

# Nehirlerdeki askı maddesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi

Özgür KİŞİ\*, M. Emin KARAHAN, Zekai ŞEN

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Nehirlerdeki askı malzemesi miktarının doğru tahmini; kirliliğin belirlenmesi, akarsu taşımacılığı, baraj ömrünün tespiti, hidroelektrik teçhizatlarının emniyeti, balıkların yaşamını sürdürmesi, nehrin estetiğinin korunması vb. konularda çok önemlidir. Bu amaçla kullanılan katı madde anahtar eğrileri, çoğu tahminlerde iyi sonuçlar vermemelerine rağmen yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Bu çalışmada nehir enkesitindeki askı maddesi miktarının belirlenmesi için katı madde anahtar eğrilerine göre çok daha iyi bir alternatif olarak bulanık mantığa dayalı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık modeller USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen iki istasyonun günlük gerçek zaman debi ve askı malzemesi konsantrasyonu verilerine uygulanmış ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta bulanık modellerin, askı malzemesini modellemede katı madde anahtar eğrilerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Askı malzemesi konsantrasyonu, bulanık mantık, diferansiyel evolüsyon, katı madde anahtar eğrisi, modelleme.

## Modeling river suspended sediment yield using fuzzy logic

### Abstract

*Correct estimation of sediment volume carried by a river is important with respect to pollution, channel navigability, reservoir filling, hydroelectric-equipment longevity, fish habitat, river aesthetics and scientific interests. Conventional sediment rating curves, however, are not able to provide sufficiently accurate results. In this study, some models based on fuzzy logic is developed as a superior alternative to the sediment rating curve technique for determining suspended sediment concentration for a given river cross-section. This study provides forecasting benchmarks for sediment concentration prediction in the form of a numerical and graphical comparison between fuzzy and rating curve models. Benchmarking was based on five-year period of continuous streamflow and sediment concentration data of Quebrada Blance Station and four-year period of data of Rio Valenciano Station operated by the United States Geological Survey (USGS). Nine different fuzzy models were established for each station to estimate sediment concentration from streamflow. Each fuzzy model had different number of membership functions. Parameters of membership functions are found using differential evolution algorithm. The benchmark results show fuzzy models produce much better results than rating curve models.*

**Keywords:** Suspended sediment concentration, fuzzy logic, differential evolution, sediment rating curve, modeling.

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Özgür KİŞİ. kisi@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 68 45.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış "Nehir en kesitindeki askı malzemesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 16.01.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 09.04.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2003 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde, hidrolik potansiyelden yararlanma oranı yeterli düzeyde değildir. Üstelik ülkemiz hidrolik potansiyel açısından dünya ülkeleri arasında üst sıralarda yer almasına karşın, bu potansiyelden yararlanma oranı yaklaşık %35 dolayındadır. Dolayısıyla sosyo-ekonomik gelişmelere paralel bir şekilde artacak olan enerji talebi doğrultusunda, hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmaları ülkemizde de yoğunluk kazanacaktır. Bilindiği gibi akarsularımız üzerinde bir yandan halkımızın içme ve kullanma suyu gereksinimiyle birlikte, tarım ve endüstrimizin su gereksinimlerini karşılamak, diğer yandan enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çok çeşitli amaçlarla barajlar yapılmaktadır. Hangi amaca yönelik olursa olsun, sedimentasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıların göllerini besleyen akarsuların getirdiği toprak, kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır. Bu konu Türkiye gibi yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topoğrafik yapısı olan ülkelerde son derece önem kazanmaktadır.

Nitekim Türkiye’de yılda 450 milyon ton toplam sedimentin askı malzemesi olarak taşındığı bilinmektedir. Ülkemizdeki 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.

Akım ortamı içinde, türbülanslı akımla ilgili hareket prensiplerinin hakim oluşu ve hareket halindeki katı maddelerin de akım özelliklerini etkileyici bir faktör oluşu düşünülürse, hareketli tabanlı akımların hidroliğinin ne kadar karmaşık olduğu anlaşılır. Bu hidrodinamik olaylarla ilgili olarak çok sayıda çalışmalar yapılmış (Sharma ve Dickinson, 1979; Krone, 1999; Kleinhans ve Brinke, 2001), fakat tabanı hareketli taneli malzemelerden oluşan bir kanaldaki üniform ve

permanan akımların iki boyutlu incelenmesi bile kesin sonuçlar veren metotlara kavuşturulamamıştır (Graf, 1971; Bayazıt, 1971; Simons ve Şentürk, 1992; Bayazıt, 1994; Erkek ve Ağırlioğlu, 1994). Oysa katı madde miktarı yalnızca akım şartlarına bağlı olarak değişmemektedir. Havza özellikleri ve yatak morfolojisinin değişimi de hareket halindeki katı madde miktarını etkileyen hatta belirleyen faktörlerdir. Bu sebeplerden dolayı, katı madde hareketleri ile ilgili hesaplar çok kaba sonuçlar vermektedir.

Rendon-Herrero (1974), etkili yağışla askı maddesi miktarı arasında ilişki kurmaya çalışmış, ancak bu ilişkiyi çok az gözlem sonucu ile test edebilmiştir. Üstelik bu çalışmada yağışın alansal dağılımı üniform kabul edilmiş olup çalışma sadece küçük havzalar için uygulanabilir. Aynı araştırmacı başka çalışmalarını da birim hidrograf teorisine dayandırmış, yağışın alansal dağılımının yine üniform olduğu kabul edilmiştir (Rendon-Herrero, 1978). Önerilen yöntem sadece üniform ve küçük havzalarda ve sadece taşkın süresince uygulanabilir. Renard ve Laursen (1975) tarafından askı madde eğrilerinin tahmini için bir yöntem geliştirilmiş ama bu yöntem de hem az test edilebilmiş hem de nehir enkesiti dikdörtgen ve yatak pürüzlülüğü üniform kabul edilmiştir. Bunlardan daha kapsamlı sayılabilecek bir askı maddesi eğrisi modelini Williams (1978) geliştirmiştir. “Birim katı madde eğrisi” adlı bu modelinde esas itibari ile askı maddesi konsantrasyonunun artık yağışın karesinin lineer bir fonksiyonu olduğu kabulü yapılmıştır. Model birim hidrografa dayanmakta dolayısıyla da taban akımının ayrılmasını gerektirdiğinden sadece taşkınlar sırasındaki katı madde eğrilerinin tahmininde kullanılabilir. Kavramsal nitelikli olan Kumar ve Rastogi (1987)’nin modellerinde katı madde debisi lineer bir bağıntı şeklinde ifade edilmiş, süreklilik ve biriktirme denklemleri kullanılmıştır. Ancak diğer yaklaşımlara göre zaman ve uzay içerisinde fiziksel çevrenin dinamik olarak dikkate alınmadığı bu modeller de sadece taşkın sürelerinde kullanılmaya elverişlidir.

Amorocho (1973), Müftüoğlu (1979, 1984, 1991), Ahsan ve O’Connor (1994), Xia ve diğerleri

(1997) gibi bazı araştırmacılar tarafından non-lineer bir kara-kutu havza modeli olarak fonksiyonel seriler bulunmuş ama uzun veriler elde edilememesinden dolayı test edilememiştir. En son Güldal ve Müftüoğlu (2001) tarafından geçmiş yağışların da hesaba katıldığı non-lineer bir kara-kutu havza modeli olarak ikinci dereceden fonksiyonel seriler kullanılmıştır. Bu modelde etkili yağış değerleri girdi olarak alınmış, havzanın nem durumu ise önceki yağışların kullanılmasıyla modele dahil edilmiştir. Etkili yağış değerlerinin kullanılması ile terleme ve buharlaşma (evapotranspirasyon) etkileri de elenmiştir. Bu çalışmada yağışın alansal dağılımı üniform olarak kabul edilmiştir. Verilerin bir kısmı hatalı olduğu gerekçesiyle elenmiştir. Ayrıca geliştirilen model çok az test edilebilmiştir.

Fiziksel esaslı modeller, akışın aşındırıcı etkilerinin deneysel ilişkileri ve akım ile ilgili basitleştirilmiş kabullere dayandığı gibi akım ve katı madde miktarının basitleştirilmiş kısmi diferansiyel eşitliklerine dayanmaktadır. Bu tür çalışmalara örnek olarak Laguna ve Giraldez (1993), Wicks ve Bathurst (1996), Kothyari ve diğerleri (1997), Refsgaard (1997) verilebilir. Bunlar; teorik olarak yağış, buharlaşma ve terlemenin düzensiz dağılımını olduğu kadar havza özelliklerinin alansal dağılımını da hesaba katan ve fiziksel işlemleri karşılayan bileşenlere sahip karmaşık modellerdir. Özellikle, günümüzde yağışın gerçek alansal dağılımının ölçülmesi mümkün olmadığından bu tür modeller pratik açıdan önemli faydalar sağlamazlar.

Bir akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debisi ile katı madde miktarı arasında üstel bir ilişkinin olduğu varsayılan katı madde anahtar eğrileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Vansickle ve Beschta, 1983; Thomas, 1985; Demiröz, 1989; Mizumura, 1989, Crawford, 1991; Salas ve Shin, 1999; Hasnain ve Thayyen, 1999; Asselman, 2000; Picouet vd., 2001; Krishnaswamy vd., 2001). Anahtar eğrilerinden faydalanılarak yapılan tahminler rezervuar planlanmasında kullanılageldiğinden, başarı derecelerini değerlendirmek için henüz yeterli bir zamanın geçmemiş olması sebebiyle de başarısızlıklarının açık olarak ortaya çıkmadığı söylenebilir.

Yapay zeka metotlarından biri olan bulanık mantığın su mühendisliği alanında kullanımı çok fazla olmamakla birlikte giderek yaygınlaşmaktadır (Chang ve Chen, 2001; Xiong vd, 2001). Askı malzemesinin belirlenmesi ile ilgili bulanık mantıkla yapılmış henüz bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada bulanık (fuzzy) mantık ilkeleri kullanılacaktır. Şimdiye kadar önerilen doğrusal olmayan kara-kutu havza modellerine iyi bir alternatif olarak kurulacak olan bu yeni modeller doğrusal olmayan gri-kutu havza modelleri olarak nitelendirilebilir. Bu çalışma ile askı malzemesi miktarının tayini probleminde tatminkar bir çözüm getirmek amaçlanmaktadır.

Bulanık mantık modelleri Matlab programlama dilinde geliştirilmiş, daha sonra diferansiyel evolüsyon yöntemiyle modeller kalibre edilmiştir. Modeller, Amerika'dan alınan günlük katı madde verilerine uygulanmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

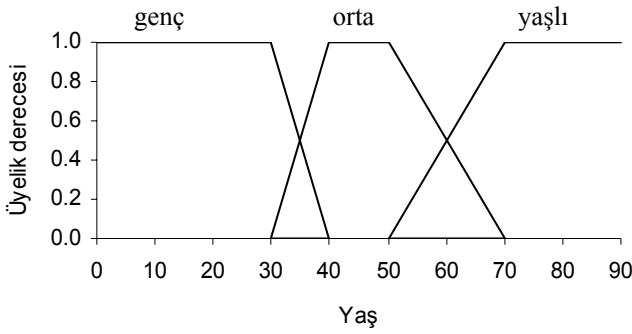
## **Çalışmada kullanılan yöntemler**

### **Bulanık mantık**

Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Zadeh (1965) tarafından literatüre mal edilmiştir. Önceleri bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığı ve hatta bilime karşı geldiği ileri sürülmesine rağmen, 1975 yılında Mamdani ve Assilian (1975) tarafından yapılan bir kontrol uygulaması, bulanık kavram ve sistemlerin dikkat kazanmasına neden olmuştur. Bulanık modelleme, bulanık modelin yapısıyla ilgilenen sistem tanımlamasının yeni bir koludur ve örnek bir veri seti ile tanımlanan, bilinmeyen bir sistemin davranışını tahmin eder ve açıklar. Klasik matematiğe dayanan sistem modellemesi, eksik tanımlanmış ve belirsiz sistemler için pek uygun değildir. Bunun aksine, bulanık mantık sistemi, hassas nicel analizler kullanmadan insan bilgisinin ve yaklaşım süreçlerinin nitel taraflarını modelleyebilir. Son yıllarda yeni konular arasında ilk sırayı tutan bulanık küme, mantık ve sistemler hemen her mühendislik dalında uygulanır hale gelmiştir (Şen, 1999).

Klasik mantıkta birşey ya tümüyle siyahtır ya da tümüyle beyazdır. Bulanık mantığa göre ise birşey kısmen siyah ve kısmen beyaz olabilir.

Örnek olarak, Şekil 1 bir ülkedeki genç, orta ve yaşlı insanların bulanık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Bu örnekte, 30'dan daha küçük yaşlar tümüyle "genç", 40 ile 50 arası tümüyle "orta" olduğu halde mesela 36 yaş, her iki kategoriye de kısmen dahil olmaktadır. Başka bir deyişle, 36 yaşın "genç" üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi 0.4 iken "orta" üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi 0.6 ve "yaşlı" üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi ise 0.0'dır. Eğer klasik mantığa göre düşünseydik bir yaşın genç kategorisine girmesi için kesinlikle 30'dan daha küçük olması gerekirdi. Halbuki bulanık mantıkta 30'dan daha küçük yaşlar, 1.0 üyelik derecesi ile "genç" kategorisine ait iken 30 ile 40 arası yaşlar da 0.0 ile 1.0 arasında üyelik dereceleriyle aynı kategoriye girmektedirler. Buradan bulanık mantığın klasik mantığı da içine aldığı görülmektedir.

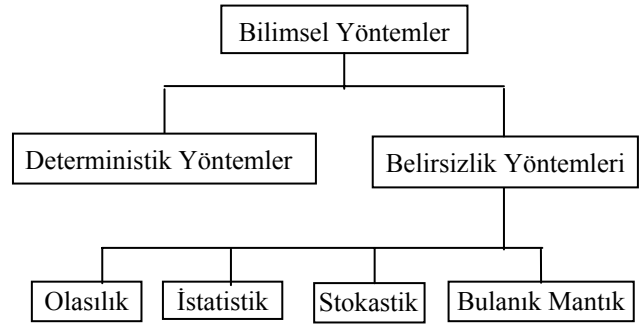


Şekil 1. Herhangi bir ülkedeki insanların yaşlarını gösteren üyelik fonksiyonları

Bulanık üyelik fonksiyonları çok değişik şekillerde olabilir, ama genellikle üçgen olanları tercih edilir. Eşit aralıklı üçgen üyelik fonksiyonları pratik uygulamalarda sıkça kullanılır (Russel ve Campbell, 1996). Bu çalışmada da değişkenlere ilk olarak eşit aralıklı üçgen üyelik fonksiyonları atanmıştır.

Bir sistem hakkında ne kadar çok bilgi sahibi olursak, onu o kadar daha iyi anlayabiliriz. Sistem hakkındaki karmaşıklıklar azalır, fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemlerin karmaşıklığının fazla olması ve yeterli miktarda veri bulunmaması bulanıklığı etkili kılmaktadır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve

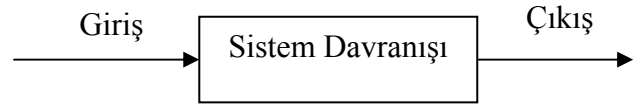
yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir. Şekil 2'de bulanık mantığın bilimsel yöntemlerdeki yeri verilmiştir.



Şekil 2. Bulanık mantığın bilimsel yöntemler arasındaki yeri

Bulanık uzman sistemler lineer ve nonlineer kontrol, örnek tanıma, finansal sistemler, işletme araştırmaları, veri analizleri v.b. birçok alanda kullanılmaktadır. Birçok sistem, bulanık sistemler yardımı ile modellenilebilir ve hatta kopyalanabilir. Günümüzde bulanık mantığın uygulama ve araştırmalarda dünya çapında yaygınlaştığı görülmektedir. Bunlardan bazıları; yüksek boyutlarda bulanık modelleme, tıbbi görüntüleme örnek tanıma, akıllı otoyol için olay tespit tabanlı bulanık mantık vb. çalışmalardır.

Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3'te verilen üç ayrı birimden oluşur.



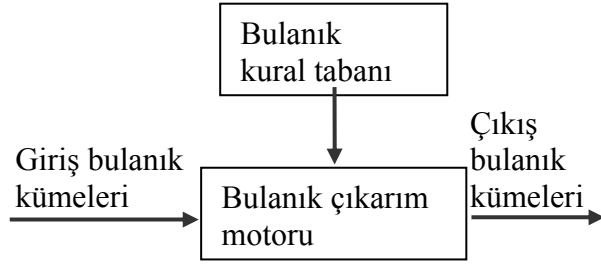
Şekil 3. Klasik Sistem

Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar:

1) Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olmasından dolayı bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak kesinlikle kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurmayı her zaman tercih eder.

2) Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder.

Bulanık sistemlerin klasik sistemden farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 4'te gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır. Burada bulunan birimlerin her birinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır:



Şekil 4. Genel bulanık sistem

1) Genel bilgi tabanı birimi: İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2) Bulanık kural tabanı birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamaların tümü kural tabanını oluşturur.

3) Bulanık çıkarım motoru birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsinin bir arada toplanarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

4) Çıktı birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir (Şen, 1999).

### Diferansiyel evölüsyon (DE)

Diferansiyel evölüsyon, bir kayan-nokta bir optimizasyon algoritmasıdır. Literatürde bu metodun bir çok probleme başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir (Lampinen, 2001). DE metodunun çalışma prensiplerine kısaca bir göz atılırsa:

D boyutlu V parametre vektörüne bağlı optimizasyon (amaç/ölçüt) fonksiyonunu en genel şekilde:

$$f(V):R^D \rightarrow R \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir. f(V)'nin

$$V=(v_1, \dots, v_D) \quad (2)$$

parametre uzayında minimize veya maksimize edilmesi problemin özünü teşkil etmektedir. Her parametre

$$v_i^{(L)} \leq v_i \leq v_i^{(U)} \quad i=1, \dots, D \quad (3)$$

gibi alt ve üst sınır kısıtlarına sahip olabilir. Buna ek olarak optimizasyon fonksiyonu f(V) üzerinde bazı lineer ve/veya nonlineer kısıtlamalar olabilir. Bu kısıtlamalar,

$$c_i(V) \leq 0 \quad i=1, \dots, m \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

DE bir fonksiyonu optimize ederken, P<sub>G</sub>'yi oluşturan G'ninci üretim toplumuna üye elemanlar üzerinde işlem yapar. Üye elemanların sayısı NP, optimizasyon süresince sabittir.

NP gerçel-değerli vektörden oluşan G'ninci üretim toplumu P<sub>G</sub>:

$$P_G = (V_{1,G}, \dots, V_{NP,G}); \quad G=0, \dots, G_{max} \quad (5)$$

$$V_{i,G} = (v_{1,i,G}, \dots, v_{D,i,G}) \quad (6)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada i=1, ..., NP ve G=0, ..., G<sub>max</sub> olarak ifade edilir.

Genellikle ilk toplum P<sub>0</sub>'ın parametreleri, eşitlik (3)'teki alt ve üst sınır kısıtlamalarına uygun şekilde rasgele olarak aşağıdaki gibi üretilir:

$$v_{j,i,0} = \text{rand}_j[0,1](v_j^{(U)} - v_j^{(L)}) + v_j^{(L)} \quad (7)$$

burada  $i=1,\dots,NP$ ,  $j = 1,\dots,D$  olarak ifade edilir ve  $\text{rand}_j[0,1]$ ,  $[0.0, 1.0]$  aralığında rasgele bir değerdir.

### Katı madde anahtar eğrileri

Katı madde anahtar eğrisi, akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debisi ile katı madde miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir ve genellikle:

$$S = aQ^b \quad (8)$$

gibi bir fonksiyonel ilişki ile ifade edilir. Burada  $Q$  nehir akımı debisini,  $S$  katı madde konsantrasyonunu,  $\log S$  ve  $\log Q$  arasında lineer regresyon kurularak elde edilen  $a$  ve  $b$  ise nehir akımı karakteristiğine bağlı katsayıları göstermektedir. 2. anahtar eğrisi ise (9) eşitliğindeki  $a$ ,  $b$  ve  $c$  katsayıları en küçük kareler metoduyla hesaplanarak elde edilmiştir.

$$\log S = a + b \cdot \log Q + c \cdot (\log Q)^2 \quad (9)$$

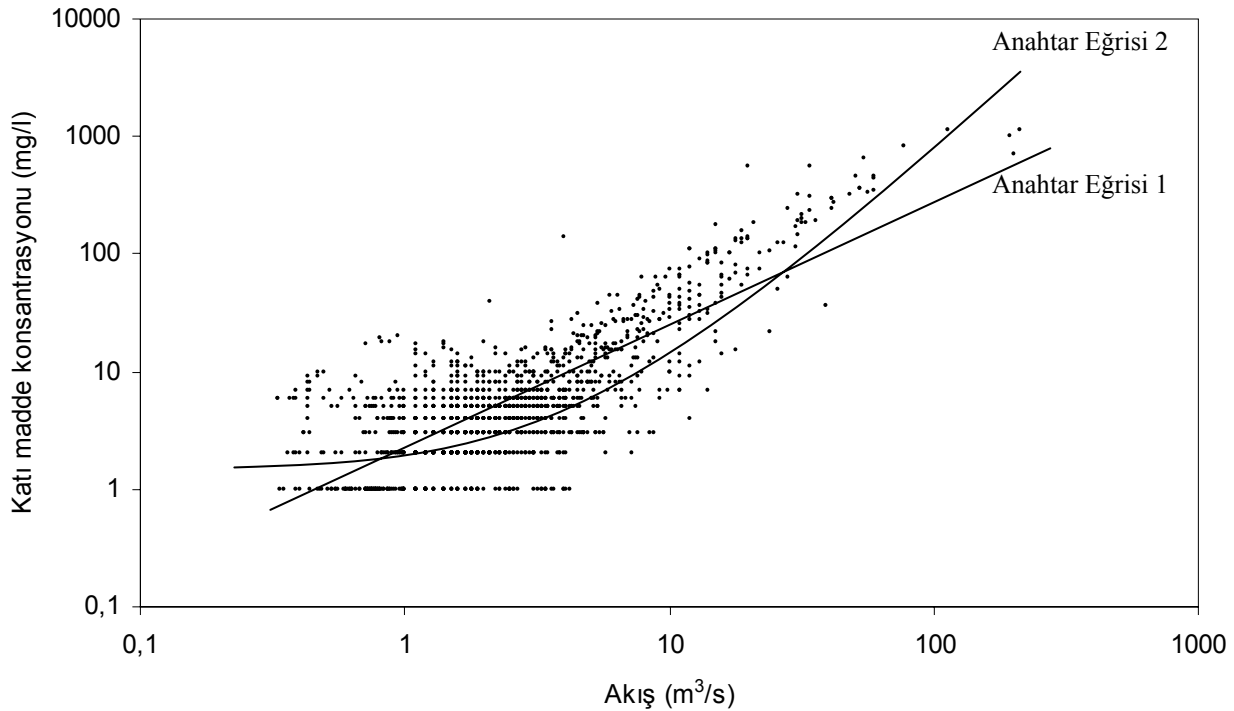
Katı madde anahtar eğrileri, Şekil 5'te gösterilmiştir.

### Uygulama

Bu çalışmada, Amerika'da USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen Quebrada Blance İstasyonu (USGS İstasyon No: 50051150) ve Rio Valenciano İstasyonu (USGS İstasyon No: 50056400)'nun günlük gerçek zaman akım ve katı madde verileri kullanılmıştır. Veriler USGS'in web sayfasından alınmıştır.

Her iki istasyon için, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları 4'ten 12'ye kadar artırılarak 9 ayrı bulanık mantık-diferansiyel evölüsyon karışımı (bulanık\_DE) model kurulmuştur ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle en iyi sonucu veren üyelik fonksiyon sayıları belirlenmiştir.

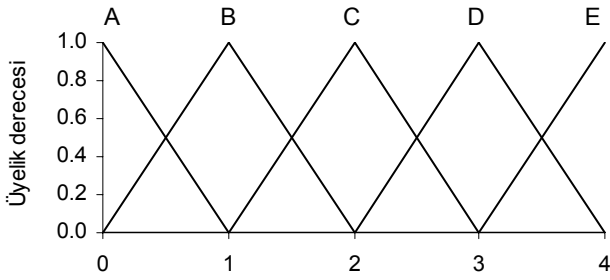
İlk olarak veriler kurulacak olan modelleri eğitime ve test için keyfi olarak iki kısma ayrılmıştır. Quebrada Blance İstasyonu için 1 Ekim 1989'dan 30 Eylül 1990'a kadar (yani 1990 su yılı) olan veriler ve 1 Ekim 1991'den 30 Eylül 1994'e kadar (1992, 1993 ve 1994 su yılı) olan veriler modellerin eğitilmesi için seçilmiş, 1 Ekim 1994'ten 30 Eylül 1995'e kadar (1995 su yılı) olan veriler ise modelleri test etmek için kullanılmıştır. Rio Valenciano İstasyonu için 1



Şekil 5. Katı madde anahtar eğrileri

Ekim 1991'den 30 Eylül 1994'e kadar (yani 1992, 1993 ve 1994 su yılı) olan veriler modellerin eğitilmesi için seçilmiş, 1 Ekim 1994'ten 30 Eylül 1995'e kadar (1995 su yılı) olan veriler ise modelleri test etmek için kullanılmıştır.

Bulanık model kurulurken ilk önce akım ve sediment değişkenlerine Şekil 6'daki gibi eşit aralıklı üçgen üyelik fonksiyonları atanmıştır. İşlem kolaylığı sağladığından literatürde de genellikle üçgen üyelik fonksiyonları kullanılır.



Şekil 6. Bulanık üyelik fonksiyonlarının genel gösterimi

Herbir model için,

- Eğer akım A ise sediment A'dır.
- Eğer akım B ise sediment B'dir.

şeklinde üyelik fonksiyonları sayısı kadar kural konmuştur. Daha sonra eğitime için ayrılan veriler kullanılarak bulanık modellerin üyelik fonksiyonlarının aralıkları diferansiyel evolüsyon algoritması ile ayarlanmıştır.

Eğitme sonucu elde edilen bulanık\_DE modelleri katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak da literatürde sıkça kullanılan ortalama karekök toplam karesel hata (OKTKH) esas alınmıştır. N kullanılan toplam veri sayısı olmak üzere, OKTKH,

$$OKTKH = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlenen}} - Y_{i_{tahmin}})^2} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir.

Quebrada Blance İstasyonu için Bulanık\_DE modellerinin ve anahtar eğrilerinin hem eğitime

hem de test aşamasındaki OKTKH değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi gerek eğitime gerekse test aşamasında bulanık\_DE modellerinin OKTKH değerleri katı madde anahtar eğrilerinininkilere göre çok daha düşüktür. İki yöntemin de eğitime aşamasında en iyileri olan bulanık\_DE 4 modeli ile, 1. anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH fark eğitime aşamasında % 53, test aşamasında % 43'tür. Başka bir ifade ile, anahtar eğrisinin hatası bulanık\_DE modelinin hatasının yaklaşık iki katıdır.

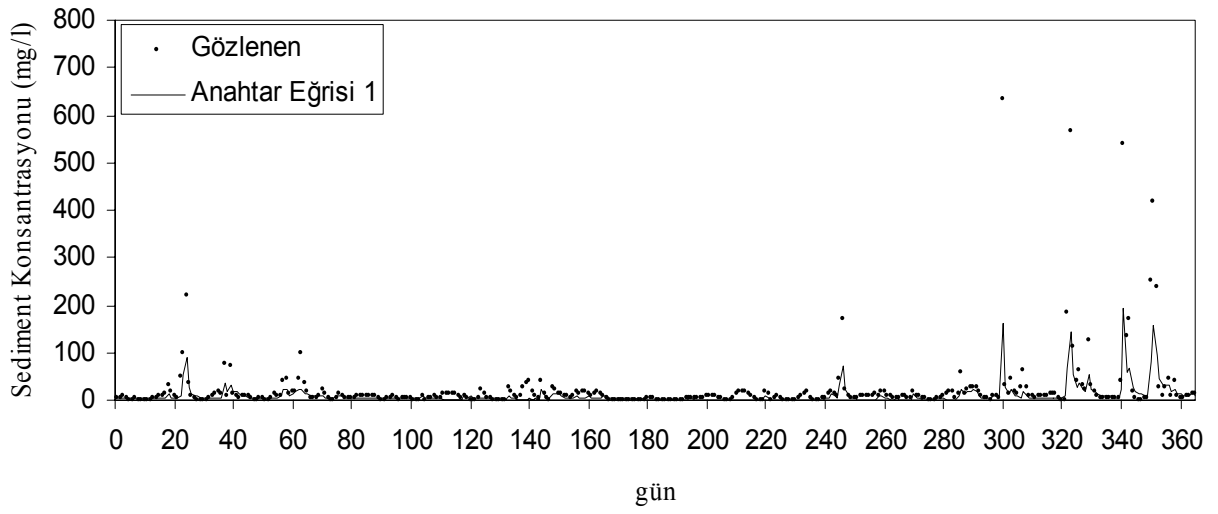
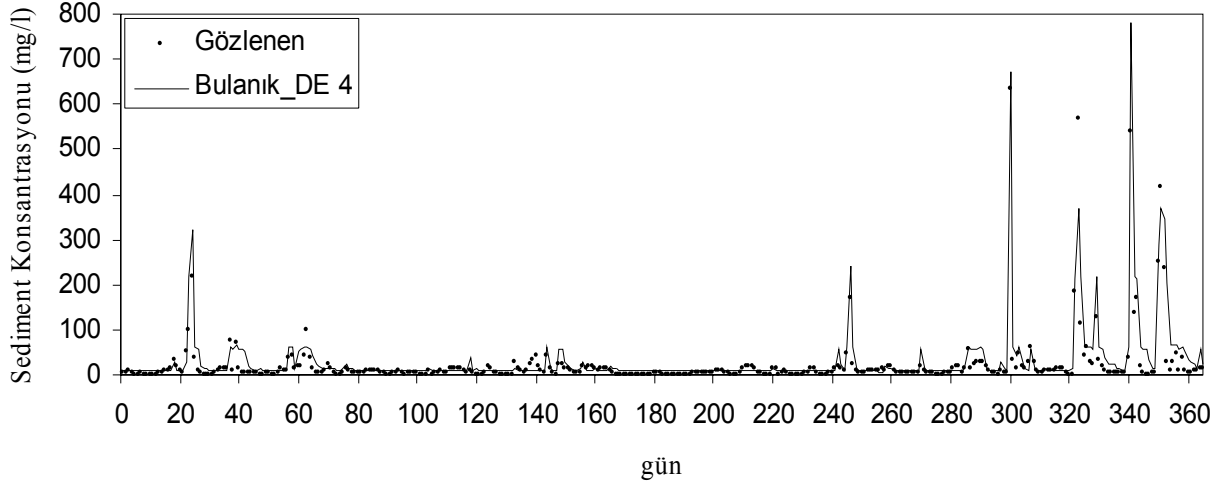
Tablo 1. Bulanık mantık ve katı madde anahtar eğrilerinin OKTKH değerleri – eğitime ve test aşaması (Quebrada Blance İstasyonu)

Modeller	OKTKH (mg/l)	
	Eğitime aşaması	Test aşaması
Bulanık_DE 4	0.647	1.353
Bulanık_DE 5	0.656	1.334
Bulanık_DE 6	0.659	1.568
Bulanık_DE 7	0.662	1.408
Bulanık_DE 8	0.659	1.527
Bulanık_DE 9	0.665	1.381
Bulanık_DE 10	0.666	1.542
Bulanık_DE 11	0.659	1.389
Bulanık_DE 12	0.653	1.334
Anahtar eğrisi 1	1.375	2.362
Anahtar eğrisi 2	10.67	1.858

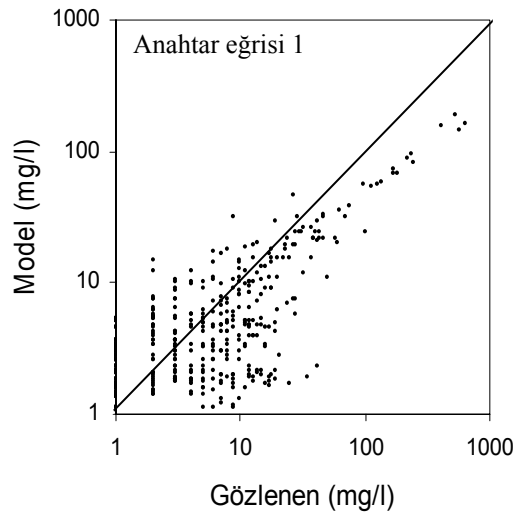
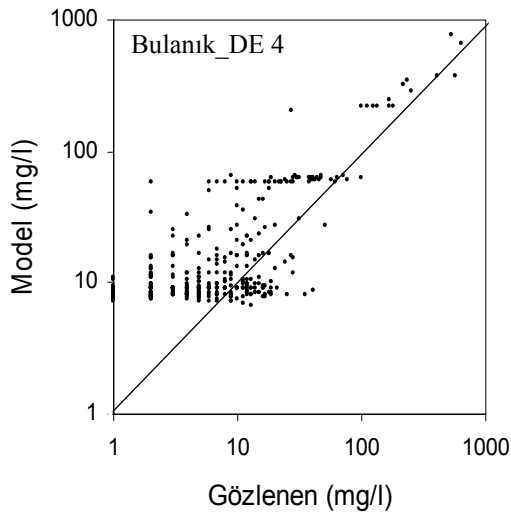
Test aşamasında gözlenen 20061 ton toplam katı madde miktarını, bulanık\_DE 4 modeli % 22 rölatif hata ile 24482 ton olarak tahmin ederken, 1. anahtar eğrisi % 63 hata ile 7385 ton olarak bulmuştur.

Şekil 7'de Quebrada Blance İstasyonu için test aşamasındaki bulanık model ve anahtar eğrisi tahminleri ile gözlenmiş günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonu değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde bulanık modelin katı madde anahtar eğrisine göre çok daha başarılı olduğu, anahtar eğrisinin tahminde yetersiz kaldığı görülmektedir

Bulanık\_DE 4 ve anahtar eğrisi 1 modellerinin test aşamasındaki tahminleri, saçılma diyagramı olarak Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Gözlenen ve tahmin edilen sediment konsantrasyonu (mg/l) değerleri-Test aşaması (Quebrada Blanca İstasyonu)



Şekil 8. Gözlenen ve tahmin edilen sediment konsantrasyonu (mg/l) değerlerini gösteren saçılma diyagramları-test aşaması (Quebrada Blanca İstasyonu)



Veriler arasında çok büyük farklar olduğundan diyagramlar çift logaritmik olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bulanık modelle elde edilen değerler, eğitime aşamasında olduğu gibi anahtar eğrisiyle elde edilen değerlere göre  $y=x$  doğrusuna çok daha yakındır. Anahtar eğrisinin özellikle pik değerlerini yakalamada yetersiz kaldığı görülmektedir.

Rio Valenciano İstasyonu için eğitime sonucu elde edilen bulanık\_DE modellerinin ve anahtar eğrilerinin hem eğitime hem de test aşamasındaki OKTKH değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi gerek eğitime gerekse test aşamasında bulanık\_DE modelleri katı madde anahtar eğrilerinkilere göre çok daha düşük OKTKH değerleri vermiştir. İki yöntemin de eğitime aşamasında en iyileri olan Bulanık\_DE 5 modeli ile, 1. anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH fark eğitime aşamasında % 29, test aşamasında ise % 41’dir.

Tablo 2. Bulanık mantık ve katı madde anahtar eğrilerinin OKTKH değerleri - eğitime ve test aşaması (Rio Valenciano İstasyonu)

Modeller	OKTKH (mg/l)	
	Eğitime aşaması	Test aşaması
Bulanık_DE 4	1.572	3.447
Bulanık_DE 5	1.555	3.008
Bulanık_DE 6	1.616	3.484
Bulanık_DE 7	1.628	3.104
Bulanık_DE 8	1.556	3.327
Bulanık_DE 9	1.598	3.542
Bulanık_DE 10	1.826	3.323
Bulanık_DE 11	1.625	3.900
Bulanık_DE 12	1.581	3.365
Anahtar eğrisi 1	2.192	5.107
Anahtar eğrisi 2	3.134	3.890

Test aşamasında gözlenen 20061 ton toplam katı madde miktarını, bulanık\_DE 4 modeli %22 rölatif hata ile 24482 ton olarak tahmin ederken, 1. anahtar eğrisi % 63 hata ile 7385 ton olarak bulmuştur.

Rio Valenciano İstasyonu verileri için test aşamasındaki bulanık model ve anahtar eğrisi tahminleri ile gözlenmiş günlük askı malzemesi

konsantrasyonu değerleri Şekil 9’da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde bulanık modelin katı madde anahtar eğrisine göre çok daha başarılı olduğu, klasik modelin bu istasyon içinde tahminde yetersiz kaldığı görülmektedir.

Bulanık\_DE 5 ve anahtar eğrisi 1 modellerinin test aşamasındaki tahminleri, saçılma diyagramı olarak Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bulanık modelle elde edilen değerler, eğitime aşamasında olduğu gibi anahtar eğrisiyle elde edilen değerlere göre  $y=x$  doğrusuna çok daha yakındır.

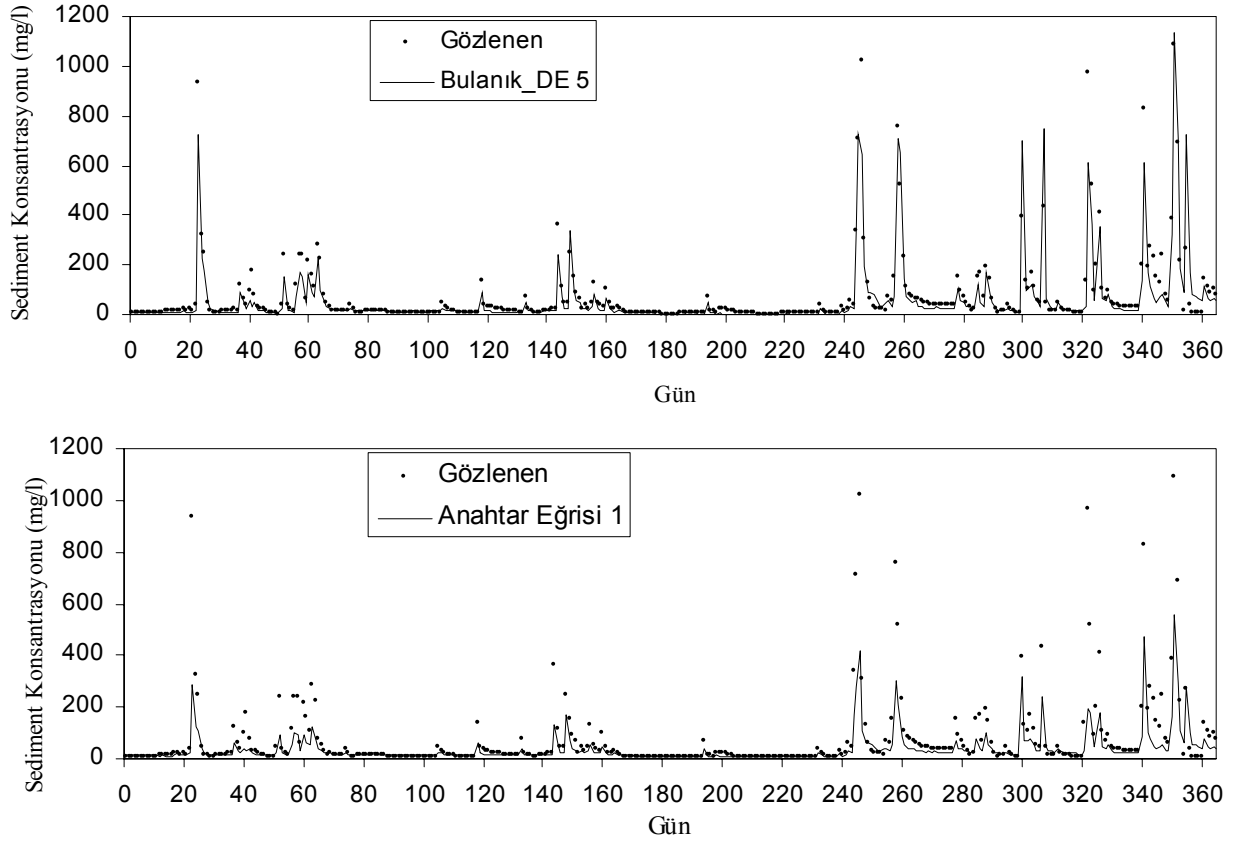
## Sonuçlar

Bu çalışmada, nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarının belirlenmesi için bulanık mantığa dayalı modeller geliştirilmiştir.

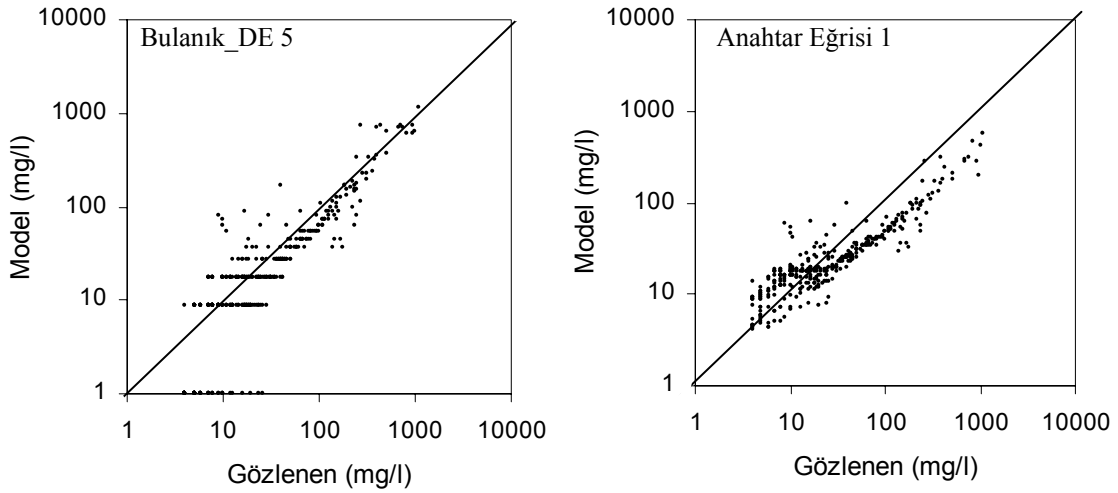
Bulanık modeller Amerika’da United States Geological Survey (USGS)’in işlettiği Quebrada Blance ve Rio Valenciano istasyonlarına ait günlük askı malzemesi konsantrasyonu ve debi verilerine uygulanmıştır. Modellerin kalibre edilmesi için diferansiyel evölüsyon algoritması (DE) kullanılmış ve böylece ortaya çıkan yeni model yapısı bulanık\_DE olarak nitelendirilmiştir. Her iki istasyon için, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları 4’ten 12’ye kadar artırılarak 9 ayrı bulanık\_DE modeli kurulmuş ve klasik katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Böylece bulanık\_DE modellerinin en iyi sonucu veren üyelik fonksiyonu sayıları da belirlenmiştir.

İlk istasyon için bulanık mantığa dayalı modeller arasında en iyi sonucu giriş ve çıkışı 4 üyelik fonksiyonuna sahip bulanık\_DE 4 modeli vermiştir. Anahtar eğrileri içerisinde en iyi sonucu veren 1. anahtar eğrisi ile bulanık\_DE 4 arasındaki rölatif OKTKH farkı eğitime aşamasında % 53, test aşamasında % 43 bulunmuştur.

İkinci istasyon için bulanık\_DE modelleri arasında en iyi sonucu giriş ve çıkışı 5 üyelik fonksiyonuna sahip bulanık\_DE 5 modeli vermiştir. Anahtar eğrileri içerisinde en iyi sonucu veren 1. anahtar eğrisi ile bulanık\_DE 5 arasındaki rölatif OKTKH farkı eğitime aşamasında % 29, test aşamasında % 41 bulunmuştur.



Şekil 9. Gözlenen ve tahmin edilen sediment konsantrasyonu (mg/l) değerleri-test aşaması (Rio Valenciano İstasyonu)



Şekil 10. Gözlenen ve tahmin edilen sediment konsantrasyonu (mg/l) değerlerini gösteren saçılma diyagramları-Test aşaması (Rio Valenciano İstasyonu)

Her iki istasyon için de bulanık\_DE modellerinin hem eğitim hem de test aşamasındaki OKTKH değerleri katı madde anahtar eğrilerinininkilere göre çok daha düşük bulunmuştur. Toplam katı

madde miktarının tahmininde her iki istasyon için bulanık modeller anahtar eğrilerine göre çok daha iyi tahminler vermiştir. Buna göre katı madde anahtar eğrilerinin, günlük askı malzemesi

konsantrasyonunun tahmininde bulanık\_DE modellerine göre oldukça yetersiz kaldıkları sonucuna varılmıştır. Bu yüzden katı madde anahtar eğrileri yerine bulanık mantığa dayalı bulanık\_DE modelleri önerilmektedir.

## Kaynaklar

- Ahsan, M., ve O'Connor, K. M., (1994). A simple non-linear rainfallrunoff model based on the concept of a variable gain factor, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **155**, pp. 151-183.
- Amoroch, J., (1973). Nonlinear hydrologic analysis. *Advances in Hydrosience*, Academic, New York, **9**, pp. 203-251.
- Asselman, N. E. M., (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves, *Journal of Hydrology*, **234**, pp. 228-248.
- Bayazıt, M., (1971). Hareketli tabanlı akımların hidroliği, İTÜ, İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., (1994). Su kaynakları sistemleri, İTÜ, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Chang, F. J., Chen, Y. C., 2001. A counterpropagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction. *Journal of Hydrology*, **245**, pp.153-164.
- Crawford, C. G., (1991). Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads, *Journal of Hydrology*, **129**, pp. 331-348.
- Demiröz, E., (1989). Sediment sampling activities in Turkey, *Fourth International Symposium on River Sedimentation*, Beijing, China, Nov.1-5.
- Erkek, C., Ağralıoğlu, N., (1994). Su kaynakları mühendisliği, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Graf, W. H., (1971). Hydraulics of sediment transport, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- Güldal, V., Müftüoğlu, R. F., (2001). 2D unit sediment graph theory, *Journal of Hydrologic Engineering*, **6**, 2, March/April.
- Hasnain, S. I., Thayyen, R. J., (1999). Discharge and suspended sediment concentration of meltwaters, draining from the Dokriani Glacier, Garhwal Himalaya, India *Journal of Hydrology*, **218**, pp. 191-198.
- Kleinhans, M. G., Brinke, W. B. M. T., (2001). Accuracy of cross-channel sampled sediment transport in large sand-gravel-bed rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, **127**, 4, April.
- Kothyari, U. C., Tiwari, A. K., ve Singh, R., (1997). Estimation of temporal variation of sediment yield from small catchments through the kinematic method, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **203**, pp. 39-57.
- Krishnaswamy, J., Halpin, P. N., Richter, D. D., (2001). Dynamics of sediment discharge in relation to land use and hydro-climatology in a humid tropical watershed in Costa Rica, *Journal of Hydrology*, **253**, pp. 91-109.
- Krone, R. B., (1999). Effects of bed structure on erosion of cohesive sediments, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, **125**, 12, December.
- Kumar, S., Rastogi, R. A., (1987). A conceptual catchments model for estimating suspended sediment flow, *Journal of Hydrology*, **95**, pp. 155-163.
- Laguna, A., ve Giraldez, J. V., (1993). The description of soil erosion through a kinematic wave model, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **145**, pp. 65-82.
- Lampinen, J., (2001). Solving problems subject to multiple nonlinear constraints by the differential evolution, 7th International Conf. on Soft Computing, June 6.-8. 2001, 50-57.
- Mamdani, ve Assilian, (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, **7**, 1, 1-3.
- Mizumura, K., (1989). Hydrologic approach to prediction of sediment yield, *Journal of Hydraulic Engineering*, **115**, 4, ASCE, April.
- Müftüoğlu, R. F., (1979). Black-box models in catchment simulation, *Tech. Rep.*, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Müftüoğlu, R. F., (1984). New models for nonlinear catchment analysis, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **73**, pp. 335-357.
- Müftüoğlu, R. F., (1991). Monthly runoff generation by non-linear models, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **125**, pp. 277-291.
- Picoet, C., Hingray, B., Olivry, J. C., (2001). Empirical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in large tropical African River: The Upper Niger River Basin, *Journal of Hydrology*, **250**, pp. 19-39.
- Refsgaard, J. C., (1997). Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **198**, pp. 69-97.
- Renard, K. G., Laursen, E. M., (1975). Dynamic behaviour model of ephemeral stream, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, **101**, HY5, 511-528.
- Rendon-Herrero, O., (1974). Estimation of washload produced on certain small watersheds, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, **100**, NHY7, Proc. Paper 10638.
- Rendon-Herrero, O., (1978). Unit sediment graph, *Water Resources Research*, **14**, 5, October.

- Russel, S. O., Campbell, P. F. (1996). "Reservoir operating rules with fuzzy programming", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, **122**, 3, 165-170.
- Salas, J. D., Shin, H. S., (1999). Uncertainty analysis of reservoir sedimentation, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, **125**, 4, April.
- Sharma, T. C., Dickinson, W. T., (1979). Discrete dynamic model of watershed sediment yield, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, **105**, HY5.
- Simons, D. B., Şentürk, F., (1992). Sediment transport technology, water and sediment dynamics, *Water Resources. Public.*, Littleton, Colorado, U.S.A.
- Şen, Z., (1999). Mühendislikte bulanık (fuzzy) modelleme ilkeleri. İTÜ, İnşaat Fak, İnşaat Müh. Böl., Hidrolik A.B.D., İstanbul.
- Thomas, R. B., (1985). Estimating total suspended sediment yield with probability sampling, *Water Resources Research*, **21**, 9, 1381-1388, September.
- Vansickle, J., Beschta, R. L., (1983). Supply-based models of suspended sediment transport in streams, *Water Resources Research*, **19**, 3.
- Wicks, J. M., ve Bathurst, J. C., (1996). SHESED: A physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modeling system, *Journal of Hydrology.*, Amsterdam, **175**, 213-238.
- Williams, J. R., (1978). A sediment graph model based on an instantaneous unit sediment graph, *Water Resources Research*, **14**, 659-664.
- Xia, J., O'Connor, K. M., Kachroo, R. K., ve Liang, G. C., (1997). A non-linear perturbation model considering catchment wetness and its application in river flow forecasting, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **200**, 164-178.
- Xiong, L., Shamseldin, A. Y., O'Connor, K. M., 2001. A non-linear combination of the forecasts of rainfall-runoff models by the first-order Takagi-Sugeno fuzzy system., *Journal of Hydrology*, **245**, 196-217.
- Zadeh, L. A., (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, **8**, 3, 38-53.