



**ALTERNATIVE MODELS FOR PREDICTION OF AERATION EFFICIENCY  
IN STEPPED CASCADES**

**Ahmet BAYLAR<sup>1</sup>, Mehmet ÜNSAL<sup>\*2</sup>, Davut HANBAY<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, KAHRAMANMARAŞ

<sup>3</sup>Firat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

**Received/Geliş: 23.08.2011 Revised/Düzelme: 25.09.2011 Accepted/Kabul: 06.10.2011**

**ABSTRACT**

Water quality and its enhancement have a close connection with the presence of dissolved oxygen concentration. A higher dissolved oxygen level indicates better water quality. Aeration is used in water treatment to increase the concentration of dissolved oxygen. Aeration is the process by which the area of contact between water and air is increased, either by natural methods or by hydraulic structures.

Aeration enhancement by macro-roughness is well-known in water treatment and one form is the stepped cascade. The macro-roughness of the steps significantly reduces flow velocities and leads to flow aeration along the stepped cascade. In this study, models based on LS-SVM, ANN, and ANFIS methods were developed to predict aeration efficiency in stepped cascades using channel slope, energy-loss ratio and flow regime parameters. Experimental results were compared with the results of these artificial intelligence methods. Good agreements between the experimental results and predicted results prove the validity of the models. The best result was obtained with model based on LS-SVM. The obtained  $R^2$  value for this model was 0.9728.

**Keywords:** Stepped cascade, Energy dissipation, Aeration efficiency, ANFIS, ANN, LS-SVM.

**BASAMAKLI KASKATLARDA HAVALANDIRMA VERİMİ TAHMİNİNDE  
KULLANILABİLECEK ALTERNATİF MODELLER**

**ÖZET**

Su kalitesi ve su kalitesinin artırılması, su içerisindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile yakından ilişkilidir. Çözünmüş oksijen seviyesi ne kadar yüksek olursa su kalitesinin o kadar iyi olduğu söylenebilir. Suların temizlenmesinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırmak için havalandırma işlemi kullanılır. Havalandırma, doğal metotlarla veya hidrolik yapılarla su ve hava arasındaki temas alanının artırılması yöntemidir.

Makro pürüzlülük yardımıyla havalandırma artırılan ve su arıtımı konusunda iyi bilinen bir sistemlerden biri basamaklı kaskatlardır. Basamakların makro pürüzlülüğü, akım hızını önemli bir derecede azaltır ve basamaklı kaskat boyunca akımın havalanmasına yol açar. Bu çalışmada; kanal eğimi, enerji sönmeme oranı ve akım rejimi parametreleri kullanılarak EK-DVM (En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinası), YSA (Yapay Sinir Ağları) ve USBA (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Ağ) metotları yardımıyla basamaklı kaskat havalandırıcılarda havalandırma veriminin tahmini için modeller geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ve yapay zeka metotları ile geliştirilen modellerin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ve geliştirilen modeller yardımıyla tahmin edilmiş sonuçlar arasındaki uyum modellerin uygunluğunu göstermektedir. En iyi sonuç EK-DVM metodu yardımıyla geliştirilen model ile elde edilmiştir. Bu model için elde edilen  $R^2$  değeri 0.9728' dir.

**Anahtar Sözcükler:** Basamaklı kaskat, Enerji sönmeme, Havalandırma verimi, USBA, YSA, EK-DVM.

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: munsal@ksu.edu.tr, tel: (344) 219 16 83

## 1. GİRİŞ

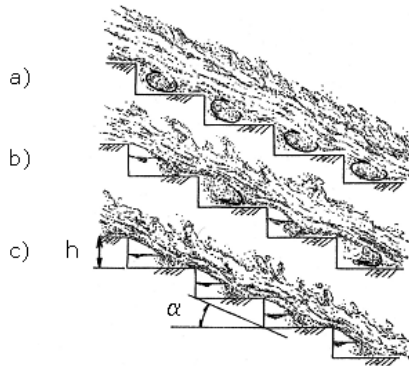
Hava, su, ısı, ışık ve besin maddeleri canlıların yaşaması için gerekli temel unsurlardır. Bu unsurların başında su ve oksijen gelmektedir. Su, bilinen tüm yaşam biçimleri için gerekli ve vazgeçilmez olan bir maddedir. Canlı organizmayı oluşturan hücrelerin yaşam faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için suya gereksinimleri vardır. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, bedenimizin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu su kalitesini gösteren en önemli kriterdir ve mg/lt olarak ifade edilir. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılmasıyla sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Suda yaşayan balık vb. organizmaların türüne göre, sudaki erimiş oksijenin en az 4 mg/lt veya 5 mg/lt den az olmaması gerekir

Fiziksel olarak oksijen transfer işlemi; oksijenin, atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılmasıdır ki buna havalandırma adı verilmektedir. Hidrolik yapılar, su ile kısa bir süre temas içinde olmalarına rağmen çözünmüş oksijen miktarını önemli ölçüde arttırlar. Örneğin; bir nehirde doğal olarak birkaç kilometrede meydana gelebilecek oksijen transfer miktarı, tek başına bir hidrolik yapı ile meydana getirilebilir. Bu hızlandırılmış oksijen transferi, havanın çok miktarda kabarcık şeklinde akım içerisine aktarılması ile meydana gelir. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut yüzey alanını büyük miktarda artırır ve böylece çözünmüş oksijen miktarı da artar.

Basamaklı kaskatlar akımın enerjisinin büyük bir bölümünün kaskat boyunca sönmüldüğü yapılardır. Basamaklı kaskatlarda su membadan mansaba iletilirken her basamakta oluşan türbülans nedeniyle suya hava girişi sağlanır. Hava giriş miktarı basamaklı kaskatlar üzerindeki akım tipine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 1'den görüleceği gibi basamaklı kaskatlar üzerinde sıçramalı, geçiş ve nap olmak üzere üç farklı akım tipi meydana gelmektedir [1].

Basamaklı kaskatlar enerji sönmüleme amacından başka akarsu veya göllerde çözünmüş oksijen standartlarının karşılanması için sisteme oksijen verilmesinin gerektiği durumlarda, demir veya manganın oksidasyonunda, amonyum, hidrojen sülfür ve metanın giderilmesinde, sudaki uçucu yağlar ve kimyasal maddelerin uzaklaştırılmasında, suyun karbondioksit miktarının azaltılmasında, biyolojik veya fiziksel arıtma tesislerinde gerekli havanın sisteme verilmesinde ve su içindeki çözünmüş gazların sebep olduğu tat ve kokuların istenilen düzeye getirilmesinde de kullanılmaktadır. Basamaklı kaskatlar üzerindeki sıçramalı, geçiş ve nap akım rejimlerine bağlı olarak havalandırma performansı farklılıklar göstermektedir.



Şekil 1. Basamaklı kaskatlar üzerindeki akım tipleri

a) Sıçramalı akım, b) Geçiş akımı, c) Nap akımı

Son yıllarda Baylar ve Emiroğlu [2] ve Baylar ve diğ. [3, 4, 5, 6] basamaklı kaskatlarda havalandırma verimini üzerine çeşitli çalışmalarda bulunmuşlardır. Ayrıca Baylar ve diğ. [7, 8] ve Hanbay ve diğ. [9, 10] çeşitli yapay zeka metotlarını kullanarak basamaklı kaskatlarda havalandırma veriminin modellenmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu yapılan modellerde enerji kırılmasının havalandırma verimine olan etkisi dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada; enerji kırılması etkisi de dikkate alınarak EK-DVM (En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinası), YSA (Yapay Sinir Ağları) ve USBA (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Ağ) metotları kullanılarak, basamaklı kaskatlarda havalandırma veriminin belirlenmesi için çeşitli modeller geliştirilmiştir.

## 2. HAVALANDIRMA VERİMİ

Hidrolik yapılar ile suların havalandırılmasında oksijen konsantrasyonu değişim hızı aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(C_s - C) \quad (1)$$

Burada;  $dC/dt$  = oksijen konsantrasyonu değişim hızı (mg/L.s),  $k_L a$  = kütle transfer katsayısı (1/saat),  $C_s$  = sudaki çözünmüş oksijenin doyum konsantrasyonu (mg/L) ve  $C$  = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.  $k_L a$  zamanın fonksiyonu olup, (1) nolu denklemin hidrolik yapının membaındaki bir noktadan mansaba doğru integrale edilmesiyle aşağıdaki denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[ \int_{t_u}^{t_d} k_L a dt \right] \quad (2)$$

Burada;  $r$  = oksijen eksiklik oranı,  $C_u$  ve  $C_d$  = sırasıyla memba ve mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L) ve  $t_u$  ile  $t_d$  = sırasıyla kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği sürelerdir (sn).  $C_u$  ve  $C_d$  deneysel olarak ölçülür.  $C_s$  ise literatürdeki denklemler veya Çizelgeler yardımıyla bulunur.

Oksijen transfer verimi (havalandırma verimi), suyun doyum konsantrasyonuna ulaşabilmesi için hidrolik yapının oksijen kazandırma yeteneği olarak tanımlanır. (2) nolu denklem oksijen transfer verimi cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir [11].

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} \quad (3)$$

Burada;  $E$  = oksijen transfer verimidir.  $E = 0$  değeri mansap suyunda oksijen transferinin olmadığını ve  $E = 1$  değeri mansap suyunun doyumluğa ulaştığını gösterir.  $E > 1$  değerleri ise mansap suyunun aşırı doyumluğa ulaştığını gösterir ( $C_d > C_s$ ).

Farklı su sıcaklıklarında elde edilen havalandırma verimlerinin, 20 °C'de normalize edilebilmesi için aşağıdaki denklem kullanılabilir [11].

$$E_{20} = 1 - (1 - E)^{1/f} \quad (4)$$

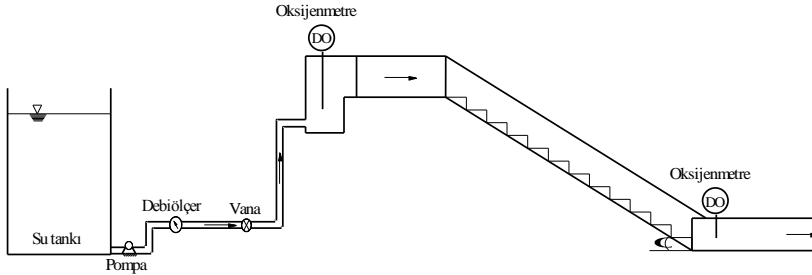
Burada;  $E_{20}$  = 20 °C su sıcaklığındaki oksijen transfer verimi ve  $E = T$  °C su sıcaklığındaki oksijen transfer verimidir. Denklemdaki  $f$  değeri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [11].

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T - 20)^2 \quad (5)$$

Burada;  $T$  = ölçüm anındaki su sıcaklığıdır (°C).

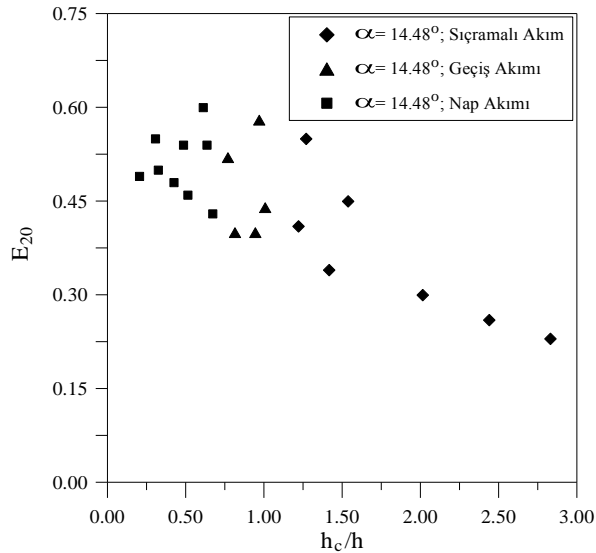
### 3. DENEYSSEL SONUÇLAR

Bu makalede kullanılan havalandırma verimi dataları Baylar ve diğ. [4] tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Baylar ve diğ. [4] tarafından deneysel çalışmalarda kullanılan düzeneğe aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2). Akım debisi 16.67 ile 166.67 L/s/m arasında değiştirilmiştir. Basamaklı kaskatın kanal eğimi  $14.48^\circ$ ,  $18.74^\circ$  ve  $22.55^\circ$  olarak alınmıştır. Basamak yükseklikleri de 5, 10 ve 15 cm olarak alınmıştır. Memba ve mansapta yapılan çözülmüş oksijen ölçümleri için Hanna Model HI 9142 oksijenmetre kullanılmıştır.

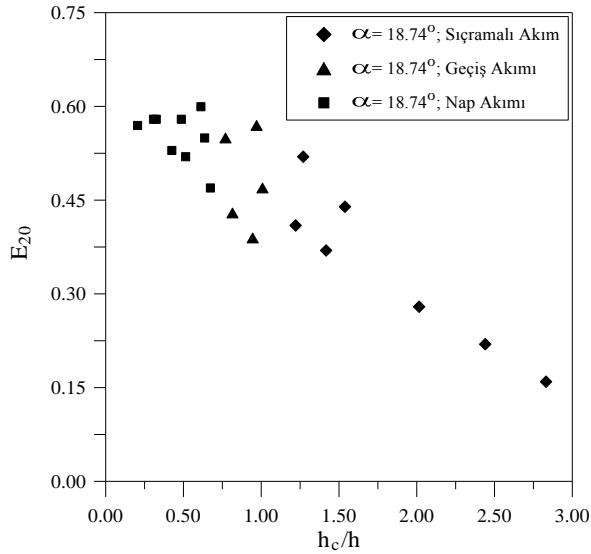


Şekil 2. Deneysel düzeneği

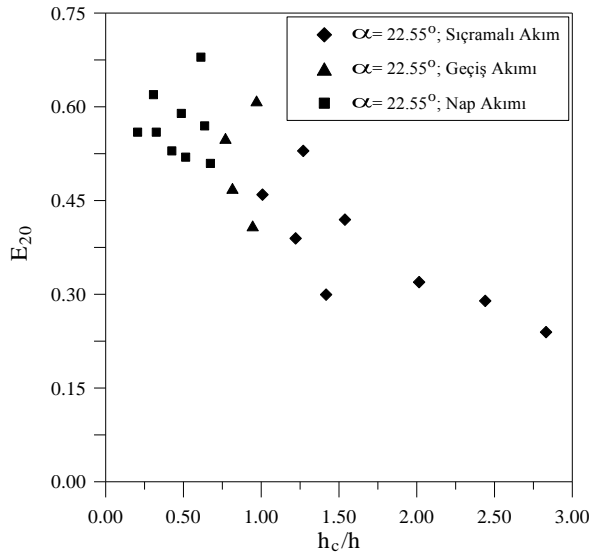
Deneysel çalışmadan elde edilen havalandırma verimi sonuçları Şekil 3’de verilmiştir. Sonuçlardan akım rejiminin havalandırma verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Nap akım rejiminde havalandırma veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. Deney Sonuçları

Bu çalışmada nap ve sıçramalı akım rejimlerindeki enerji sönmleme oranları Chanson [12] tarafından geliştirilen denklemler yardımıyla belirlenmiştir. Şu ana kadar geçiş akım rejimi durumunda enerji sönmleme oranlarını veren herhangi bir denklem geliştirilmediğinden bu akım rejimi durumu bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

Nap akım rejimi durumunda,

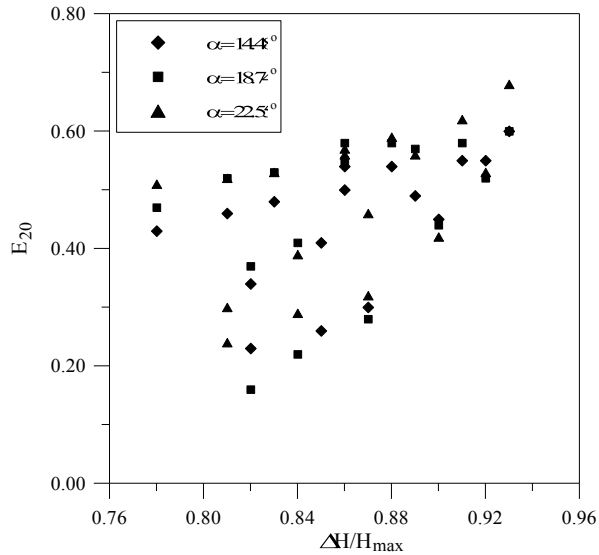
$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{0.54 \left( \frac{h_c}{h} \right)^{0.275} + 1.715 \left( \frac{h_c}{h} \right)^{-0.55}}{\frac{3}{2} + \frac{H_{bk}}{h_c}} \quad (6)$$

Sıçramalı akım rejimi durumunda,

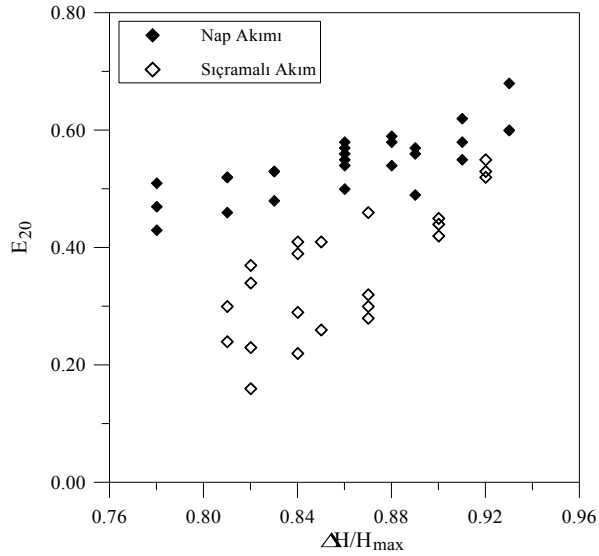
$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{\left( \frac{f}{8 \sin \alpha} \right)^{1/3} \cos \alpha + \frac{1}{2} \left( \frac{f}{8 \sin \alpha} \right)^{-2/3}}{\frac{3}{2} + \frac{H_{bk}}{h_c}} \quad (7)$$

Bu denklemlerde  $\Delta H/H_{\max}$  = enerji sönümlenme oranı,  $\Delta H$  = enerji kaybı,  $H_{bk}$  = Basamaklı kaskat yüksekliği ( $H_{bk} = N h$ ),  $H_{\max}$  = maksimum yükseklik ( $H_{\max} = H_{bk} + 1.5 h_c$ ),  $N$  = basamak sayısı,  $h$  = basamak yüksekliği,  $h_c$  = kritik akım derinliği ( $h_c = \sqrt[3]{q^2/g}$ ),  $q$  = birim debi,  $g$  = yerçekimi ivmesi ve  $f$  = sürtünme faktörüdür (yaklaşık olarak 1.3 civarında bir değer).

Kanal eğimi ve akım rejimleri durumlarında havalandırma veriminin enerji sönümlenme oranı ile değişimi Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Buradan nap akım rejiminde havalandırma veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Farklı kanal eğimlerinde havalandırma veriminin enerji sönümlenme oranı ile değişimi



Şekil 5. Farklı akım rejimlerinde havalandırma veriminin enerji sönmleme oranı ile değişimi

#### 4. MODEL GELİŞTİRİLMESİ

EK-DVM (En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinası), YSA (Yapay Sinir Ağları) ve USBA (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Ağ) metotları kullanılarak, basamaklı kaskatlarda havalandırma veriminin belirlenmesi için çeşitli modeller geliştirilmiştir. İlk olarak verilerin tamamı

$$a(:,i) = (a(:,i) - \min(a(:,i))) / (\max(a(:,i)) - \min(a(:,i))) + b; \quad (8)$$

formülü ile  $b=0.1$  alınarak normalize edilmiştir. Normalize edilen değerler kullanılarak her üç model eğitilmiş ve test edilmiştir. Kanal eğimi, enerji sönmleme oranı ve akım rejimi sistemin girişi, havalandırma verimi ise sistemin çıkışı olarak belirlenmiştir. Eğitim ve test aşamasında 3-kümelili çapraz geçerlilik testi uygulanmıştır. Veriler X1, X2, X3 olarak üç kümeye ayrılmış daha sonra ise her iki küme eğitim diğer küme ise test için kullanılmıştır. Bu çalışmada her üç model için giriş parametreleri olarak kanal eğimi, enerji sönmleme oranı, akım rejimi ve çıkış parametresi olarak da havalandırma verimi kullanılmıştır.

##### (a) EK-DVM (En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinası) Modeli

DVM (Destek Vektör Makinaları), bir öğrenme metodu olarak ilk kez Vapnik [13] tarafından ileri sürülmüştür. EK-DVM (En Küçük Kareler Destek Vektör Makinası) ise Suykens ve Vandewalle [14] tarafından önerilmiştir. SVM, yapısal risk enküçültme prensibinin yardımıyla formülize edilmiştir. DVM, istatistiksel öğrenme teorisi ve yapısal riski en aza indirme ilkesine dayanan, sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümü amacıyla ortaya atılmış bir öğrenme yöntemidir. SVM, herhangi bir sınıflandırmaya da regresyon problemini, bir karesel programlama problemine dönüştürerek yerel çözümlere takılmadan çözerler. Yerel çözümlere takılmama özelliği, DVM'nin diğer tekniklere göre sahip olduğu avantajlardan biridir. Ayrıca DVM, oldukça yüksek genelleme yapabilme yeteneğine sahiptir. DVM, çok değişik alanlarda uygulanmıştır. DVM'nin uygulama alanlarına örnek olarak, el yazısı tanıma, yüz tanıma, 3-boyutlu nesne tanıma, ses tanıma, konuşmacı tanıma, metin sınıflandırma verilebilir. DVM sınıflandırıcıları, margin'i (aralığı) maksimum yapan bir en uygun (optimal) ayırıcı aşırı düzlemi oluşturmaya

çalışır. Burada bahsedilen margin kavramı, ayırıcı aşırı düzlemden, en yakın veri noktasına olan minimum uzaklığı tanımlamaktadır.

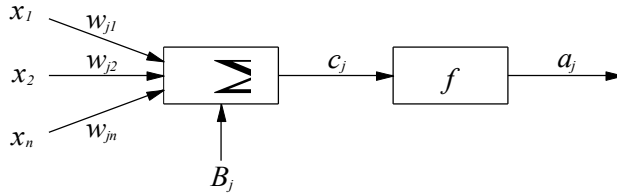
Yapılan çalışmada, EK-DVM modellemede çekirdek fonksiyonu olarak radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılmıştır. En iyi performans X1 test kümesinden elde edilmiştir. Bu aşamada kullanılan gama değeri 10.6521 ve sigma değeri ise 18.7564 olarak hesaplanmıştır. En iyi R<sup>2</sup> değeri 0.9797, ortalama R<sup>2</sup> değeri ise 0.9728 dir (Çizelge 3).

### (b) YSA (Yapay Sinir Ağları) Modeli

YSA (Yapay Sinir Ağı) kavramının temeli, biyolojik sinir sistemine dayanmaktadır. YSA, insan beynindeki nöronların çalışmasını taklit eder. Bir yapay sinir ağı, birbirine hiyerarşik olarak bağlı ve birbiri ile ağırlıklı bağlantılar vasıtası ile haberleşen bir grup işleme biriminden (nöron) oluşur. Bu bağlantıların ağırlıkları, ön bilgiler kullanılarak ayarlanabilir veya belirli bir öğrenme kuralına göre değişebilecek şekilde eğitilerek belirlenir. Bu durum, “yapay sinir ağlarında öğrenme problemi ağı istenilen işlemi yapmasına olanak verecek bağlantı ağırlıklarını bulmaktan ibarettir” şeklinde ifade edilmiştir Yapay sinir ağları, gerçek değerli, ayrık değerli ve vektör değerli fonksiyonların öğrenilmesinde genel ve pratik bir yöntem sağlamaktadır.

Yapay sinir hücresi, komşularından veya dış kaynaklardan çeşitli girdiler alan ve bunları diğer birimler de yayılan belirli bir çıktıyı hesaplamak için kullanan işleme birimidir. Şekil 6’da  $x_1, x_2, \dots, x_n$  şeklinde  $n$  adet girdisi olan bir yapay sinir hücresi gösterilmiştir. Girişlerin her biri  $w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn}$  ağırlıklarındadır. Toplama fonksiyonu  $\Sigma$ , hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Ağırlıklı toplama fonksiyonu kullanıldığında,  $a$  nöronunun çıktısı şu şekilde ifade edilebilir [15].

$$f\left(\sum_{i=1}^n w_{ji} + \beta_{ji}\right) \quad (9)$$



Şekil 6.  $n$  adet girdisi olan basit bir nöron

Yapılan çalışmada, YSA modellemede çok katmanlı algılayıcı ağ yapısı kullanılmıştır (Çizelge 1). Toplam karesel hata 0.0001 oluncaya ya da eğitim tur sayısı 1000 oluncaya kadar ağ eğitilmiştir. Başlangıç ağırlıkları rastgele seçilmiştir. Öğrenme algoritması Levenberg-Marguardt öğrenme algoritmasıdır. YSA modelinin performansı Çizelge 3’te verilmiştir.



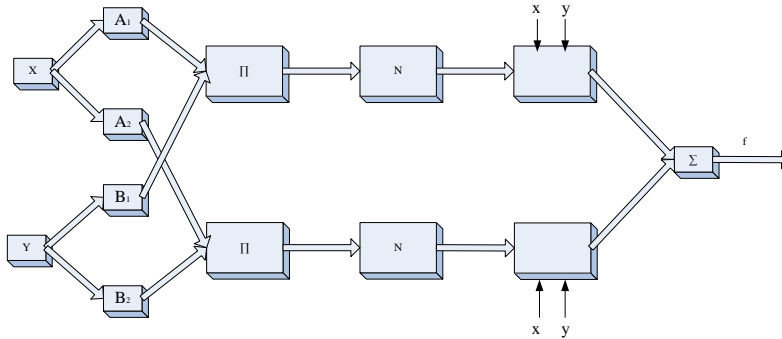
Çizelge 1. YSA parametreleri

Mimari	
Katman sayısı	3
Eşik ve ağırlıkların başlangıç değeri	Rastgele
Eşik fonksiyonları	Tangent-sigmoid (Giriş katmanı ) Tangent-sigmoid (Gizli katman) Linear (Çıkış katmanı)
Eğitim Parametreleri	
Öğrenme kuralı	Levenberg–Marquardt Back-Propagation
Öğrenme oranı	0.1
Toplam karesel hata	0.0001

## (c) USBA (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Ağ) Modeli

**USBA** (Uyarlamalı Sinirsel-Bulanık Ağ), yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın uzman bilgisini kullanarak sonuçlar çıkarabilme özelliklerinin birleşiminden oluşur. Böylece sinirsel bulanık sistemler sayesinde YSA daha anlaşılır bir hale gelir

**USBA** beş katmandan meydana gelir. Bu sistem Şekil 7’de gösterilmiştir [16, 17].



Şekil 7. İki girişli dört kurallı bir ANFIS sınıflandırıcı yapısı

Yapılan çalışmada, **USBA** ile modellemede gauss çan eğrisi fonksiyonlu üç üyelik fonksiyonu tanımlanarak 100 tur için model eğitilmiştir (Çizelge 2). Elde edilen sonuçlar Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. USBA parametreleri

Katman sayısı	5
Üyelik fonksiyonu ve sayısı	Gauss çan eğrisi, 3
Öğrenme kuralı	Melez öğrenme
Eğitim tur sayısı	100
Toplam karesel hata	0.0001

Çizelge 3. Model sonuçları

Akıllı metot	Test için kullanılan data seti	Elde edilen R <sup>2</sup>	Ortalama R <sup>2</sup>
<b>EK-DVM</b>	X1	0.9797	0.9728
	X2	0.9710	
	X3	0.9677	
YSA (3-6-1)	X1	0.4404	0.7016
	X2	0.9249	
	X3	0.7396	
<b>USBA</b>	X1	0.7744	0.8841
	X2	0.9426	
	X3	0.9353	

## 5. SONUÇLAR

Basamaklı kaskatlar sahip oldukları yapı itibariyle suyun bir basamaktan diğerine düşerken oluşturduğu türbülans nedeniyle oksijen transferi açısından oldukça etkili hidrolik yapılardır. Bu hidrolik yapılarda suyun bir basamaktan diğerine düşerken meydana getirdiği oksijen transferinin yanında enerji sönmleme gibi önemli bir olay daha gerçekleşir. Literatürde basamaklı kaskatlarda enerji sönmleme oranı ile oksijen transferi arasındaki ilişkiyi veren herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada öncelikle literatürde var olan formüller kullanılarak basamaklı kaskatlarda akım rejimlerine göre enerji sönmleme oranları hesaplanmıştır. Elde edilen enerji sönmleme oranlarının havalandırma verimleriyle ilişkileri incelenmiştir. Hem nap akımı hem de sıçramalı akım rejimlerinde enerji sönmleme oranının artması ile havalandırma verimi de artmıştır. Nap akım rejiminde enerji sönmleme oranının daha büyük olduğu ve buna bağlı olarak havalandırma veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca; kanal eğimi, enerji sönmleme oranı ve akım rejimi parametreleri dikkate alınarak EK-DVM (En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinası), YSA (Yapay Sinir Ağları) ve USBA (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Ağ) metotları kullanılarak, basamaklı kaskatlarda havalandırma veriminin belirlenmesi için çeşitli modeller geliştirilmiştir. EK-DVM metodu kullanılarak geliştirilen modelin diğer metotlar yardımıyla geliştirilen modellerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Chanson, H., The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways, Balkema, Lisse, The Netherlands., 418 pages (ISBN 90 5809 352 2), 2001.
- [2] Baylar, A., Emiroglu, M.E., Study of Aeration Efficiency at Stepped Channels, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water & Maritime Engineering 156 (WM3), 257–263, 2003.
- [3] Baylar, A., Emiroglu, M.E., Bagatur, T., An Experimental Investigation of Aeration Performance in Stepped Spillways, Water and Environment Journal, 20 (1), 35–42, 2006.
- [4] Baylar, A., Bagatur, T., Emiroglu, M.E., Prediction of Oxygen Content of Nappe, Transition and Skimming Flow Regimes in Stepped-Channel Chutes, Journal of Environmental Engineering and Science, 6 (2), 201–208, 2007.
- [5] Baylar, A., Bagatur, T., Emiroglu, M.E., Aeration Efficiency with Nappe Flow over Stepped Cascades, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management, 160 (1), 43–50, 2007.
- [6] Baylar, A., Unsal, M., Ozkan, F., “The Effect of Flow Patterns and Energy Dissipation over Stepped Chutes on Aeration Efficiency”, KSCE Journal of Civil Engineering, in press, 2011.

- [7] Baylar, A., Hanbay, D., Ozpolat, E., Modeling Aeration Efficiency of Stepped Cascades by Using ANFIS, CLEAN - Soil, Air, Water, 35 (2), 186–192, 2007.
- [8] Baylar, A., Unsal, M., Ozkan, F., GEP Modeling of Oxygen Transfer Efficiency Prediction in Aeration Cascades, KSCE Journal of Civil Engineering, 15 (5), 799–804, 2011.
- [9] Hanbay, D., Baylar, A., Ozpolat, E., Predicting Flow Conditions over Stepped Chutes Based on ANFIS, Soft Computing, 13 (7), 701–707, 2009.
- [10] Hanbay, D., Baylar, A., Batan, M., Prediction of Aeration Efficiency on Stepped Cascades by Using Least Square Support Vector Machines, Expert Systems with Applications, 36 (3), 4248–4252, 2009.
- [11] Gulliver, J. S., Thene, J. R., Rindels, A. J., Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 116 (3), 503–523, 1990.
- [12] Chanson, H., Comparison of Energy Dissipation between Nappe and Skimming Flow Regimes on Stepped Chutes, Journal of Hydraulic Research, 32 (2), 213–218, 1994.
- [13] Vapnik, V. N., An overview of statistical learning theory. In IEEE Transactions on Neural Networks. 1999.
- [14] Suykens, J. A. K. and Vandewalle, J. Least Squares Support Vector Machine Classifiers, Neural Processing Letters, 9 (3): 293-300.
- [15] Principe, J. C., Euliano, N. R. and Lefebvre, W. C., Neural and Adaptive Systems. John Wiley & Sons, New York, 656p 2000.
- [16] Elmas, Ç, Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayınları, Ankara, s.230, 2003.
- [17] Jang Roger, J.-S. ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23, 665-685, 1993.