

AKARSULARDAKİ KATI MADDE MİKTARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ: KIZILIRMAK NEHRİ ÖRNEĞİ

Özlem Terzi *, Tahsin BAYKAL

Özet: Bu çalışmada, son yıllarda su kaynakları mühendisliğinde kullanım alanı geniş olan yapay sinir ağları (YSA) yöntemi katı madde miktarı tahmininde kullanılmıştır. Katı madde tahmini için Kızılırmak Nehri'nde bulunan Yamula gözlem istasyonuna ait 1973-2003 yılları arasında bulunan akım verileri girdi parametresi olarak kullanılarak çeşitli YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller incelendiğinde, YSA yönteminin katı madde tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Katı madde, yapay sinir ağları, Kızılırmak Nehri

SEDIMENT ESTIMATION FOR RIVERS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK: CASE STUDY OF KIZILIRMAK RIVER

Abstract: In this study, artificial neural networks (ANN) method that is most widely used in water resources engineering in recent years was used to estimate sediment. The various ANN models were developed by using the monthly flow data of Yamula station for 1973-2003 years on the Kızılırmak River as input parameters. Examining the developed models, it was shown that the ANN method can be used for estimation of the sediment.

Key Words: Sediment, artificial neural networks, Kızılırmak River

1. Giriş

Su kaynakları mühendisliğinde ve barajlar gibi su yapılarının ekonomik ömürlerinin belirlenmesinde katı madde tahmini önemlidir. Türkiye'de yılda 450 milyon ton toplam katı maddenin, askı malzemesi olarak taşındığı bilinmektedir. Ülkemizde bu durum, tarımsal ekonomimizin en önemli üretim kaynaklarından birisi olan toprağın üst tabakasının yok olmasına neden olmaktadır. Bunun doğal sonucudur ki çıplaklaşan ve çoraklaşan ülke topraklarında erozyon ve sedimentasyon olayları ile birlikte çevre kirliliği sorunu da gündeme gelmiş bulunmaktadır (Kişi vd., 2003).

Ülkemizde taşınan toprak miktarı diğer ülkelerle karşılaştırılırsa Türkiye dünyada en fazla aşınmaya uğrayan ve aşırı derecede katı madde veren ülkelerin başında gelmektedir. Fırat Nehri yaklaşık olarak Nil Nehri kadar katı madde taşımaktadır. Öte yandan, Büyük Menderes Nehri Yenisey kadar, Seyhan ise Obi ve Po'dan daha çok sediment nakletmektedir. Türkiye'de birim alandan ortalama taşınan katı madde miktarı Kuzey Amerika'dan altı kat, Avrupa'dan 17 kat, Afrika'dan ise 22 kat fazladır. Ayrıca, Türkiye arazisinden bir yılda

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta. E-posta: ozlemterzi@sdu.edu.tr

taşınan katı madde miktarı, tüm Avrupa Kıtası'ndan bir yılda taşınandan daha çoktur (Berkün, 2005).

Bilindiği gibi akarsularımız üzerine bir yandan halkımızın içme ve kullanma suyu gereksinimiyle birlikte, tarım ve endüstrimizin su gereksinimlerini karşılamak, diğer yandan enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi birçok nedenlerle barajlar yapılmaktadır. Hangi amaçla yapılırsa yapılsın, sedimentasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıların göllerini besleyen akarsuların taşımış olduğu toprak, kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır (Kişi vd., 2003). Katı madde olayları sonucunda akarsu morfolojisi değişir, akarsu üzerine yapılan yapılar fonksiyon ve sağlamlık bakımından zarar görür, en önemlisi akarsuyun su kalitesi etkilenir (Erkek ve Ağırlioğlu, 2010). Bu konu Türkiye gibi yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topoğrafik yapısı olan ülkelerde son derece önem kazanmaktadır (Kişi vd., 2003). Bunların yanı sıra toprağın infiltrasyon hızını azaltma, akarsuların akış düzenini bozma, akarsu yatağını yükselterek taşkın riskini ve zararını artırma, su alma yapılarının girişini tıkama, sulama ve drenaj kanallarının kapasitesini azaltma ve bakım giderlerini artırma, sudaki çözülmüş oksijen miktarını azaltma ve sudaki yaşamı kısıtlama, balık yumurtalarını örterek balıkların çoğalmasını engelleme, içme ve kullanma suyunun arıtma giderlerini artırma, tarım, sanayi ve diğer kesimlerden kaynaklanan çeşitli kirleticileri taşıyarak çevreyi kirletme, yerleşim alanları ve ulaşım ağlarının sık sık zarar görmesi, doğal ve yapay göllerin rekreasyon özelliğini azaltma ve çevre estetiğini bozması gibi olumsuz etkileri de vardır (Öztürk, 2002).

Katı madde miktarı tahmini 1950'li yıllardan bu yana amprik çalışmalarla yapılabilmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemler, katı madde taşınımı, erozyon ve çökelti gibi karmaşık süreçlerden dolayı kolay bir yöntem olmamıştır (Jothiprakash and Garg, 2009). Öztürk vd. (2003) yüzey akışı ve sediment miktarını AGNPS (Agricultural Non-point Source Pollution - Noktasal Kaynaklı Olmayan Tarımsal Kirlilik) modeli yardımıyla tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla havzaya ait, topografya, bitki örtüsü, toprak, arazi kullanımı ve iklim verilerini toplamışlar, daha sonra bu verileri coğrafi bilgi sistemine aktarmışlar ve AGNPS modeli için gerekli analizleri yapmışlardır. Elde edilen harita, tablo ve bireysel verilerle yapılan yüzey akışı tahminlerini ölçüm değerleri ile kıyaslamışlardır. Model değerlerinin gözlem değerleri üzerine etkinliğini %25 ve belirme katsayısını 0.43 olarak bulmuşlardır.

Son yıllarda, girdi ve çıktı parametreleri arasındaki karmaşık ilişkileri çıkarabilen yapay sinir ağları (YSA) tekniği hidrolojide tahmin çalışmalarında iyi performans göstermektedir (Ülke vd., 2011). Cıgızoğlu (2000) İngiltere'nin kuzeyinde bulunan, havza alanları ve özellikleri birbirine benzeyen iki nehir için YSA ve sediment anahtar eğrisi yöntemlerini kullanarak sediment tahmini yapmıştır. YSA ile elde ettiği sonuçların sediment anahtar eğrisine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Gözlenmiş veri eksikliği durumunda, yakın bir nehrin akım ve sediment verilerini kullanarak uygun tahminler yapılabileceğini göstermiştir. Fırat ve Güngör (2004) Büyük Menderes Havzası 706 no.lu gözlem istasyonunda ölçülen askı maddesi ve konsantrasyon değerlerini kullanmışlardır. 90 adet veriden 85 adedini eğitim için kullanmışlardır. Yapay sinir ağları modeli oluştururlarken akarsu debisi girdi, askı maddesi konsantrasyonu ve askı maddesi miktarı çıktı olarak kullanmışlar ve en uygun sonucu elde etmek için gizli tabaka sayısını deneme yanılma yolu ile bulmuşlardır. Bulunan YSA model sonuçları ve ölçüm değerlerini kıyaslamışlar ve bu kıyaslamalar sonucunda YSA modellerinin ölçüm değerlerine yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Çobaner vd. (2006) katı madde miktarının tahmini için YSA yöntemine dayalı modeller geliştirmişlerdir. Modellemede

Amerika Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS) tarafından işletilen Rio Valenciano istasyonuna ait günlük akış ve katı madde verilerini kullanmışlardır. Bugünkü akış verileri ile önceki günlere ait akış ve katı madde verilerinden oluşan farklı girdileri deneyerek bugünkü katı madde miktarını en iyi tahmin eden YSA modelini geliştirmişler ve sonuçları katı madde anahtar eğrileri ve çoklu doğrusal regresyonla karşılaştırmışlardır. Kişi (2007) katı madde anahtar eğrilerinin günlük askı maddesi tahminindeki performansını artırmak için farklı bir YSA modeli geliştirmiştir. Geliştirdiği YSA modelini klasik YSA modeli, doğrusal regresyon modeli ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırmıştır. USGS tarafından işletilen Calleguas ve Santa Clara istasyonlarına ait günlük akış ve askı maddesi verilerini kullanmıştır. Uygulamalar neticesinde, geliştirilen YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiğini görmüştür. Doğan (2009) deneysel çalışma için 12.10x1.80x0.75 m ebatlarında bir kanal tasarlayıp bu kanaldan askı maddesi ve yatak malzemesi ölçümleri yapmıştır. Elde ettiği 60 adet deney setini kullanarak YSA modeli geliştirmiştir. YSA modelinin sonuçlarını bazı katı madde taşınım denklemleriyle kıyaslamıştır. Kıyaslamalar sonucunda, modifiye edilmiş Einstein (Einstein-Brown) denklemi ile elde edilen sonuçların yapay sinir ağları ve ölçülen değerlerle uyumlu olduğunu ve Graf ve Acaroğlu denklemleri ile elde edilen değerlerin ölçülen değerlerle uyum sağlamadığını belirtmiştir. Ülke vd. (2010) günlük yağış ve akım verilerini girdi olarak kullanmışlar ve YSA metodu ile günlük askıda katı madde yüklerini tahmin etmişlerdir. Model sonuçlarını toplan askıda madde yükü ile Demirköprü Barajı'nın batimetrik haritalarından belirledikleri ölü hacim değişimi ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda toplam askıda katı madde yükünün %10'dan daha az bir farkla tahmin edilebildiğini görmüşlerdir. Yenigün vd. (2010) Fırat Havzası'ndaki sediment değerlerini tahmin etmek için YSA metodunu kullanarak modeller geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri YSA modellerini klasik modellerle (Schoklitsch, Shields, Du Boys, Garde-Albertson ve Meyer-Peter-Müller) kıyaslamışlar ve YSA modellerinin en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Klasik modellerle sediment tahminlerinde ise Garde-Albertson modeli yüksek R^2 değeri vermiştir.

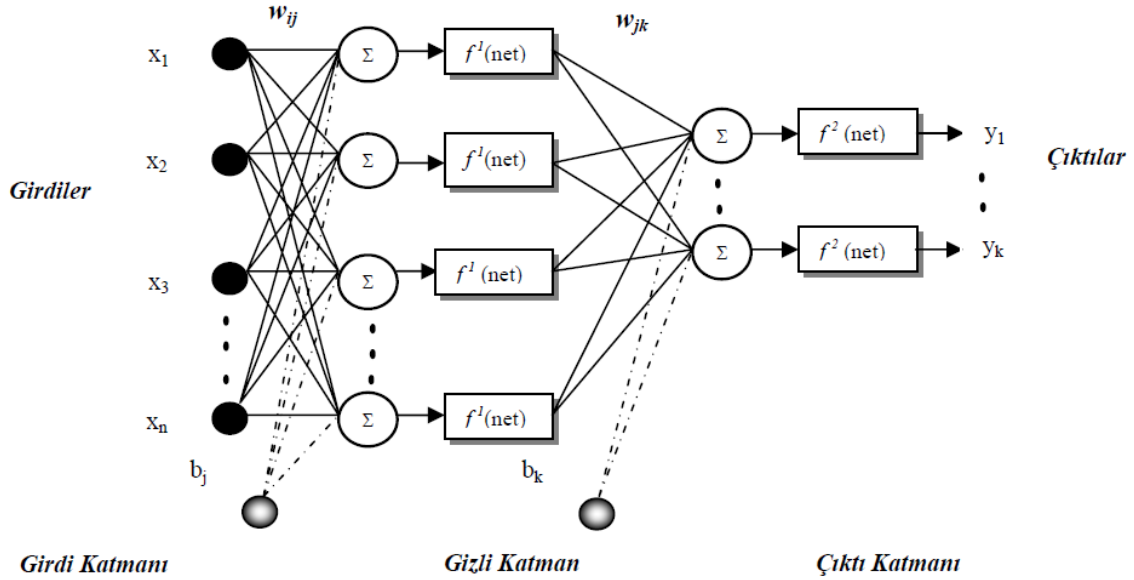
Bu çalışmanın amacı, Kızılırmak Nehri'nin katı madde miktarını tahmin etmek için yapay sinir ağları yöntemi ile modeller geliştirmektir. Katı madde miktarını tahmin etmek için girdi parametreleri olarak akım değerleri kullanılmıştır.

2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini benzetmek için tasarlanan programlardır. Çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanan sinir hücreleri (nöronlar) ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptir (Yurtoğlu, 2005). Bir diğer ifadeyle, YSA verilen girdileri işleyerek bu girdilere karşı çıktı üreten bir kara kutu modeli olarak düşünülebilir. Önce bu kara kutu bir eğitime tabi tutulur ve eğitim aşamasından sonra sistem girdilere karşı karar verebilecek düzeye ulaşır. YSA'lar bir eğitim sürecine sahip olmalarından dolayı öğrenme yeteneğine sahiptirler. Bu, geleneksel yöntemlerde olmayan bir özelliktir. Sistem bilgilerin paralel işlenmesi ve hataların minimum yapılarak sinir hücreleri arasındaki bağlantı ağırlıklarının yenilenmesiyle öğrenmektedir. Dolayısıyla öğrenilen bilgi bağlantı ağırlıklarında saklıdır. Diğer bir anlamda, YSA'lar da insanlar gibi deneyerek ya da yaşayarak öğrenmektedirler. Özetle, YSA'lar, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri bilgisayarlara kazandıran sistemlerdir. Ayrıca bu yöntem genelleme yapabilme ve sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme gibi başka özelliklere de sahiptir. Tüm bu özelliklerinden dolayı YSA'lar, kontrol, görüntü işleme, sınıflandırma, görüntü ve ses tanıma, modelleme, kalite kontrolü, kestirim ve

tahmin (öngörü) hesaplamaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır ve uygulama alanları için bir sınırlama bulunmamaktadır (Öztopal ve Şen, 2009).

YSA'ların genel yapısına bakıldığında en az 3 katmandan oluştuğu görülür. Şekil 1 incelendiğinde bir yapay sinir ağı modelinde katmanların yanı sıra; girdiler, ağırlıklar, net fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 temel elemanın varlığı göze çarpmaktadır. Ağın girdi ve çıktı tabakasında probleme ait veriler bulunmaktadır. Girdi ve çıktı tabakalarındaki hücre sayıları problemde tanımlanan bilgilere bağlı değişkenlik göstermektedir. Girdi tabakasındaki bilgilerin sistem içindeki etkinlikleri ve önemi ise ağırlıklarla sağlanmaktadır. Bilgi, bu ağırlıklarda saklanmakta olup; ağın zekâsı ve öğrenme performansı ağırlık değerlerinin doğru belirlenmesine bağlı olmaktadır. Ağırlıklı girdilerin toplamı olarak bulunan net fonksiyonu ile girdilerin bu hücre üzerindeki etkileri ifade edilmektedir. Hürelere gelen bu net girdiler ise bir aktivasyon fonksiyonu yardımıyla çıktı şeklinde çıktılara dönüştürülür ya da diğer ara hürelere bağlanır. Aktivasyon fonksiyonu doğrusal ve doğrusal olmayan özellikte olabilmektedir. Uygulamalarda genellikle tanım aralığı yaklaşık 0-1 arasında olan sigmoid adı verilen aktivasyon fonksiyonu kullanılmasıyla beraber, hiperbolik tanjant, lineer, step gibi farklı fonksiyonlar da kullanılabilir.



Şekil 1. Yapay sinir ağı yapısı

Girdi katmanı, bir yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Ağırlıklar, bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Toplama fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur (denk. 1).

$$\text{net} = \sum_{i=1}^n G_i A_i \quad (1)$$

Burada G girdileri, A ise ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını gösterir. Aktivasyon fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da çıktıyı hesaplamak için değişik formüller kullanılır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcı modelinde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılır (denk. 2).

$$f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}}} \quad (2)\#$$

Burada net, işlem elemanına gelen toplam fonksiyonunu kullanarak belirlenen net girdi değerini göstermektedir. Hücrenin çıktısı, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendine girdi olarak da gönderebilir (Öztemel, 2003).

3. Çalışma Bölgesi ve Veriler

1182 km uzunluğu ile Türkiye'nin kendi sınırları içinde denize ulaşan en uzun nehri olan Kızılırmak, Sivas'ın İmranlı İlçesinin doğusundaki Kızıldağ'dan doğmaktadır. Kızılırmak Orta Anadolu Bölgesi'nde geniş bir yay çizdikten sonra sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Ankara, Çankırı ve Çorum illerinden geçerek Samsun'un Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e dökülür (Anonim, 2012). Nehir üzerinde Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'ne ait 46 adet sediment ölçüm istasyonu mevcuttur. Bu istasyonların 12 tanesi halen aktif olup geriye kalan 34 tanesi ise kapatılmıştır. Çalışmada, EİE'den alınan Yamula (1501) istasyonuna ait 1973–2003 yılları için sediment ölçüm değerleri ile modeller geliştirilmiştir. 1501 no.lu istasyonun sediment verilerini tahmin etmek için aynı istasyona ait akım değerleri girdi olarak kullanılmıştır. 1973-1997 yılları arasındaki veriler (% 80) modellerin eğitimi için, kalan 1998-2003 yıllarına ait (% 20) kısım ile modellerin geçerliliği test edilmiştir.

4. Uygulama

Çalışmada ilk önce, 1501 no.lu istasyonun katı madde miktarını tahmin etmek için aynı istasyonun akım değerleri kullanılarak YSA yöntemi ile modeller geliştirilmiştir. Modeller geliştirilirken akım ve sediment miktarı değerleri boyutsuzlaştırılmıştır. Bu işlem aşağıdaki formüle göre yapılmıştır.

$$X = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

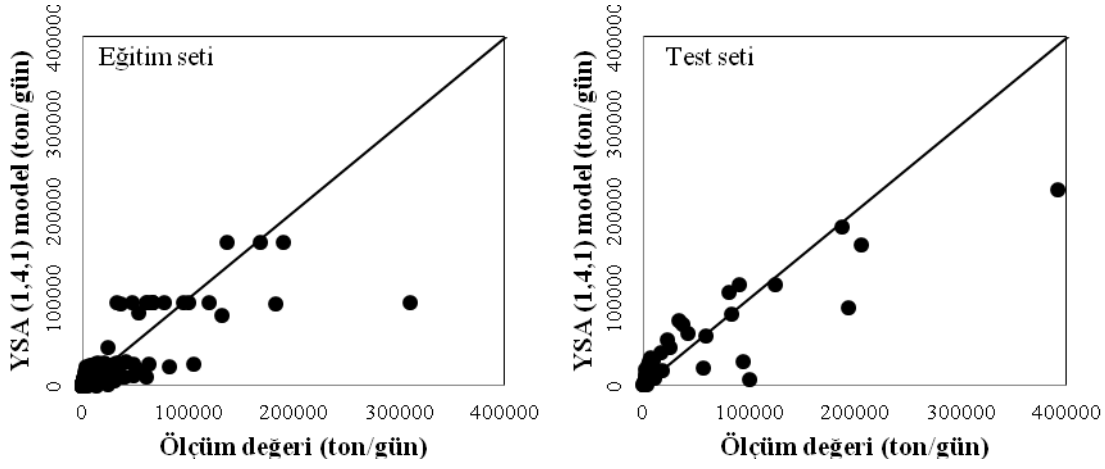
Burada, X, boyutsuz değer, X_i, ölçüm değeri, X_{max} ve X_{min} ölçümlerdeki maksimum ve minimum değerlerdir. YSA modelleri genellikle YSA(i,j,k) ağ mimarisi ile gösterilir. Burada i, girdi tabakasındaki nöron sayısı, j gizli tabakadaki nöron sayısı, k ise çıktı tabakasındaki nöron sayısıdır. Çalışmada, girdi tabaka nöron sayısı i=1 ve çıktı tabaka nöron sayısı k=1 olarak alınmıştır. Modellerin performanslarını değerlendirmek için karekök ortalama hata (KOH) değerleri ve belirginlik katsayıları (R²) hesaplanmıştır.

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{i(\text{gerçek})} - R_{i(\text{model})})^2} \quad (4)$$

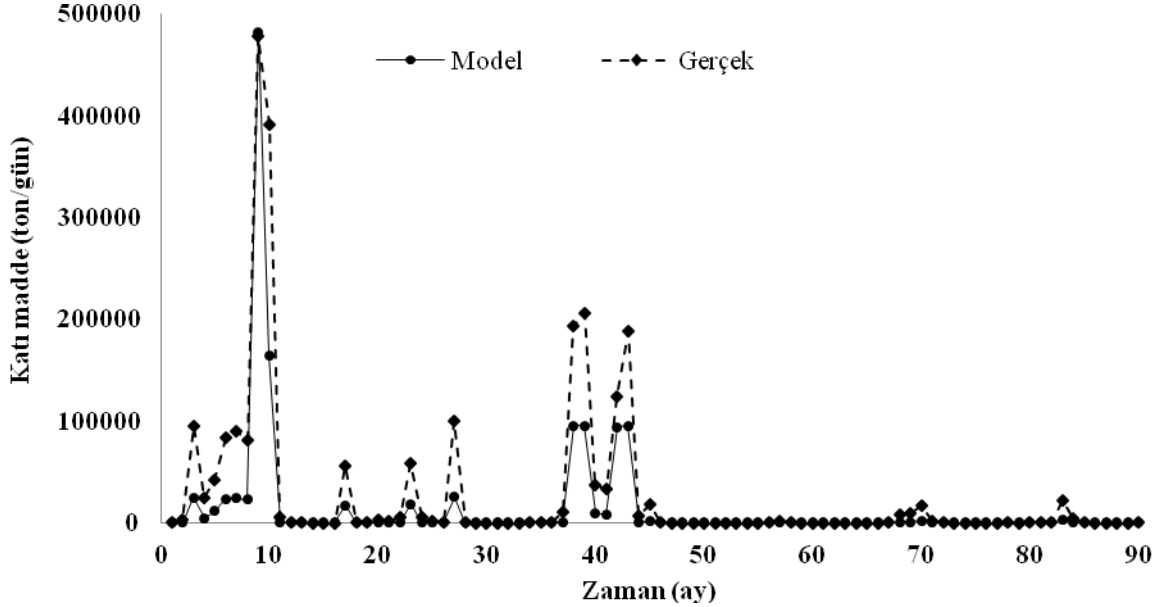
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_{i(\text{gerçek})} - R_{i(\text{model})})^2}{\sum_{i=1}^n (R_{i(\text{gerçek})} - R_{\text{ort}})^2} \quad (5)$$

Burada, n toplam veri sayısı, R_{i(gerçek)} ve R_{i(model)} sırasıyla ölçülen katı madde miktarı ve geliştirilen modelin sonuçlarıdır. R_{ort} ise ortalama katı madde miktarı değeridir. Katı madde miktarı tahminini en iyi temsil eden model belirleyebilmek için farklı gizli tabaka nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları denenmiştir. Geliştirilen modeller incelendiğinde, en iyi modelin ağ yapısı YSA(1,4,1) ve aktivasyon fonksiyonu ise logaritmik sigmoid olarak belirlenmiştir. Bu modelin eğitim seti için R² ve KOH değerleri sırasıyla 0,81 ve 18468,5 ton/gün, test seti için de 0,78 ve 34986,4 ton/gün olarak hesaplanmıştır. Bu modelin eğitim ve

test setlerine ait saçılma diyagramı Şekil 2’de verilmiştir ve test seti için zaman serisi de Şekil 3’te verilmiştir. Elde edilen YSA modelinin katı madde tahmini için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. YSA(1,4,1) modelinin eğitim ve test seti için saçılma diyagramları



Şekil 3. YSA(1,4,1) modelinin test setine ait zaman serisi

5. Sonuçlar

Akarsu boyunca katı madde hareketlerinden kaynaklanan oyulma ve yığılmalar sonucunda akarsu morfolojisi değişir, akarsu üzerine yapılan yapılar fonksiyon ve sağlık açısından zarar görür ve suyun kalitesi etkilenir. Bu yüzden katı madde miktarının belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu etkilenmeleri daha iyi anlamak ve doğru bir şekilde belirlemek için zamanla değişen çok sayıda parametreye ve katı madde hareketinin prensiplerini bilmeye ihtiyaç vardır. Son yıllarda geniş kullanım alanı bulan ve karmaşık ilişkileri kolaylıkla ortaya çıkarabilen yapay sinir ağları (YSA) katı madde tahmininde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, YSA yöntemi ile Kızılırmak Nehri'ne ait katı madde tahmin modeli geliştirmek için aynı istasyona ait akım değerleri kullanılmıştır. Geliştirilen model incelendiğinde, YSA yönteminin katı madde tahmininde kullanılabileceği ve ölçüm yapılamayan zamanlarda veya verilerin kaybolması gibi durumlarda eksik verilerin YSA yöntemi ile tamamlanabileceği görülmüştür.

Kaynaklar

- Anonim (2012). <http://www.samsun.gov.tr/samsun-sehri.asp?ContentId=21#5>
- Berkün, M., (2005). Su Kaynakları Mühendisliği. İstanbul.
- Cıgızoğlu, H.K. (2000). Suspended Sediment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves. Turkish J. Eng. Env. Sci., 26 , 27 -36.
- Çobaner, M., Ünal, B., Kişi, Ö. ve Ünal, S. (2006). Akarsularda Katı Madde Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21(1-2), 229-235.
- Doğan, E. (2009). Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi. İMO Teknik Dergi, 302, 4567-4582.
- Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N. (2010). Su Kaynakları Mühendisliği, İstanbul.
- Fırat, M. ve Güngör, M. (2004). Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. İMO Teknik Dergi, 219, 3267-3282.
- Kişi, Ö. (2007). Akış-Katı Madde Anahtar Eğrisinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Geliştirilmesi, International Journal of Science and Technology, 2(1), 49-61.
- Kişi, Ö., Karahan M.E. ve Şen, Z. (2003). Nehirlerdeki Askı Maddesi Miktarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi. İTÜ Dergisi/d Mühendislik, 2(3), 43-54.
- Öztemel, E. (2003) Yapay Sinir Ağları, İstanbul.
- Öztopal, A. ve Şen, Z. (2009). Kısa Vadeli Yağış Modellemesi İçin Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı. İTÜ Dergisi/d Mühendislik, 8(1), 83-94.
- Öztürk, F. (2002). Yüzey Akış ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli ile Belirlenmesi. Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Ankara.
- Öztürk, F., Sönmez F. Kemal, Yıldırım, Y. Ersoy, Bayramın, İ., Apaydın, H. ve Karaş, E. (2003) Kurukavak Deresi Havzasında Yüzey Akış ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli ile Tahmini. Tarım Bilimleri Dergisi, 9 (3), 344-351.
- Ülke, A., Özkul, S. ve Tayfur G. (2011). Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yükü Tahmini. İMO Teknik Dergi, 348, 5387-5407.
- Ülke, A., Özkul, S., Tayfur, G. ve Gündoğdu, İ. (2010). Gediz Nehri için Eksik Sediment Verilerinin Tahmin Edilmesi. VI. Ulusal Hidroloji Kongresi, 254-264, Denizli.
- Yenigün, K., Bilgehan M., Gerger, R. ve Mutlu, M. (2010). A Comparative Study on Prediction of Sediment Yield in The Euphrates Basin. International Journal of the Physical Sciences, 5(5), 518-534.
- Yurtoğlu, H. (2005). Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği. Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Uzmalık Tezi, 104 s., Ankara.