



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Sediment Anahtar Eğrisi Türetilmesi: Uygulama Gömelönü İstasyonu

The Derivation of Sediment Rating Curve: Case Study of Gömelönü Station

Yazar(lar) (Author(s)): Nermin ŞARLAK¹, Deniz ÜSTÜN²

¹ ORCID ID: 0000-0003-3632-2725

² ORCID ID: 0000-0002-5229-4018

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şarлак N., Üstün D., "Sediment Anahtar Eğrisi Türetilmesi: Uygulama Gömelönü İstasyonu", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(1): 09-20, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Sediment Anahtar Eğrisi Türetilmesi: Uygulama Gömelönü İstasyonu

Nermin ŞARLAK^{1,*}, Deniz ÜSTÜN²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 70100, KARAMAN

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 33400, Tarsus/MERSİN

Öz

Askıda sediment partikülleri akım hızına yakın bir hızla hareket ettiğinden debinin bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Bu bakımdan belirli bir zaman ve alanda ölçülen akım debileri ile sınırlı askıda sediment yükü örneklerinden laboratuvarında hesaplanan konsantrasyonlar arasındaki ilişkiden sediment anahtar eğrisi türetilmektedir. Türetilen eğri denklemindeki regresyon katsayıları logaritmik saçılmış veri değerlerine en küçük kare regresyon yöntemi kullanılarak lineer çizgi uydurulması ile elde edilir. Bu çalışmada Yeşilırmak Havzası'nda yer alan 1418 Gömelönü gözlem istasyonu için sediment anahtar eğrisi türetilmiştir. Çalışmanın iki amacından ilki, anahtar eğrisi denkleminin belirlenmesinde kullanılan veri setlerinin önemi ve sediment konsantrasyon tahminleri üzerindeki etkisinin ortaya konulmasıdır. Sonuçlar sediment anahtar eğrisinin kullanılan veri setlerine olan duyarlılığını ortaya koymuştur. İkinci amaç, yapay zekâ optimizasyon yöntemlerinden, sürü zekasına dayalı olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve yapay arı kolonisi (YAK) algoritmalarının kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Ölçülmüş verilere en yakın sonuçlar PSO ve YAK kullanılarak belirlenen sediment anahtar eğri fonksiyonları ile elde edilmiştir. Fonksiyon parametrelerinin bulunmasında PSO ve YAK algoritmalarının yakınsamaları neredeyse aynı olmuştur. Sonuç olarak, sediment anahtar eğrisi, yağış ve akışın zamansal ve mekânsal değişimleri, havzanın topoğrafyası, zemin cinsi, arazi kullanımı, bitki örtüsü gibi pek çok parametrenin etkisindeki karmaşık fiziksel bir olayın akışın fonksiyonuna indirilmesi ile elde edilen bir modeldir. Tahminlerdeki belirsizlikleri sadece yöntem ve ölçülmüş debi verileri ile gidermenin neredeyse imkânsız olduğunun farkında olunmalıdır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/01/2020

Düzeltilme: 25/03/2020

Kabul: 23/04/2020

Anahtar Kelimeler

Anahtar eğrisi

PSO

YAK

Keywords

Rating curve

PSO

ABC

The Derivation of Sediment Rating Curve: Case Study of Gömelönü Station

Abstract

The suspended sediment particles move at a velocity close to the streamflow's one, hence it is seen as a function of the discharge. In this regard, the sediment rating curve is derived from the relationship between the measured discharge at a given time and area and the sediment concentrations calculated in the laboratory from limited suspended sediment load samples taken simultaneously with discharge. The regression coefficients in the derived curve equation are obtained by fitting linear line to the logarithmic scattered data values by using the least square regression method. In this study, the sediment rating curve was derived for 1418 Gömelönü observation station located in Yeşilırmak basin. The first of the two study objectives was to reveal the importance of the data sets used in determining the rating curve equation and their effects on the sediment concentration estimates. The results revealed the sensitivity of sediment rating curve to the data sets used. The second objective was to examine the usability of particle swarm optimization (PSO) based on swarm intelligence and artificial bee colony (ABC) algorithms. These are the artificial intelligence optimization methods. The closest results to the measured data were obtained from the sediment rating curve functions determined with PSO and ABC. The converges of PSO and ABC algorithms to obtain functions' parameters have been almost the same. As a result, the sediment rating curve is a model obtained by reducing a complex physical event which is influenced by many parameters such as temporal and spatial variations of the precipitation and flow, topography, soil type, land use and vegetation cover of the basin to function of the discharge. It should be aware of that is almost impossible to eliminate the uncertainty in the estimation by method and measured discharge data only.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Erozyon ile ülkemizdeki en verimli topraklardan denizlere, göl ve barajlara yılda 400-500 milyon ton toprak taşındığı bilinen bir durumdur. Birim alanda taşınan toprak miktarının Afrika'dan 22 kat, Avrupa'dan 17 kat, Kuzey Amerika'dan 6 kat fazla olduğu Çölleşme ve Erozyon ile Mücadele raporunda belirtilmiştir [1]. Söz konusu toprağın taşınmasında aracılık eden akarsular, bünyesine gelen sediment olarak adlandırılan katı maddeleri akım debisine bağlı olarak askıda ve/veya tabanda sürüntü maddesi olarak taşıyabilmektedirler. Akarsu morfolojisinin anlaşılmasında, barajlardaki ölü hacmin, kanal ve limanlarda biriken sediment miktarlarının belirlenmesinde, balık vb. canlı yaşamının sürdürülebilmesini sağlamada, içme ve kullanma suyu temini, toprak erozyonu ve toprak kaybı problemlerinde, havza yönetimi çalışmalarında nehir tarafından taşınan askıda sediment yükünün (C) doğru tahmini önem arz etmektedir. Askıda sediment türbülans hızı etkisine maruz kalarak taşındığından herhangi bir birikme söz konusu değildir. Bu sebepten belirli sıklık ve değişen su seviyelerinden alınan örneklerin laboratuvar ortamında analizleri yapılarak miktarları belirlenebilmektedir. Ülkemizde Devlet Su İşleri (DSİ) su derinliği 4,5 m'den daha az olan akarsularda derinlik entegrasyon yöntemine göre araziden ölçüm almaktadır. En az 10 ara kesitte yapılan debi ölçümünden sonra tüm kesiti kapsayacak şekilde sediment numunesi 3, 6 veya 10 eşit düşey parçaya ayrılan kesitlerden alınmaktadır. Genelde akım debisinin çok düşük olduğu durumlarda 3 düşey, akım debisinin uzun yıllar ortalamasının altında olduğu durumlarda 6 düşey ve yüksek olduğu durumlarda 10 düşey eşit parçadan numune alınması tercih edilmektedir. Laboratuvara getirilen numuneler filtrasyon yöntemi ile mg/l birimine tekabül eden ppm (milyonda bir kısım) biriminde, daha sonra akım debisi de dahil edilerek ton/gün biriminde hesaplanabilmektedir. Net sedimentin elek analizi ile de askıda sedimentin dane büyüklük dağılımları belirlenebilmektedir [2]. Arazide sediment örnekleme ölçümleri için yeterli finansal ve iş gücü kaynağının olmaması sebebiyle ölçümler genellikle ayda bir gerçekleştirilebilmektedir.

Askıdaki sediment miktarının belirlenmesinde anahtar eğrisi gibi ampirik bağıntıların tercih edilme sebebi hali hazırda günlük akım verilerinin ölçülmesidir. Askıda sediment yükü akım hızına yakın bir hızla hareket ettiği için debinin bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Bu bakımdan belirli bir zaman ve alanda ölçülen akım debileri ile sınırlı askıda katı madde örneklerinden laboratuvar ortamında hesaplanan sediment konsantrasyonları arasındaki ilişkiden sediment anahtar eğrisi türetilmektedir. Bu şekilde sürekli ölçülen debi değerleri kullanılarak askıdaki katı madde miktarları belirlenebilmektedir. Sediment anahtar eğrisi elde edilmesinde en çok tercih edilen fonksiyon akım anahtar eğrisinde olduğu gibi üssel fonksiyondur:

$$C_1^t = aQ^b \quad (1)$$

eşitlikteki C_1^t askıda katı madde konsantrasyonu tahmini (mg/l veya ppm); Q akım debisi (m^3/s); a ve b regresyon katsayılarıdır. a ve b regresyon katsayıları geleneksel yaklaşımda logaritmik saçılmış veri değerlerine en küçük kare regresyon yöntemi kullanılarak lineer çizgi uydurulması ile elde edilirler. Ancak anahtar eğrisinden elde edilen ile ölçülmüş konsantrasyon değerleri arasında farklılık olması, bağıntının mekânsal ve zamansal farklılık göstermesi ve tek bir bağıntının bulunamaması araştırmacıların bu konuda halen çalışmalar sürdürmelerine neden olmaktadır. Colby (1956) sediment anahtar eğrisi fonksiyonunun sadece akarsu debisinin tüm gün boyunca sabit olduğu günlerde kullanılabileceğini vurgulamıştır [3]. Aksi takdirde ölçülmüş değerlerin altında sonuç elde edilmesinin kaçınılmaz olacağına işaret etmiştir. Walling (1977b) saatlik verilerle yaptığı çalışma ile ani değişimlerin olduğu günlerde anahtar eğrisi fonksiyonundan ölçülmüş verilerin altında değerler tahmin edildiği sonucuna ulaşmıştır [4]. Ferguson (1986a, 1987) anahtar eğrisi türetmede kullanılan logaritmik dönüşümlü regresyon yönteminden kaynaklı yanlışlık sebebiyle ölçülmüş verilerin altında değerler tahmin edildiğini iddia etmiştir [5,6]. Basit bir düzeltme faktörü (CF_F) kullanımının hata miktarlarını büyük ölçüde giderebileceğini ifade etmiş ve Eşitlik 2'yi önermiştir:

$$CF_F = \exp(2,651s^2) \quad (2)$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (\log C_i - \log C_i^t) / (n - 2) \quad (3)$$

eşitlikteki C_i ve C_i^t sırasıyla ölçülmüş ve tahmin edilmiş konsantrasyon değerleri, ve n gözlem sayısıdır.

Koch ve Smillie (1986) düzeltme faktörü (CF_{K-S}) olarak non-parametrik bir fonksiyon önermiştir [7]:

$$CF_{K-S} = (1/n) \sum_{i=1}^n 10^{\log(C_i) - \log(C_i^t)} \quad (4)$$

Walling ve Webb (1988) yukarıda belirtilen iki düzeltme faktörünün etkisini haftalık ölçülmüş verileri kullanarak araştırmıştır. Ferguson'un ifade ettiği gibi basit bir düzeltme faktörü ile ölçülmüş verilerin doğru bir şekilde tahmin edilemeyeceğini, anahtar eğrisi ile ilişkili diğer hata kaynaklarının daha önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Anahtar ilişkisindeki mevsimsel farklılık, aşırı yağıştan debi ve sediment konsantrasyonunun farklı etkilenmesi, taşkın başı ve sonundaki sediment miktarlarındaki farklılık gibi durumların düzeltme faktörü ile giderilemeyeceğini ifade etmişlerdir. Asıl problemin çoklu değişkenli karmaşık sürecin basit bir denklem ile ilişkilendirme çabasıyla kaynaklandığı vurgulanmıştır [8].

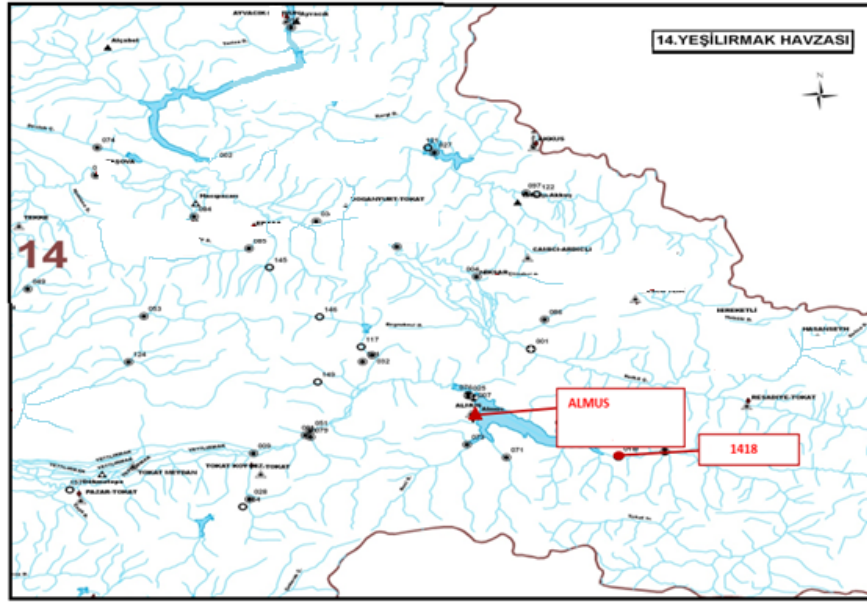
Asselman (2000) üssel anahtar eğrisi fonksiyonunun hem yüksek debi durumunda artan akım gücünün etkisinin hem de yüksek debiye sebep olan hava koşullarından kaynaklı yeni sediment kaynaklarının genişlemesini kapsadığını ifade ederek, a ve b katsayılarının fiziksel anlamları üzerine bir çalışma yapmıştır [9]. Düşük a ve yüksek b katsayılı anahtar eğrilerinin düşük debilerde az sediment taşınımının gerçekleştiği ve debideki küçük bir artışın daha fazla askıda sediment konsantrasyonu ile sonuçlandığı durumlarda; yüksek a ve düşük b katsayılı anahtar eğrilerinin ise neredeyse tüm debilerde taşınabilen yoğun ayrılmış malzemelerin taşındığı durumlarda elde edildiğini ifade etmiştir. Asselman, anahtar eğrisini belirlemede en iyi fonksiyonun lineer olmayan üssel fonksiyon olduğunu ileri sürmüştür.

Yapay zekâ modellerinden Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ülkemizdeki pek çok araştırmacı tarafından askıda sediment tahmini için kullanılmıştır [10, 11, 12, 13]. YSA dışında uygulanan diğer modeller arasında Genetik programlama [14], Makine kod-tabanlı genetik programlama [15], Lineer genetik programlama [16], YSA modelini eğitmede Yapay arı kolonisi ve Öğretme-öğrenmeye dayalı optimizasyonunu kullanan çalışma [17] sayılabilir. Bu çalışmalar incelendiğinde askıda sediment tahmininin yağış (bir veya daha fazla zaman önceki ve/veya o zamandaki), akış (bir veya daha fazla zaman önceki ve/veya o zamandaki) ve sediment yükü (hiç veya bir veya daha fazla zaman önceki) gibi girdi verileri kullanılarak ya kapalı model şeklinde çalıştırılıp ya da üssel sediment eğrisi denklemi kadar basit olmayan denklemler türetilerek önerilen yöntemlerin performans değerlendirilmelerinin yapıldığı görülmektedir. Akademik yayınlarda dahi literatürde önerilmiş olan denklemlerin bir başka araştırmacı tarafından karşılaştırma yapma amacı ile kullanılmaması, askıda sediment yükü tahmininde geleneksel üssel sediment anahtar eğrisi kadar kabul görmüş bir yöntemin bulunmadığı yorumu çıkarılmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada Yeşilirmak Havzası'nda yer alan 1418 Gömelönü gözlem istasyonu, sediment anahtar eğrisi türetilmesinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Çalışmanın iki amacından ilki, geleneksel anahtar eğrisi denkleminin belirlenmesinde kullanılan veri setlerinin önemi ve sediment konsantrasyon tahminleri üzerindeki etkisinin ortaya konulmasıdır. İkinci amaç, yapay zekâ optimizasyon yöntemlerinden, sürü zekasına dayalı olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [18] ve yapay arı kolonisi (YAK) [19] algoritmalarının kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Çalışmanın bu aşamasında, üssel fonksiyonda mevcut olan a ve b parametre değerleri minimum ortalama hata kareleri karekökü hedef kriteri olarak seçilerek PSO ve YAK algoritmaları ile belirlenmiştir. Tahmin edilen değerler ölçülmüş veriler ile karşılaştırılmıştır. PSO ve YAK kullanılarak tahmin edilen değerlerde iyileşme sağlanmış, ancak geleneksel fonksiyonda olduğu gibi ölçülmüş pik sediment değerlerinin altında tahminler elde edilmiştir.

2. MATERYAL ve METOTLAR (MATERIAL and METHODS)

Bu çalışmada en fazla sediment madde taşıyan akarsulardan biri olması sebebiyle hızla büyüyerek Türkiye'nin ikinci büyük deltasına sahip olmuş Yeşilirmak Havzası'nda yer alan 1418 Gömelönü gözlem istasyonu için sediment anahtar eğrisi türetilmiştir. Sivas ili sınırları içerisinde gelen Yeşilirmak nehrinin ana kolu ile Tozanlı çayının birleşiminden sonra ve Almus barajına girmeden önce Çilhane köprüsünde yer alan 1 608 km² akış ve sediment drenaj alanına sahip 1418 Gömelönü gözlem istasyonuna (bkz. Şekil 1) ait 1980-2011 yılları arasında DSİ tarafından ölçülmüş 249 veri çalışmada kullanılmıştır. Almus, 1967 yılından itibaren sulama, taşkın kontrolü ve enerji üretimi için kullanılan bir barajdır. 1418 Gömelönü istasyonunda ölçülen askıda sediment konsantrasyonları barajın ölü hacminde birikebilecek sediment miktarlarının gözlenmesi açısından önemlidir. Akarsuda askıda taşınan sediment baraj gövdesi arkasında durgunlaşma neticesinde yerçekimi etkisinde kalacağı için önem arz etmektedir.



Şekil 1. 1418 Gömelönü istasyon konumu

Sediment ölçümleri 1989-1993, 1999-2002, 2005-2009 yılları arasında kesintiye uğrasa dahi ayda bir sediment konsantrasyonu ölçümlerinin alındığı istasyondaki askıda sedimentin dane büyüklük dağılımları: %39,7 kil+silt ve %60,3 kum olduğu rapor edilmiştir. Göz önüne alınan yıllardaki akım ve sediment ölçüm veri istatistikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. 1418 Gömelönü istasyonu ölçülmüş tüm veri istatistikleri

Değişken	İstatistik	En düşük	En yüksek	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
		Tüm veri	Q (m ³ /s)	0,8	188,8	23,2	29,4
	C (ppm)	6,6	5510	328,9	671,1	3,9	19,1
Haziran-Ekim	Q (m ³ /s)	0,8	41,9	8,9	8,8	1,97	3,53
	C (ppm)	8,3	2220	146,0	330,0	4,12	19,29
Kasım-Mayıs	Q (m ³ /s)	2,8	188,8	32,9	34,24	1,78	3,47
	C (ppm)	6,6	5510	453,6	803,2	3,23	12,86

En yüksek debinin gözlemlendiği zamanda en yüksek sediment miktarı ölçülmüş olmasa da en yüksek ikinci debinin olduğu anda ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan veri setinin anahtar eğrisi türetilmesindeki etkisini göstermek ve katsayıların fiziksel anlamlarını tartışabilmek amacı ile veri seti tüm, Ocak-Mart, Nisan-Haziran, Temmuz-Eylül, Ekim-Aralık, Kasım-Mayıs ve Haziran-Ekim olmak üzere yedi farklı şekilde ele alınmıştır.

2.1 Parçacık Sürü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization)

Balık ve böcek sürülerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilen PSO algoritması, 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından tanıtılmış bir optimizasyon yöntemidir [18]. Bilim insanları yiyecek arama ve güvenliği sağlama gibi durumlarda sürü halinde hareket etmenin amaca ulaşmada etkin bir rol oynadığını ortaya çıkarmışlardır. Zaman içerisinde ilgili süreçlerin incelenmesi sonucunda elde edilen çıkarımlardan ve gözlemlenen bu davranışlardan esinlenerek, farklı problemlerinin çözümüne yönelik çeşitli optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. PSO algoritmasında, sosyal bilgi paylaşımı esas alınarak ve arama işlemi yinelemeli olarak paylaşılan bilgiler ışığında gerçekleştirilmektedir. Algoritmada her bir birey

parçacık olarak adlandırılır ve parçacıklar bir araya gelerek belirli bir popülasyonu (sürü, swarm) oluştururlar. PSO algoritması içerisindeki arama işleminin temel prensibi, popülasyonda bulunan diğer bireylerin pozisyonunun, yine aynı popülasyonda bulunan en iyi pozisyona sahip bireye yaklaştırılmasına dayanır. Yaklaşma hızının değeri rastgele oluşturulan bir durum olmakla birlikte yinelemeler sonucunda elde edilen çoğu durumda sürü içerisinde hareket ettirilen bireylerin yeni konumları, bir önceki konumlarından daha iyi duruma getirilir ve ilgili süreç belirlenen hedefe ulaşıncaya kadar devam eder.

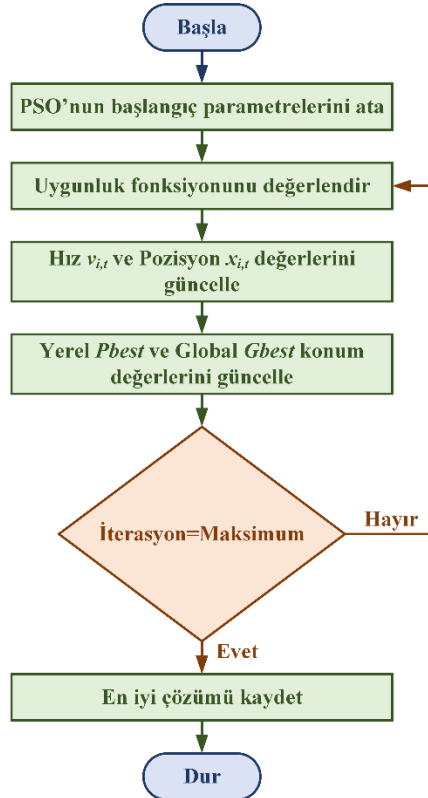
PSO algoritmasında arama işlemleri aşağıda verilen temel işlemler izlenerek gerçekleştirilmektedir:

- Rastgele olarak belirlenen sayıda bireylerin başlangıç pozisyon değerlerini ve başlangıç hız değerlerini oluştur,
- Sürü içerisinde mevcut olan tüm parçacık pozisyon değerlerine karşılık gelen uygunluk değerlerini hesapla,
- Her bir parçacık için mevcut iterasyonda yerel en iyi (pbest) pozisyon değerini bul (Sürü içerisinde mevcut olan yerel en iyilerinin sayısı parçacık sayısına eşittir),
- İlgili iterasyonda yerel en iyiler içerisinde global en iyi parçacık (gbest) pozisyon değerini bul,
- Hız ve parçacık pozisyon değerlerini Eşitlik 5 ve 6'yı kullanarak güncelle,
- Hedef kriteri sağlanıncaya kadar b, c, d ve e adımlarını tekrarla.

$$V_{id}=W*V_{id}+c_1*rand_1*(pbest-X_{id}) +c_2*rand_2*(gbest-X_{id}) \quad (5)$$

$$X_{id}=X_{id}+V_{id} \quad (6)$$

Burada, X_{id} sürü içerisindeki parçacıkların pozisyon değerini ve V_{id} her bir parçacığa ait hız değerlerini temsil etmektedir. $rand_1$ ve $rand_2$, 0 ile 1 aralığında her iterasyonda rastgele üretilen sayılardır. W hız atalet ağırlık değerini, c_1 ve c_2 ifadeleri ise ölçekleme faktörlerini temsil etmektedir. PSO yönteminin işleyişine ait akış şeması Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. PSO yöntemi işleyişine ait akış şeması

2.2 Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony)

Doğada bal arılarının yiyecek toplama davranışlarından esinlenerek geliştirilen yapay arı kolonisi (YAK) algoritması Karaboğa tarafından 2005 yılında sunulmuştur [19]. YAK algoritması bazı kabuller yapılarak geliştirilmiştir. Algoritmada işçi, gözcü ve izci olmak üzere üç grup bulunmaktadır. Görevli arıların sayısı ile toplam yiyecek kaynağı sayısı birbirine eşittir. Ayrıca, işçi ve gözcü arılarının sayılarının birbirine eşit olduğu da kabul edilmektedir. Eğer bir yiyecek kaynağının nektarı tükenmiş ise kaynak ile ilgilenen arının görevi kâşif arı olarak devam etmektedir. YAK algoritmasında, yiyecek kaynaklarının konumları optimizasyon probleminin olası olan çözümlerini ve ilgili kaynakların nektar miktarları ise ilgili olası çözümün kalitesini belirlemektedir. Bu kapsamda, YAK algoritması problem için tanımlanmış çözüm uzayında en fazla nektar miktarına sahip olan kaynağa doğru yönelerek problemin en küçük veya en büyük değerlerini veren en uygun çözümleri bulmaya çalışır [19]. YAK algoritmasının temel aşamaları aşağıda verilmiştir:

- Problemin tanımlı arama uzayında yiyecek kaynağı noktalarının üretilmesi,
- İşçi arıların yiyecek kaynaklarına yönlendirilmesi,
- Kaynakların olasılık değerlerinin işçi arıların bilgi paylaşımına göre hesaplanması,
- Gözcü arıların olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı noktalarına yönlendirilmesi,
- Kaynağı bırakma kriterine göre limit ve kâşif arı üretimi gerçekleştirilmesi.

YAK algoritması, olası çözümlere karşılık gelen yiyecek kaynaklarının pozisyonlarını, arama uzayı içerisinde tanımlı olan alt ve üst sınırları arasında rastgele olarak belirler. Daha sonra oluşturulan her bir kaynağın geliştirilemeye sayaçları sıfırlanır. Algoritmanın işleyişi içerisinde her bir kaynak için kaynağı bırakma kriteri sağlanıncaya kadar tüm yiyecek kaynakları işçi, kâşif ve izci arıları adımları işletilerek en uygun çözüm bulunmaya çalışılmaktadır. Arama işlemleri, yiyecek kaynaklarının komşuluğunda yeni kaynaklar belirlenerek ve bu kaynaklar daha da iyileştirilerek gerçekleştirilmektedir. Temel olarak YAK algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Eşitlik 7 ile x_{ij} , $i = 1, \dots, N$ ve $j = 1, \dots, M$ başlangıç çözümlerine değerlerini ata ve geliştirilemeye sayaç değerlerini sıfırla ve uygunluk değerlerini belirle. Burada, N , yiyecek kaynağı sayısı ve M optimize edilecek parametreyi ifade etmektedir. Eşitlik 7 kullanılarak her bir parametrenin alt (x_j^{min}) ve üst (x_j^{max}) sınırları arasında rastgele başlangıç kaynak konumu üret.

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1) * (x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (7)$$

Adım 2: $i = 1$ 'den N 'e kadar her bir çözüm için Eşitlik 8 ile yeni çözümler üret.

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij} * (x_{ij} - x_{kj}) \quad (8)$$

Adım 3: Oluşturulan yeni noktanın sınırlar içerisinde olup olmadığını kontrol et. Daha sonra ilgili noktanın maliyet (amaç fonksiyon) değerlerini hesapla $f(v_i)$ ve Eşitlik 9'u kullanarak çözümün uygunluk değerini belirle. Eski nokta x_i ve yeni nokta v_i arasında aç gözlü seçim işlemi uygulayarak en iyi noktayı belirle. Aşağıdaki verilen ifade de f_i yeni nokta v_i 'ye ait maliyet değerini sembolize etmektedir.

$$Uygunluk_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i}, & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Adım 4: Gözcü arıların seçim işlemleri için kullanacakları uygunluk değerlerine bağlı olasılık değerlerini Eşitlik 10'u kullanarak hesapla.

$$p_i = \frac{Uygunluk_i}{\sum_{i=1}^N Uygunluk_i} \quad (10)$$

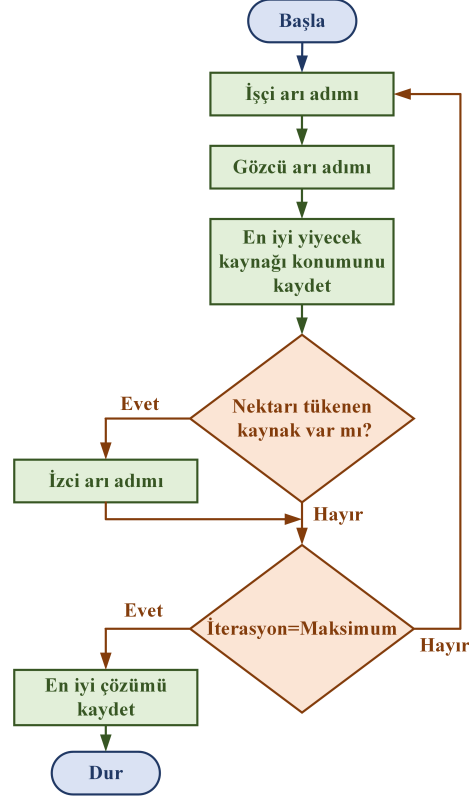
Rulet tekerliği yaklaşımı kullanarak seçim işlemlerinde her bir kaynak için $[0, 1]$ aralığında üretilen p_i değerlerine göre gözcü arıları kaynaklara yönlendir ve Eşitlik 8'i kullanarak yeni çözümler üret ve üretilen çözümler arasında aç gözlü seçim yardımı ile en iyi çözümü elde et.

Adım 5: Olası çözümlere karşılık gelen yiyecek kaynakların nektar değerlerinin tükenip tükenmediğini kontrol et. Kaynak tükenmiş ise Eşitlik 7'i kullanarak rastgele yeni bir kaynak konumu belirle.

Adım 6: En iyi çözümü hafızada tut.

Adım 7: Sonlandırma kriterini kontrol et, eğer koşullar sağlanmıyorsa Adım 2’den Adım 6’ya kadar tekrar et.

YAK yönteminin işleyişine ait akış şeması Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. YAK yöntemi işleyişine ait akış şeması

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Çalışmanın ilk aşaması, kullanılan veri setlerinin geleneksel anahtar eğri fonksiyonunun elde edilmesindeki etkisinin incelenmesidir. Farklı veri setleri için Eşitlik 1’de verilen fonksiyonun regresyon katsayıları (a ve b) en küçük kare yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen fonksiyonların başarısını ortaya koyabilmek adına hesaplanan belirleme katsayısı (R^2) değerleri ve regresyon katsayıları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Anahtar eğrileri regresyon katsayıları (a ve b) ve R^2 değerleri

Fonksiyon Veri seti	$C_1^t = aQ^b$		
	a	b	R^2
Tüm	5,33	1,13	0,67
Ocak-Mart	3,18	1,29	0,59
Nisan-Haziran	1,30	1,49	0,58
Temmuz-Eylül	14,38	0,62	0,14
Ekim-Aralık	2,98	1,42	0,67
Haziran-Ekim	8,84	0,95	0,40
Kasım-Mayıs	2,56	1,34	0,76

Debinin nispeten küçük olduğu Temmuz-Eylül ve Haziran-Ekim veri setleri için a katsayı değerleri daha büyükken b katsayı değerleri daha küçüktür. Bu sonuç söz konusu zamanlardaki debi artışının azaltılmış oranda ortamdaki sediment konsantrasyonunu arttırdığını ve sediment taşınımının mevcut sediment miktarı ile sınırlı kaldığını göstermektedir. Ancak elde edilen üssel fonksiyonların ölçülmüş veriyi ifade etmedeki başarılarının oldukça düşük olduğu unutulmamalıdır. Türetilen denklemlerin ölçülmüş değerlerdeki varyansı açıklayabilme yüzdeleri (R^2) sırasıyla 14 ve 40'tır.

Debinin nispeten yüksek olduğu Ocak-Mart, Nisan-Haziran ve Kasım-Mayıs veri setlerinde b katsayı değerleri birden büyüktür ve en yüksek b değeri Nisan-Haziran veri setinden elde edilmiştir. Kar erimeleri sonucu oluşacak yüzey suları akarsuda hem debiyi hem de havzadan taşıyacağı sediment ile konsantrasyonu artıracaktır. Buna ek olarak artan debi var olan iri taneli sedimenti de hareketlendireceğinden konsantrasyon artışının debideki artıştan daha fazla olması beklenen bir durumdur. Sayısal değerlerin de bu durumu doğrulaması a ve b katsayılarının fiziksel anlamları vardır yorumunu güçlendirmektedir. Beş farklı veri seti için bulunan a ve b katsayıları arasındaki bağıntı incelendiğinde a katsayısı artarken b katsayısı azalmaktadır. En yüksek debinin ($188,8 \text{ m}^3/\text{s}$) ölçüldüğü 14/05/1980 tarihindeki konsantrasyon ölçüm değeri (3160 ppm) tüm, Nisan-Haziran, Kasım-Mayıs üç farklı veri setinden bulunan anahtar eğrisi denklemlerinden sırası ile $2019,4 \text{ ppm}$, $3193,9 \text{ ppm}$, $2849,8 \text{ ppm}$ olarak tahmin edilmiştir. En iyi tahmin Nisan-Haziran veri setinin kullanılmasından gelmiştir.

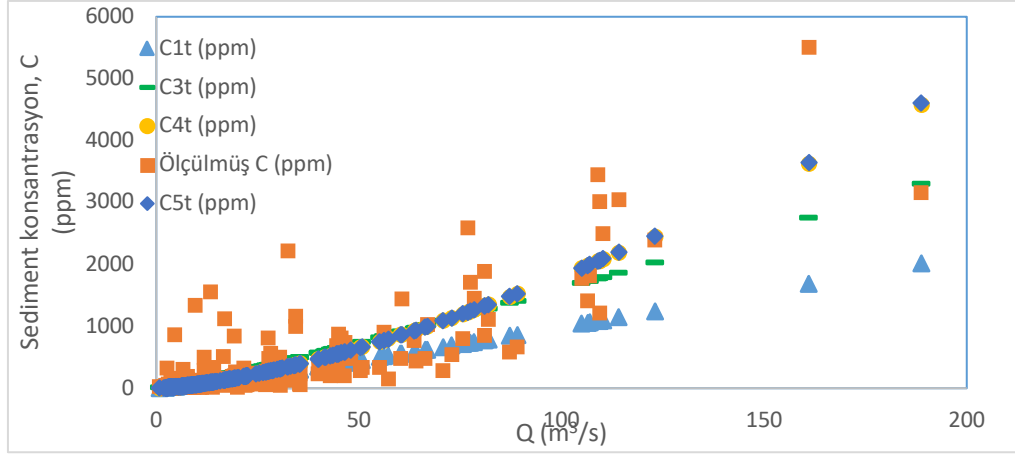
En düşük debinin ($0,8 \text{ m}^3/\text{s}$) ölçüldüğü 05/08/1982 tarihindeki konsantrasyon ölçüm değeri (24 ppm) tüm, Temmuz-Eylül, Haziran-Ekim üç farklı veri setinden bulunan anahtar eğrisi denklemlerinden sırası ile $4,14 \text{ ppm}$, $12,52 \text{ ppm}$, $7,15 \text{ ppm}$ olarak tahmin edilmiştir. En yakın tahmin Temmuz-Eylül veri setinin kullanılması ile gelmiştir. En kötü tahmin yüksek ve düşük debilerin bir arada incelendiği tüm veri setinden elde edilmiştir. Debi-konsantrasyon saçılımlarının azaltılmasının denklemlerden daha iyi tahmin elde edilmesini sağladığı bu şekilde ortaya konmak istenmiştir. Anahtar eğrisi fonksiyonu elde edilirken mevsimsellik etkisi ve hidrografın azalan-artan zamanlarını dikkate alan periyotlarının seçilmesinin ölçülmüş yakın konsantrasyonların tahmininde önemli olduğu pek çok çalışmada da vurgulanan bir durumdur.

Çalışmanın ikinci amacı olan sediment anahtar eğrisi üssel fonksiyonun parametrelerinin belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanılmasının ölçülmüş konsantrasyon tahmini üzerindeki etkisi, PSO ve YAK algoritmalarının kullanılmaları ile incelendi. Analizde tüm, Kasım-Mayıs ve Haziran-Ekim veri setleri kullanıldı. Bu şekilde fonksiyon parametrelerinin elde edilme yöntemi değiştirilmiş ve sediment konsantrasyonu (C_4^t (PSO), C_5^t (YAK)) tahminine etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Sediment anahtar eğri fonksiyonlarının katsayılarının (a ve b) elde edilme süreçlerinde kullanılan PSO için, parçacık sayısı 50, iterasyon sayısı 200, c_1 , c_2 katsayılarının değerleri 1,5 ve eylemsizlik katsayısı değeri $W=0,8$ 'dir. YAK algoritması için sürü sayısı 50, iterasyon sayısı 200 ve limit değeri 150 olarak alınmıştır. Her iki algoritma için söz konusu katsayılar Intel® Xeon E5-1620 3.5 GHz işlemci ve 64 GByte hafızaya sahip bir iş istasyonunda yazılan bilgisayar kodları ile belirlenmiş ve Tablo 3'te sunulmuştur. Ferguson (CF_F) ve Koch-Smillie (CF_{K-S})'nin önerdiği düzeltme faktörlerinin etkisi de araştırılmış ve katsayılar Tablo 3'te verilmiştir.

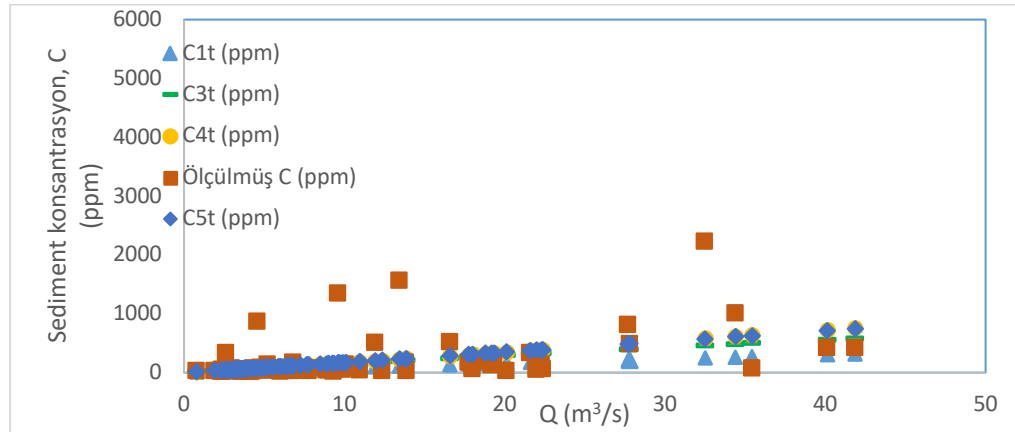
Tablo 3. Sediment anahtar eğri fonksiyon katsayıları (a ve b) ve düzeltme faktörleri (CF_F ve CF_{K-S})

Fonksiyon Veri seti	$C_1^t=aQ^b$		$C_2^t=CF_F*C_1^t$	$C_3^t=CF_{K-S}*C_1^t$	$C_4^t=aQ^b$ (PSO)		$C_5^t=aQ^b$ (YAK)	
	a	b	CF_F	CF_{K-S}	a	b	a	b
Tüm	5,33	1,13	1,00	1,63	2,16	1,46	2,05	1,47
Haziran-Ekim	8,84	0,95	1,00	1,86	13,53	1,08	14,95	1,05
Kasım-Mayıs	2,56	1,34	1,00	1,40	1,49	1,54	1,42	1,55

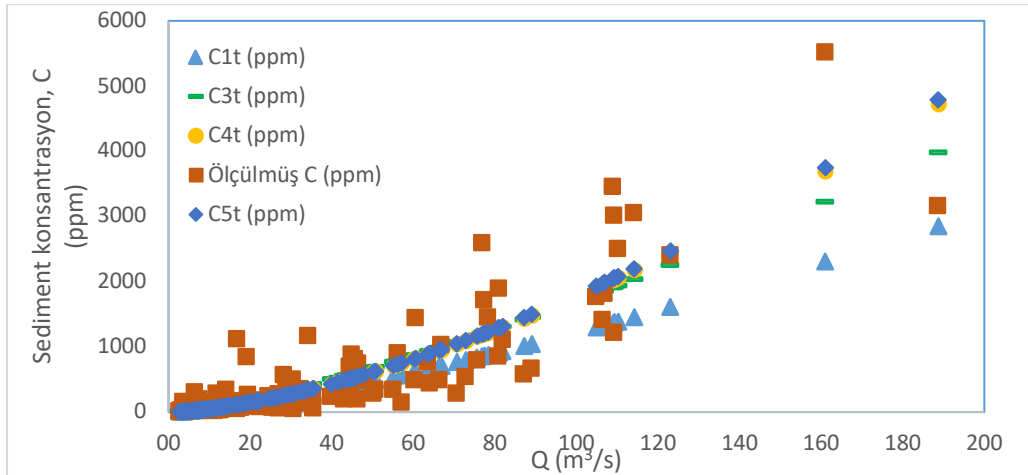
Geleneksel yöntem ile tüm veri için a katsayısı 5,33 bulunurken optimizasyon ile neredeyse yarı değer elde edilmiştir. Her bir veri setinden Ferguson düzeltme katsayıları için bir (1) değeri elde edildiğinden yanlışlığı gidermede etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Üç farklı veri seti için türetilen fonksiyonlardan tahmin edilen ve ölçülen sediment konsantrasyonları ölçülmüş debi değerlerine karşılık Şekil 4-6’da çizilmiştir.



Şekil 4. Tüm veri seti Q değerlerine karşılık C değerleri



Şekil 5. Haziran-Ekim veri seti Q değerlerine karşılık C değerleri



Şekil 6. Kasım-Mayıs veri seti Q değerlerine karşılık C değerleri

Şekil 4-6'dan görüleceği gibi C_3^t ile ifade edilen Koch-Smillie'nin önerdiği düzeltme faktörünün kullanıldığı fonksiyon, klasik yöntem (C_1^t) ile gözlem verilerinden düşük tahmin edilen sediment konsantrasyon değerlerini artırmada başarılı olmuştur. PSO ve YAK algoritmaları performansları birbirine oldukça yakın bulunmuştur (bkz. Şekil 4-6).

En yüksek sediment konsantrasyonunun (5 5510 ppm) ölçüldüğü 16/12/1981 tarihinde tüm (Kasım-Mayıs) veri seti için C_1^t , C_3^t , C_4^t , C_5^t fonksiyonlarından sırası ile 1 687 (2 304,4) ppm, 2 751,9 (3 219,7) ppm, 3 630,1 (3 698,1) ppm, 3 646,3 (3 744,8) ppm değerleri elde edilmiştir. 110 m³/s'den daha yüksek debiler için türetilen fonksiyonlardan tahmin edilen konsantrasyonlar en yüksek debi hariç ölçülmüş değerlerin altında kalmıştır. En yüksek debi anında ölçülen sedimenti en iyi geleneksel fonksiyon yakalamış ve yine düşük tahmin etmiştir. Optimizasyon ile elde edilen fonksiyon tahminlerinin geleneksel üssel fonksiyon tahminlerinden yüksek olması hata miktarlarının azalmasını sağlamıştır. Bu durum literatürü doğrular niteliktedir. Houria ve diğ., (2014) PSO algoritması ile iyileştirdikleri YSA modeli ile ölçülmüş debilerden sediment konsantrasyonlarını tahmin etmişlerdir. Yöntemin geleneksel üssel fonksiyondan ölçülmüş değerlerdeki varyansı açıklayabilme yüzdesinin (R^2) %18 daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [20]. Tabatabaei ve Salehpour (2017) üssel sediment eğrisi denklemi parametrelerinin elde edilmesinde PSO algoritmasını kullanmışlardır. Yöntemin geleneksel üssel fonksiyondan belirlenen ortalama hata kareleri karekökü değerini %70,78 oranında azaltmada başarılı olduğunu iddia etmişlerdir [21]. Ebrahimi ve diğ., (2015) YAK algoritmasını akım, yağış ve sediment ölçümlerini girdi verisi olarak model kurmada kullanmışlardır. 1000 mg/l'den yüksek pik sediment ölçüm değerlerini bulmada YAK algoritmasının daha başarılı olduğunu saptamışlardır. Ortalama mutlak rölatif hata değerlerini kıyaslayarak YAK algoritmasının geleneksel yöntem sonuçlarından daha iyi olduğunu göstermişlerdir [22]. Yılmaz ve diğ. (2019) YAK algoritmasını debi (bir-iki zaman önceki ve o zamandaki) ve askıda sedimenti (bir-iki zaman önceki) girdi değişkenleri olarak kurdukları ANN modelini eğitmede kullanmışlardır. Test verisinde kullandıkları veri seti sonuçlarına dayandırarak YAK ile eğitilen YSA modelinin klasik YSA modeline göre daha güçlü (robust) olduğunu belirtmişlerdir [17].

Fonksiyonların düşük debilerdeki performanslarını da ortaya koyabilmek adına ortalama hata (tahmin ile ölçülmüş değer farkları) kareleri karekök (OHKK) ve ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) değerleri üç veri seti için hesaplanmış ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Ortalama Hata Kareleri Karekök Değerleri (OHKK)

Ortalama Hata Ve Fonksiyonlar	OHKK (OMYH)			
	$C_1^t=aQ^b$	$C_3^t=CF_{K-S}*C_1^t$	$C_4^t=aQ^b$ (PSO)	$C_5^t=aQ^b$ (YAK)
Veri seti				
Tüm	469,3 (80)	374,7 (147)	352,8 (83)	352,8 (82)
Haziran-Ekim	312,9 (81)	291,1 (182)	287,9 (197)	288,0 (206)
Kasım-Mayıs	472,9 (69)	391,2 (104)	380,7 (75)	380,8 (74)

OHKK değerleri incelendiğinde ölçülmüş verilere en yakın sonuçların elde edildiği fonksiyonların optimizasyon ile belirlendiği sonucu çıkarılabilmektedir. OMYH değerleri ise C_3^t , C_4^t , C_5^t fonksiyonlarından tahmin edilen konsantrasyon değerlerinin C_1^t fonksiyonundan elde edilen değerlerden daha büyük olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum Haziran-Ekim aylarında ölçülen nispeten daha az konsantrasyon değerlerinin olduğu veri setinde daha belirgin ortaya çıkmış ve OMYH kıyaslama yönteminin kısıtlaması olarak gösterilen %100 değerinin aşılması durumunun ortaya çıkmasına sebep olmuştur. En düşük sediment konsantrasyonunun (6,6 ppm) ölçüldüğü 28/11/1996 tarihinde tüm (Haziran-Ekim) veri seti için C_1^t , C_3^t , C_4^t , C_5^t fonksiyonlarından sırası ile 27 (17,4) ppm, 44,1 (24,3) ppm, 17,5 (13,5)

ppm, 16,9 (13) ppm değerleri tahmin edilmiştir. Türetilen denklemlerden genelde düşük debiler için ölçülmüş değerlerin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

Tahmini konsantrasyonların yüksek sediment ölçüm değerlerinin altında kalmış olması ve HKOK değerlerinin yüksek olmaları Colby (1956) ve Walling (1977b) çalışmaları ile tutarlıdır. İki çalışmada da saatlik debinin sabit olduğu günlerdeki ölçülmüş veriler için anahtar eğrisi türetilmesi gerekliliği vurgulanmışken, bu çalışmada aylık veriler kullanılarak anahtar eğrisi türetilmeye çalışılmıştır. Diğer etkenlerin yanı sıra ayın sadece bir gününde ölçülmüş veriler kullanılarak türetilen fonksiyonlardan çok başarılı tahminler beklemenin gerçekçi olmayacağı açıktır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Geleneksel sediment anahtar eğrisi basit grafik formdan türetilen ve kullanımı kolay olan bir tahmin yöntemidir. Üssel eğri fonksiyonu logaritmik verilere en küçük kareler regresyonu uygulanması ile elde edilmekte ve halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, üssel eğri fonksiyonu parametrelerini bulmada en küçük kareler yerine yapay zekâ yöntemleri kullanılmıştır. Bu şekilde yüksek debiler için geleneksel üssel fonksiyondan tahmin edilen konsantrasyonların ölçülmüş değerlerin altında kalması durumunun iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Koch ve Smillie tarafından önerilen düzeltme faktörü ile düşük tahmin elde etme durumu biraz düzelmiş olsa dahi, etkili bir iyileşme gözlenmemiştir. En iyi tahminler PSO ve YAK algoritmaları ile bulunan üssel fonksiyonlardan elde edilmiştir, ancak yüksek sediment ölçümlerinin tahminindeki sorun çözülememiştir. Ortalama hata miktarları incelendiğinde en iyi tahminlerin PSO ve YAK ile türetilen fonksiyonlardan elde edildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma ile sediment anahtar eğrisinin veri setlerine ve üssel fonksiyon parametrelerinin bulunmasında kullanılan yöntemlere olan duyarlılığı 1418 Gömelönü istasyonu özelinde gösterilmeye çalışılmıştır. Sediment anahtar eğrisinin havzanın topoğrafik yapısı, zemin cinsi, arazi kullanımı, bitki örtüsü, yağış ve akışın zamansal ve mekânsal değişimleri gibi pek çok parametrenin etkin olduğu fiziksel bir olayı sadece akışın fonksiyonuna indirgeyen bir model olduğu unutulmadan, tahminlerin barındırdıkları belirsizliklerin farkında olunarak çözülmesi istenen problemde kullanılması gerektiği vurgulanması gereken bir noktadır. Tahminlerdeki belirsizlikleri sadece yöntem ve ölçülmüş debi verileri ile gidermenin neredeyse imkânsız olduğunun farkında olunmalıdır. Ülkemizde daha önce ifade edildiği gibi farklı yöntemler ile yağış, akış ve sediment ölçüm değerlerini model girdisi olarak sediment konsantrasyon tahminlerini iyileştirme yönünde çabalar mevcuttur. Ancak sağlıklı ve daha kısa süreli ölçülmüş verinin sağlayacağı iyileşme kuşkusuz daha etkin olacaktır. Bu bakımdan saatlik sediment konsantrasyon veri ölçümü yapılması sediment tahminlerinin iyileştirilmesinin sağlanmasında en önemli adım olarak görülmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Belen, İ. (2004) "Türkiye'de Erozyon Problemi ve Erozyon Kontrolü Çalışmaları" Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü Teknik Raporu, 30 Kasım 2004.
- [2] Uludağ, S. (2017) "DSİ Genel Müdürlüğü'nce Yürütülen Süspanse Sediment Çalışmaları" Kalite Kontrol Teknik Semineri, 16-20 Ekim, İstanbul, syf. 23-33.
- [3] Colby, B.R. (1956) "Relationship of Sediment Discharge to Streamflow" USGS Open File Report.
- [4] Walling, D. E. (1977b) "Assessing the Accuracy of Suspended Sediment Rating Curves for a Small Basin" Water Resources Research, 13, 531-538.
- [5] Ferguson, R.I. (1986a) "River Loads Underestimated by Rating Curves" Water Resources Research, 22, 74-76.
- [6] Ferguson, R.I. (1987) "Accuracy and Precision of Methods for Estimating River Loads" Earth Surf. Processes and Landforms 12, 95-104.
- [7] Koch, R.W. ve Smillie, G. M. (1986) "Comment on "River Loads Underestimated by Rating Curves by R. I. Ferguson" Water Resources Research, 22, 2121-2122.

- [8] Walling, D. E. ve Webb, B. W. (1988) “The Reliability of Rating Curve Estimates of Suspended Sediment Yield: Some Further Comments” In: Erosion and Sediment Transport Measurement (Proceedings of Porto Alegre Symposium, December) IAHR Publ. No.174, 337-350.
- [9] Asselman, N.E.M. (2000) “Fitting and Interpretation of Sediment Rating Curves” Journal of Hydrology, 234, 228-248.
- [10] Cığızoğlu, H. K. (2002) “Suspended Sediment Estimation for Rivers using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves” Turkish J. Eng. Env. Sci., 26 (1), 27-36.
- [11] Tayfur, G. ve Güldal, V. (2006) “Artificial Neural Networks for Estimating Daily Total Suspended Sediment in Natural Streams” Nordic Hydrology, 37 (1), 69-79.
- [12] Ardıçlıoğlu, M., Kişi, Ö., Haktanır, T. (2007) “Suspended Sediment Prediction by using Two Different Feed-forward Backpropagation Algorithms” Can J Civ Eng., 34(1), 1-6.
- [13] Ülke, A., Tayfur G., Özkul, S. (2009) “Predicting Suspended Sediment Loads and Missing Data for Gediz River, Turkey” J. Hydrol. Eng., 14 (9), 954-965.
- [14] Aytekin, A. ve Kişi, Ö. (2008) “A Genetic Programming Approach to Suspended Sediment Modeling” J Hydrol., 351(3-4), 288-298.
- [15] Kişi, Ö. ve Güven, A. (2010) “A Machine Code-based Genetic Programming for Suspended Sediment Concentration Estimation” Adv. Eng. Softw. 41(7-8),939-945.
- [16] Güven, A. ve Kişi, Ö. (2011) “Estimation of Suspended Sediment Yield in Natural Rivers using Machine-coded Linear Genetic Programming” Water Resour. Manage., 25, 691-704.
- [17] Yılmaz, B., Aras, E., Kankal, M., Nacar, S. (2019) “Prediction of Suspended Sediment Loading by means of Hybrid Artificial Intelligence Approach” Acta Geophysica, 67, 1693-1705.
- [18] Kennedy, J. ve Eberhart, R. (1995) “Particle Swarm Applied Mathematics 209:160–166, 2007. Optimization”, Proc. of the IEEE Int. Conference on Neural Networks, 4, 1942-1948.
- [19] Karaboğa, D. ve Baştürk, B. (2007) “A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm” Journal of Global Optimization, 39(3), 459–471.
- [20] Houria, B., Mahdi, K., Zohra, T.F. (2014) “PSO-ANN’s based Suspended Sediment Concentration in Ksob Basin, Algeria” Journal of Engineering and Technology Research, 6(8), 129-136.
- [21] Tabatabaei, M. ve Salehpour, J. A. (2017) “Optimization of Sediment Rating Curve Coefficients using Evolutionary Algorithms and Unsupervised Artificial Neural Network” Caspian J. Environ. Sci. 15(4), 385-399.
- [22] Ebrahimi, H., Jabbari, E., Ghasemi, M. (2015) “Application of the Honey-bees Mating Programming (HBMP) Algorithm to Sediment Concentration Modelling” Hydrological Sciences Journal, 60 (10), 1853-1864.