametrede modele dahil edilmemiştir. Bununla birlikte bu çalışma için Şekil 2 den görüldüğü üzere su yüksekliği  $h$  ile su debisi  $Q_w$  arasında lineer bir ilişki vardır. Dolayısıyla modele  $h$  ile  $Q_w$ 'nin etkisi benzer olacaktır. Bu nedenle su derinliği  $h$  modele herhangi bir katkı vermeyeceği için bu parametrede modele dahil edilmemiştir. Su debisiyle su yüksekliği arasındaki değişim Şekil 2 de gösterilmiştir. Böylece geriye kalan bağımsız değişkenlerin ( $Q_w, D, S_o$ ) su debisine göre değişimleri YSA modeliyle test edilerek Şekil 3 a-c de gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada modellerin kurulmasında 60 veriden 35' eğitim geriye kalan 25'i test seti olarak rasgele seçilmiştir.

*Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi*

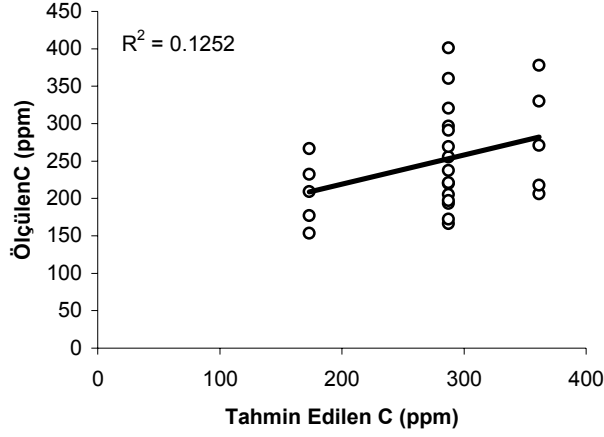


*Şekil 2 Su debisi ( $Q_w$ ) ile su yüksekliği ( $h$ ) arasındaki ilişki*

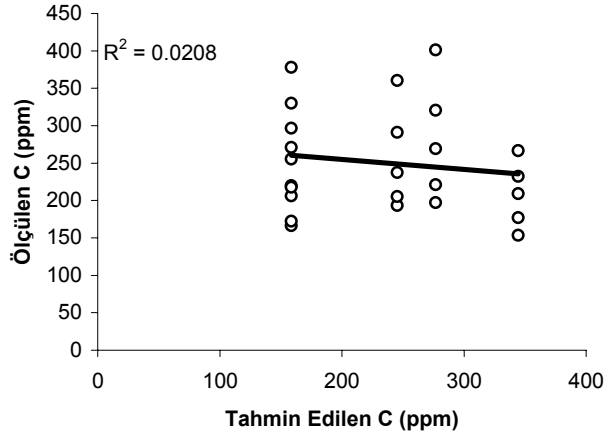


*Şekil 3.2a Yalnızca  $Q_w$  nin kullanılmasıyla tahmin edilen C nin ölçülen C ile karşılaştırılması*





Şekil 3.2b Yalnızca  $D_{ort}$  un kullanılmasıyla tahmin edilen C nin ölçülen C ile karşılaştırılması



Şekil 3.2c Yalnızca  $S_o$  in kullanılmasıyla tahmin edilen C nin ölçülen C ile karşılaştırılması

Olayın yapısının bilinmesi duyarlılık analizi ile birlikte tamamlayıcı bir özellik göstermelidir. Bu örnek için su debisinin olayda en önemli parametre olduğu açıkça görülmektedir. Diğer parametrelerin de önemli oldukları bilinmesine rağmen tek başlarına bir önemleri yokmuş gibi görünmektedir. Bu yüzden su debisi sabit tutularak diğer

### *Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi*

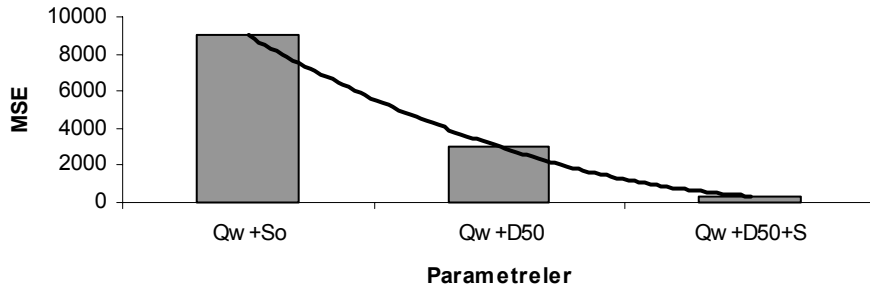
parametrelerin eklenmesi ile bir çeşit çoklu değişken analizi yapılarak en önemli ikinci ve diğerleri bulunabilir. Bu durum Tablo 2’de sunulmuştur.

*Tablo 2 Duyarlılık analizi ile parametrelerin öneminin araştırılması*

Performans	$Q_w$	$Q_w+S_o$	$Q_w+D_{ort}$	$Q_w+D_{ort}+S_o$
OMH (%)	12.499	27.868	15.703	5.523*
OKH	1603.7	8985.5	2991.4	332.8*
$R^2$	0.646	0.0307	0.694	0.940*
$TS_{10}(\%)$	56	40	40	80*

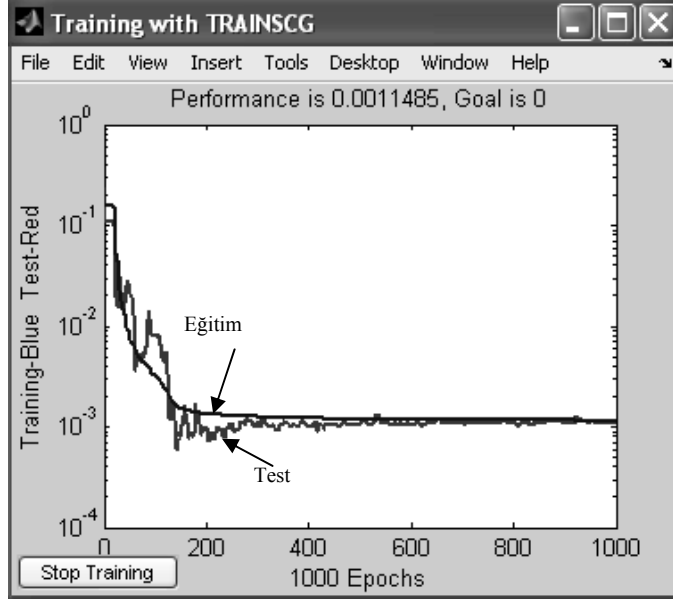
Not: En iyi sonuçlar ‘\*’ ile gösterilmiştir

En etkin ikinci parametrenin  $D_{ort}$  en az etkili parametrenin de taban eğiminin  $S_o$  olduğu Tablodan anlaşılmaktadır. Şekil 4’de da hataların değişken sayısına göre performans değerleri gösterilmektedir.

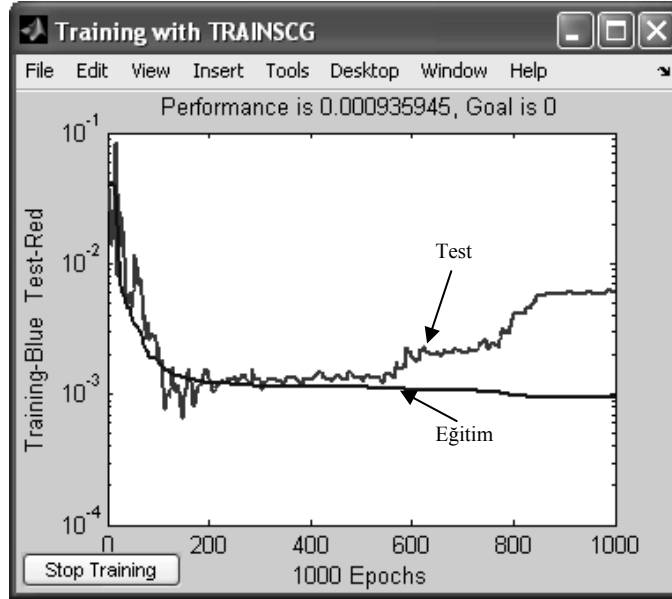


*Şekil 4 Parametre sayısına göre OKH değerleri*

Literatürde de yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere gizli katman sayısı da önemli bir kriterdir. Daha çok bir ya da iki gizli katmanlı YSA mimarisine rastlanmaktadır. Üç gizli tabakalı YSA mimarisi oldukça ender görülmektedir. Genel olarak gizli katman sayısının artırılması sisteme serbestlik derecesi kazandırır. Bu işlem karmaşık yapıdaki problemlerin çözümünde kolaylık sağlama yeteneği verdiği gibi aynı zamanda aşırı eğitime de sebep olabilmektedir. Bununla ilgili bir örnek Şekil 5a ve 5b de verilmiştir.



Şekil 5a Bir gizli tabakalı YSA



Şekil 5b İki gizli tabakalı YSA

Bu iki şekil incelendiğinde ayrıca bir gizli tabakalı YSA'nın eğitim ve test gruplarının hatalarının iki tabakalıya göre daha düşük olduğu görülmektedir.

#### 4.5 Aşırı Eğitim

Ağın eğitimi sırasında görülen önemli problemlerden bir tanesi aşırı eğitim (overfitting) yani ezberlemedir. Aşırı eğitim, test verilerinin hata oranlarının eğitiminkilerle kıyaslandığında çok fazla olmasıdır. İyi bir YSA modelinde eğitim ve test gruplarının hata performansları paralellik arz etmelidir [10].

Gizli katmandaki nöron sayısını belirlemek için 1, 2, 3, 5 ve 10 değerleri girilip denemeler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma için iterasyon sayısı 1000 seçilmiştir. Çünkü 1000'den sonra testin hataları artmaya başlamıştır. Bu denemelerin sonuçları Tablo 3 de verilmiştir.

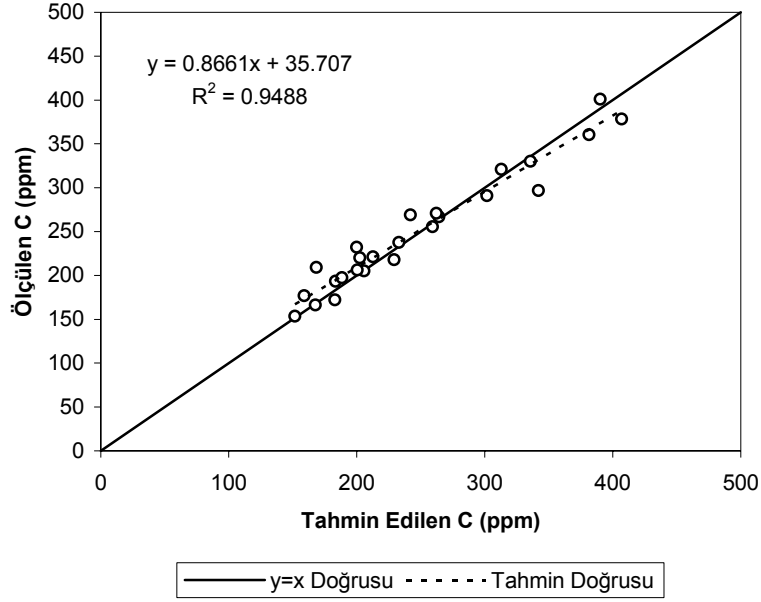
*Tablo 3 Gizli katman nöron ve iterasyon sayılarına göre determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerlerinin dağılımı*

YSA yapısı (katmandaki nöron sayısı)	İterasyon Sayısı (Epoch)	Determinasyon katsayısı ( $R^2$ )
ANN(3, 1, 1)	1000	0.918
ANN(3, 2, 1)	1000	0.940*
ANN(3, 3, 1)	1000	0.749
ANN(3, 5, 1)	1000	0.633
ANN(3, 10, 1)	1000	0.350
ANN(3, 1, 1)	2000	0.919
ANN(3, 2, 1)	2000	0.900
ANN(3, 3, 1)	2000	0.822
ANN(3, 5, 1)	2000	0.777
ANN(3, 10, 1)	2000	0.264

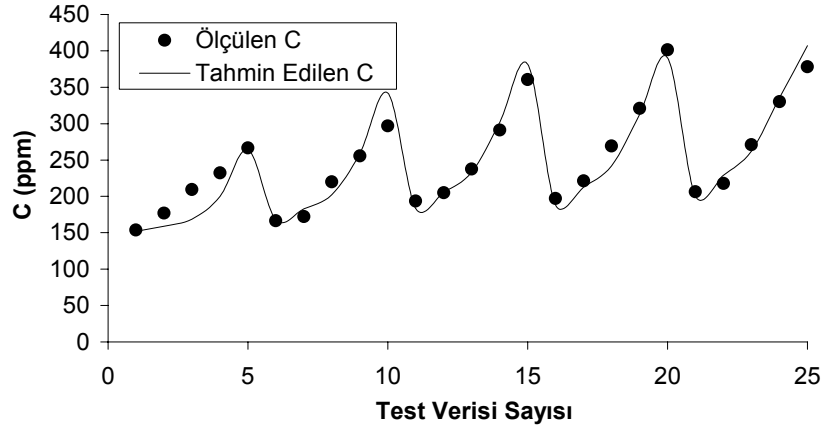
Not: En iyi sonuçlar '\*' ile gösterilmiştir

#### 4.6 YSA'nın Performansı ve Testi

Yapay Sinir Ağını eğittikten sonra test setinin performansı değerlendirilmiştir. YSA ile elde edilen toplam katı madde konsantrasyonu tahminleri Şekil 6 da gösterilmiştir. Bununla birlikte ölçülen toplam katı madde değerleri ile YSA değerlerinin karşılaştırılmalı analizi Şekil 7 de verilmiştir. Açıkça görülmektedir ki YSA tahminleri ölçülen değerlere oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir.



Şekil6. Tahmin edilen ve ölçülen toplam katı madde konsantrasyonunun (C) karşılaştırılması



Şekil 7. Ölçülen ve tahmin edilen toplam katı madde değişimi

### 5.8 YSA Modelinin Daha Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması

YSA modeli, Modifiye Edilmiş Einstein, Acaroğlu ve Graf formülleri toplam katı madde konsantrasyonu için 25 adet test seti kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için, farklılık oranı  $D_r = C_c/C_m$  formülü kullanılmıştır. Burada  $C_c$  ve  $C_m$ , sırasıyla hesaplanan ve ölçülen toplam katı madde konsantrasyonunu göstermektedir. Standart sapma  $\sigma$  ve ortalama değer  $\bar{D}_r$  sırasıyla

$$\sigma = \left( \frac{\sum (D_{ri} - \bar{D}_r)^2}{N-1} \right)^{1/2}$$

$$\bar{D}_r = \sum D_{ri} / N$$

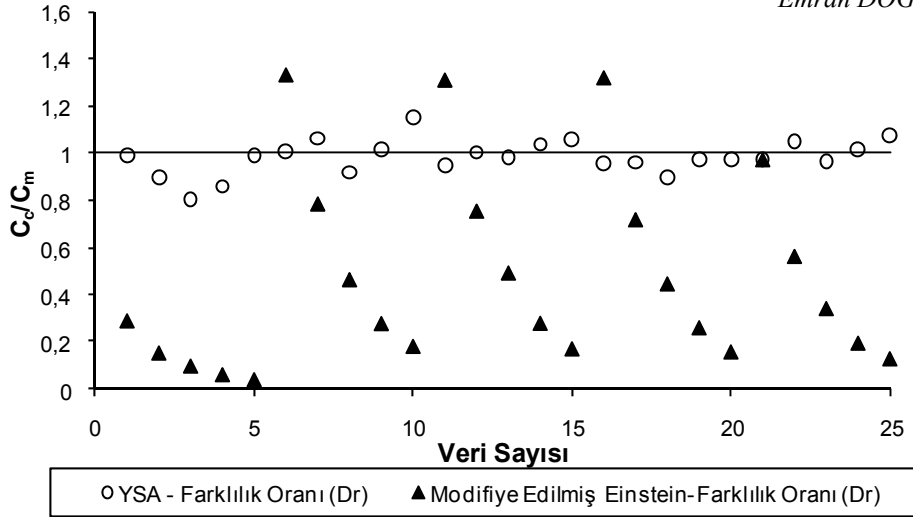
formülleriyle gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında YSA modelinin diğerlerinden daha üstün performans gösterdiği anlaşılmıştır. Performans sıralaması olarak YSA dan sonra Modifiye Edilmiş Einstein, Graf ve Acaroğlu gelmektedir. Ayrıca Modifiye edilmiş Einstein denkleminin sonuçlarının YSA modeliyle uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra Graf ve Acaroğlu denklemlerinin sonuçları ölçülen değerlerden oldukça büyük sapmalar göstermiştir. Analiz sonuçları Tablo 4 de gösterilmiştir.

*Tablo 4 Toplam katı madde konsantrasyonu tahmin modellerinin farklılık oranları*

Modeller	Farklılık Oranı ( $D_r$ )		
	Test Veri Sayısı	Ortalama Değer ( $\bar{D}_r$ )	Standart Sapma ( $\sigma$ )
YSA modeli	25	0.98*	0.073*
Modifiye edilmiş Einstein	25	0.47	0.403
Graf	25	12.71	21.729
Acaroğlu	25	14.32	23.896

*Not: En iyi sonuçlar '\*' ile gösterilmiştir*

YSA ile Modifiye Edilmiş Einstein Formülünün farklılık oranı dağılımı kıyaslandığında, YSA oldukça az sapmalar göstermesine karşın Modifiye Edilmiş Einstein Denkleminin sapmalarının daha fazla olduğu Şekil 8 den anlaşılmaktadır.



Şekil 8. YSA modeli ve Modifiye Edilmiş Einstein denkleminin farklılık oranlarının dağılımı

## 6. SONUÇLAR

Sınırlı sayıdaki deneysel gözlemlerden elde edilmiş matematiksel açıklamaların yapıları gereği tahmin yetenekleri sınırlıdır. Bu durum YSA'larının ön plana çıkmasını sağlar. Çünkü YSA karmaşık yapıdaki diferansiyel denklemlere ihtiyaç duymadan sonuç üretebilir.

Girdi ve çıktı datalarındaki gürültülü veriler YSA'lar tarafından ağ üzerinde dağıtılmalarından dolayı doğruluklarında fazla kayıplar meydana gelmemektedir. YSA'ların pek çok sayıdaki farklı problemlere uygulanabilmesinin nedeni transfer fonksiyonunun lineer olmama özelliğidir. YSA yaklaşımı daha önceden tanımlanmış bir fonksiyonel yapı gerektirmez. Çünkü problemin yapısına direkt adapte olabilmektedir.

Karşılaştırmalar sonucunda kullanılan metotlardan yapay sinir ağlarının ölçülen toplam katı madde konsantrasyonlarına en yakın tahminleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma için kullanılan metotlardan Modifiye Edilmiş Einstein (Einstein-Brown) Denklemi de iyi sonuçlar vermiş olup, bu denklemle elde edilen sonuçların yapay sinir ağları ve gözlenen değerlere uyum sağladığı görülmüştür. Graf ve Acaroglu denklemleri ile elde edilen değerlerin ise gözlenen değerle uyum sağlamadığı gözlemlenmiştir.

### Semboller

- $b$  kanal genişliği (m),
- $C$  toplam katı madde konsantrasyonu,
- $D=h$  akım yüksekliği,
- $D_{ort}$  ortalama dane çapı (m),
- $D_r$  farklılık oranı,
- $g$  yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ ),

*Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi*

$OKH$	ortalama karasel hata,
$OMH$	ortalama mutlak hata,
$Q_s$	toplam katı madde miktarı (ton/gün),
$q_w$	birim genişlikten geçen su debisi,
$Q_w$	su debisi ( $m^3/s$ ),
$R$	hidrolik yarıçap,
$R^2$	determinasyon katsayısı,
$S_o$	kanal taban eğim (m/m)i,
$TA_{10}$	tutarlık analizi (hatası %10 dan küçük olanları yüzdesi)
$w$	her bir nöronun ağırlığı
$\mu$	suyun dinamik viskozitesi (kg/m.s),
$\rho$	suyun yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),
$\tau^*$	boyutsuz kayma gerilmesi
$\nu$	suyun kinematik viskozitesi ( $m^2/s$ )

**Kaynaklar**

- [1] F. Öztürk, H. Apaydın, D.E. Walling, “Suspended Sediment Loads Through Flood Events for Streams of Sakarya Basin” *Turkish J.Eng.Env. TÜBİTAK* 25, 643-650, 2001.
- [2] Yanmaz, A., M. Köprü Açıklıklarında Yerel Oyulmalar, Köprü Hidroliği, 1.Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları METU Press, Ankara, 148-149, 2002.
- [3] R. F., Müftüoğlu, Akarsu Yapıları, Cilt 1, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1980.
- [4] Yang, C.T., *Sediment Transport Theory and Practice*. McGraw-Hill , USA, 1996.
- [5] Kisi, O., “Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches”, *Hydrol. Sci. J.*, 50(4), 683-696, 2005.
- [6] Jain, S.K. “Development of Integrated Sediment Rating Curves Using ANNs” *J. of Hydr. Engrg.*, ASCE 127(1), 30-37, 2001.
- [7] Cıgızioğlu K.H. “Suspended Sediment Estimation and Forecasting Using Artificial Neural Networks” *Turkish J.Eng.Env. TÜBİTAK* 26, 15-25, 2002.
- [8] Cıgızioğlu K.H. “Suspended Sediment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves” *Turkish J.Eng.Env. TÜBİTAK*, 2627-36, 2002.
- [9] Yuksel, I., Estimation of Total Sediment Load in Rivers by Determining Suspended and Bed Loads. Ph D. Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 2001.
- [10] ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. (2000a). “Artificial neural networks in hydrology. I: Preliminary concepts.” *J. Hydrologic Engrg.*, ASCE, 5(2),115–123, 2000.