

Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yüğü Tahmini

Ash ÜLKE*
Sevinç ÖZKUL**
Gökmen TAYFUR***

ÖZ

Akarsu morfolojisinin anlaşılmasında, barajların projelendirilmesinde, içme ve kullanma suyu temin problemlerinde, havza yönetimi çalışmalarında, akarsudaki kirlilik seviyelerinin belirlenmesinde askıda katı madde yükünün doğru tahmini oldukça büyük önem taşır. Akarsulardaki askıda katı madde miktarı, sediment gözlem istasyonlarında yapılan doğrudan ölçümler, sediment anahtar eğrisi, esnek modelleme yöntemleri, deneysel çalışmalara dayanan yaklaşımlar gibi farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, Gediz Nehri için en uygun ampirik bağıntının belirlenmesi ve Ege Bölgesi Gediz Havzası için bulunan bu bağıntının genetik algoritma ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, genetik algoritma ile iyileştirilmiş Brooks yönteminin Gediz Havzasında uygulanabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, bu metod diğer esnek (ANN, ANFIS) metodlar ile karşılaştırılmış ve onlar kadar iyi performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Askıda katı madde, ampirik yöntemler, Gediz havzası, brooks metodu, genetik algoritma, esnek metodlar.

ABSTRACT

Empirical Methods for Predicting Suspended Sediment Load in Gediz River

It is essential to predict suspended sediment load for understanding river morphology, design of dams, water supply problems, management of reservoirs and determination of pollution levels in rivers. The suspended sediment load can be determined by means of several methods such as direct measurements at the sediment gauging stations, sediment rating curve, soft modeling methods, and empirical methods which are based on experimental works. The objective of this study is first to determine the best empirical method for Gediz river and then to improve the determined method by genetic algorithm (GA). It is seen that the GA improved Brooks method

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 23.03.2009 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Bozok Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yozgat - asli.ulke@gmail.com

** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - sevinc.ozkul@deu.edu.tr

*** İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir - gokmentayfur@iyte.edu.tr

can be used for Gediz River Basin. In addition, this method was compared with other soft computing (ANN, ANFIS) methods and its performance is found to be as good as them.

Keywords: Suspended sediment, empirical methods, Gediz basin, brooks method, genetic algorithm, soft computing methods.

1.GİRİŞ

Akarsulardaki katı madde, akım debisine ve danelerin boyutuna bağlı olarak askıda ve/veya tabanda sürüntü malzemesi olarak taşınır. Akarsularda taşınan askıda katı madde miktarı, toplam katı maddenin %75-95'ini oluşturur [1]. Akarsu morfolojisinin anlaşılmasında, barajların projelendirilmesinde, içme ve kullanma suyu temin problemlerinde, havza yönetimi çalışmalarında askıda katı madde yükünün doğru tahmini oldukça büyük önem taşır. Diğer yandan, akarsularda taşınan kirleticiler askıda taşınan katı madde parçalarına yapışıp hareket ettiğinden, akarsular ve baraj haznelerindeki kirlilik seviyelerinin belirlenmesinde de önemli bir rol oynarlar. Özellikle taşkın zamanlarında, akarsularda çok kısa zaman aralıklarında çok büyük miktarlarda askıda katı madde taşındığından, taşınan madde miktarını daha yüksek hassasiyette belirlemek oldukça önem kazanır [2].

Akarsulardaki askıda katı madde miktarı birkaç değişik şekilde belirlenebilir. Sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümler askıda katı madde miktarının belirlenmesinde en güvenilir yol olmasına rağmen oldukça zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir. Ayrıca, örnek alma sırasında izlenen işlem adımlarına bağlı olarak, ölçüm sonuçları hatalı da olabilmektedir [3]. Askıda katı madde yükünün tahmininde kullanılan diğer bir yöntem sediment anahtar eğrisidir ve ülkemizde Elektrik İşleri Etüt İdare (EİE) tarafından akarsularımızdaki askıda katı madde miktarını belirlemede kullanılmaktadır [4]. Ancak, akarsu debisinin fazla olduğu durumlarda, yöntemin askıda katı madde miktarını tahmin etmekte çok başarılı olmadığı bilinmektedir [5, 6].

Son yıllarda, askıda katı madde miktarının tahmininde esnek modelleme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [7, 8, 9]. Yazarlar tarafından, Gediz Nehri'ndeki mamba ve mansap istasyonlarının verileri ile uygulanan esnek modelleme yöntemleri ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir [6, 10, 11]. Ancak, yapay sinir ağları (ANN) ve adaptif sinirsel bulanık sistemler (ANFIS) gibi esnek modelleme yöntemleri başarılı olmasına karşın, kapalı kutu modelleridir. Yani, olayın girdi ve çıktısı arasında herhangi bir fiziksel bağıntı veremediği için olayı yorumlama imkânını kısıtlamaktadır.

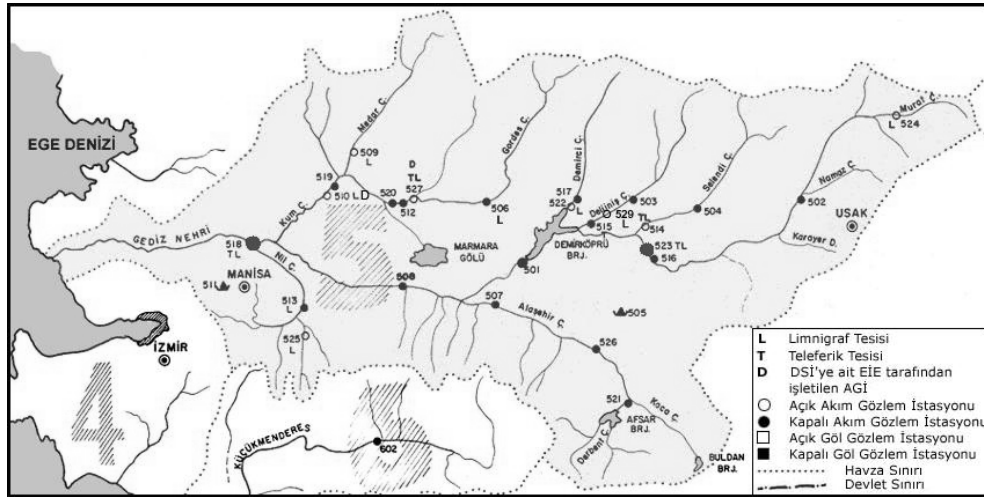
Askıda katı madde yükünün tahmininde yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem ise deneysel çalışmalara dayanan ampirik yaklaşımdır. Ampirik bağıntılar fiziksel olayın değişkenleri üzerine kuruludur. Bu nedenle, değişken (akım hızı, nehir taban eğimi vs) ve parametrelerin (pürüzlülük, dane çapı vs) çıktı üzerindeki (askıda katı madde yükü) etkilerini araştırmaya ve yorumlamaya izin verdiğinden, mühendisler tarafından tercih edilmektedir. Literatürde yer etmiş dört adet ampirik bağıntı söz konusudur: 1) Lane ve Kalinske yaklaşımı (1941), 2) Einstein yaklaşımı (1950), 3) Brooks yaklaşımı (1963) ve 4) Chang, Simons ve Richardson yaklaşımı (1965) [1, 12, 13, 14]. Bu bağıntılar laboratuvarlarda gerçekleştirilen deneylere dayanmaktadır ve dolayısı ile deneyin yapıldığı koşullara göre değişiklik göstermektedir. Arazi koşulları için bu deneysel bağıntıların kalibre edilmesi gerekmektedir. Örneğin, Yang ve diğ. (1996) bu işlemi akarsu birim güç

(unit stream power) bağıntısı için gerçekleştirerek, bağıntıyı Çin'de bulunan Sarı Nehir (Yellow River)'de uygulanabilir hale getirmişlerdir [15].

Bu çalışmada amaçlanan Ege Bölgesinde bulunan Gediz Nehri'nde taşınan askıda katı madde yükünü ampirik bağıntılar ile tahmin etmektir. Bu amaç için, ilk aşamada, yukarıda belirtilen dört bağıntı arasından en uygun ampirik bağıntı belirlenmiş; ikinci aşamada ise, belirlenen ampirik bağıntı Gediz Nehri için düzeltilmiştir. Ampirik bağıntının Gediz Nehri'ne uygun hale getirilmesi sırasında, bağıntıya ait düzeltme katsayısının en uygun değeri genetik algoritma yardımıyla hesaplanmıştır. Modelin başarısını irdeleyebilmek amacıyla, söz konusu bağıntının sonuçları, esnek modelleme yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. ÖLÇÜM İSTASYONLARI

Gediz Nehri üzerinde, biri Demirköprü Barajı'nın membasında, diğeri de mansabında yer alan iki adet istasyonda, EİE tarafından, 1970'li yıllardan bu yana askıda katı madde ölçümleri yapılmaktadır. Membada yer alan 523-Acısü istasyonunun yükseltisi 373 m ve net yağış alanı 3272 km²'dir. İstasyondaki ortalama akım 9.97 m³/sn ve ortalama askıda katı madde dağılımı da %62.3 kum, %37.7 silt şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama askıda katı madde yükü 247969 ton/yıl ve yıllık askıda katı madde verimi ise 76 ton/km²'dir. Gediz Nehrinin mansabında yer alan 518-Manisa Köprüsü gözlem istasyonunun ise yağış alanı 15616.4 km² olup, yaklaşık 23 metre kotunda bulunmaktadır (Şekil 1). 518-Manisa Köprüsü gözlem istasyonundaki ortalama akım 41.1 m³/sn, ve ortalama askıda katı madde dağılımı %58.1 kum, %41.9 de kil ve silt şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama askıda katı madde yükü 387728 ton/yıl ve yıllık askıda katı madde verimi de 58 ton/km²'dir.

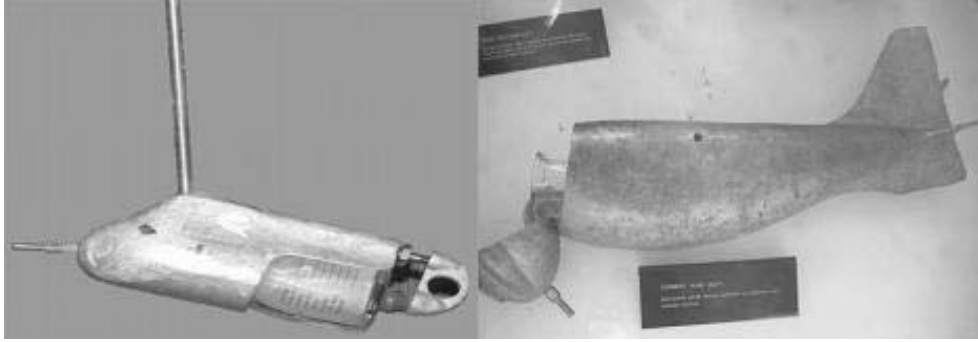


Şekil 1. Gediz Nehri ve Sediment Gözlem İstasyonları [4]

EİE, Gediz Nehri üzerindeki bu istasyonlarda akım, askıda katı madde ve su kalitesi parametrelerinin ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Akım ölçümleri için, belirli aralıklarla akarsu

Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yükü Tahmini

enkesiti belirlenmekte ve muline ile kesitin farklı noktalarında hız ölçümleri yapılmakta, bu bilgiler kullanılarak o anki akımlar hesaplanmaktadır. Diğer yandan, aynı noktada limnigraf ile sürekli olarak akış derinliği ölçülmektedir. Bir sonraki adımda, eş zamanlı olarak gözlenmiş akım ve akış derinliği verileri kullanılarak akım anahtar eğrisi olarak adlandırılan regresyon denklemleri oluşturulmaktadır. Askıda katı madde ölçümleri ise, derinlik entegrasyonu yöntemi ile nehirlerde su seviyesinin düşük olduğu zamanlarda USDH-48 ile suya girerek, seviyenin yüksek olduğu zamanlarda ise USD-49 ile teleferikten gerçekleştirilmektedir (Şekil 2).



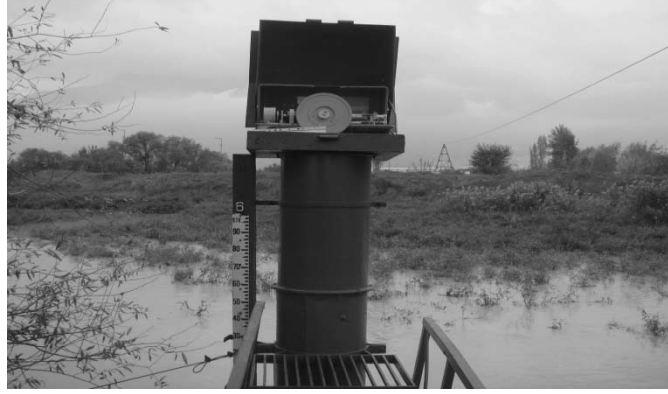
Şekil 2. USDH-48 Akarsudan örnek alma aleti ve USD-49 Teleferikten örnek alma aleti



Şekil 3. EİE 523-Acısü İstasyonu'ndan bir görünüş

16-20.11.2007 tarihleri arasında, su yılının başında yağın ilk yağmurların ardından, EİE Aydın Şube Ekibi ile birlikte 523 Acısü ve 518 Manisa Köprüsü istasyonlarına gidilmiş; örnek alma standartlarına uygun olarak, hem düşey, hem de yatay doğrultuda kesiti temsil edecek şekilde askıda katı madde ile yatak yükü malzeme örneği alınmıştır (Şekil 3 ve 4). Bu

arazi çalışmasının amacı katı madde danelerinin birim hacim ağırlıklarının ve askıda taşınan katı madde ile yatak yüküne ait dane çaplarının belirlenmesi için gerekli örnekleri almak olup, araziden alınan bu örneklerin laboratuvar analizleri dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Burada, nehrin aynı karakteristik özelliklere sahip daneleri taşıdığı kabul edilmiştir.



Şekil 4. EİE 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'ndan bir görünüş

3. YÖNTEM

3.1 Askıda Katı Madde Tahmininde Ampirik Bağlıntılar

Aşağıda verilen dört bağıntıda da, Von Karman sabiti (k)'nin 0.4'e, su ile sedimentin momentum difüzyon katsayılarının da birbirine ($\beta = 1$) eşit olduğu kabul edilmektedir.

3.1.1 Lane ve Kalinske Yaklaşımı (1941)

Bu yaklaşımda birim genişlikteki askıda katı madde yükü:

$$q_{sw} = qC_a P_L \exp\left(\frac{15\omega a}{U_* D}\right) \quad (1)$$

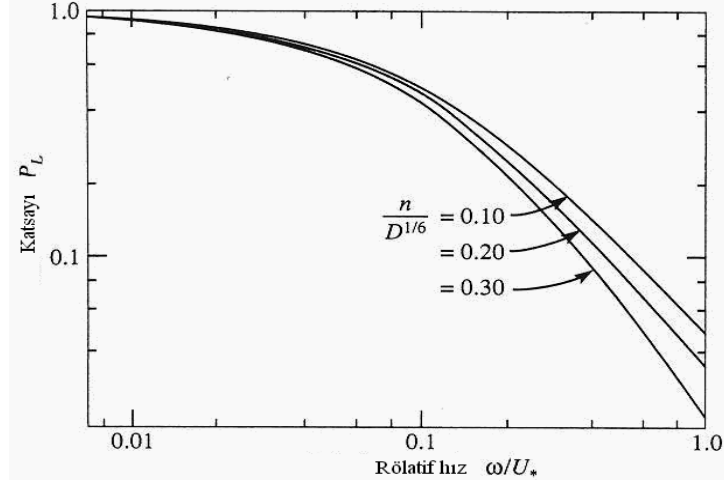
(1) numaralı bağıntı ile hesaplanmaktadır [1]. Bağıntıda; q_{sw} birim genişlikte askıda katı madde yükünü, q birim genişlik debisini, C_a yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyonu, U_* kayma gerilmesi hızını, ω çökme hızını, a yatak yükünün %50'sinin sahip olduğu dane çapının 2 katını ($a = 2d_{b50}$), D su derinliğini, P_L , \bar{C} / C_a oranını ve \bar{C} ise y derinliğindeki ortalama konsantrasyonu temsil etmektedir. P_L ile ω/U_* arasındaki ilişki Şekil 5'de verilmektedir. Grafikteki η Manning pürüzlülük katsayısını göstermektedir.

3.1.2 Einstein Yaklaşımı (1950)

1950 yılında H. Albert Einstein tarafından geliştirilen denklem şu şekildedir [1]:

$$q_{sw} = 11.6.U_* C_a a \left[\left(2.303 \log \frac{30.2D}{\Delta} \right) I_1 + I_2 \right] \quad (2)$$

Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yükü Tahmini

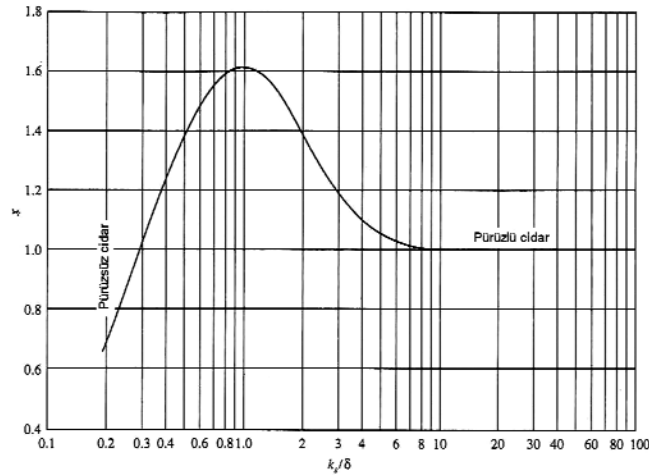


Şekil 5 Kesit pürüzlülüğüne bağlı olarak P_L ile ω/U_* arasındaki ilişki [1]

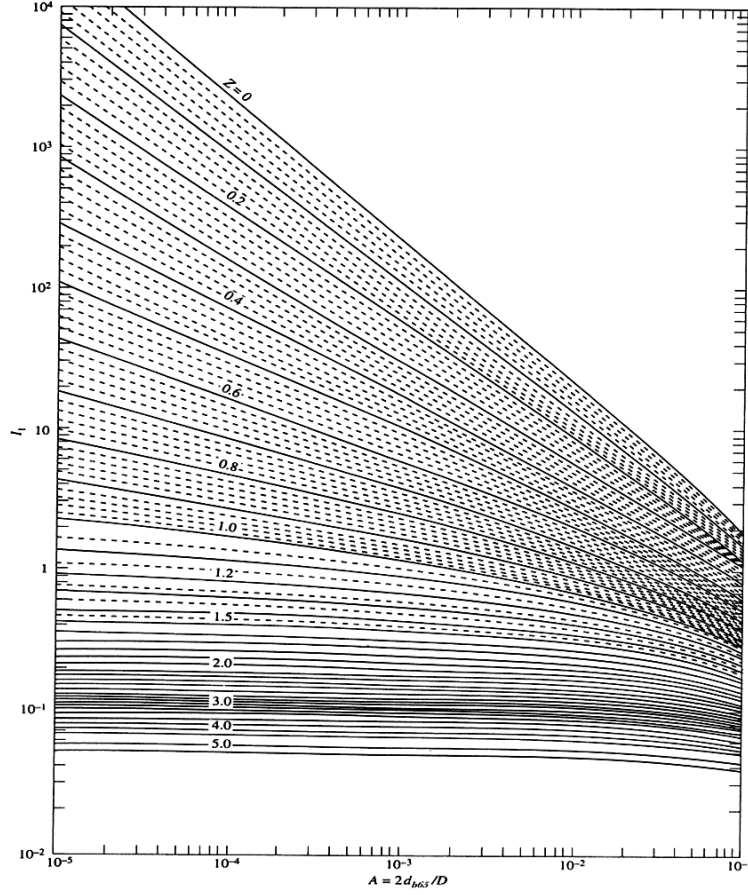
Burada; $a = 2*d_{b65}$ (yatak yükünün %65'inin sahip olduğu dane çapının iki katını), $\Delta = \frac{d_{b65}}{X}$

oranını temsil etmektedir. X ise Şekil 6'dan $\frac{K_s}{\delta} = \frac{U_* d_{b65}}{11.6\nu}$ bağıntı değerine bağlı olarak okunan

katsayıdır. ν suyun kinematik viskozitesi, δ viskoz alt tabaka kalınlığı, K_s pürüzlülük yüksekliği ve I_1 ile I_2 de sırasıyla Şekil 7 ve 8'den $A=2d_{b65}/D$ değerinin çeşitli z ($z = \omega / kU_*$) değerleri için okunan katsayılarıdır.



Şekil 6. X'in K_s / δ değerine göre alacağı değer (logaritmik hız dağılımındaki düzeltme faktörü)[1]



Şekil 7. I_1 'in Z 'nin değişik değerlerinde $A=2d_{b6s}/D$ ye bağlı alacağı değerler [1]

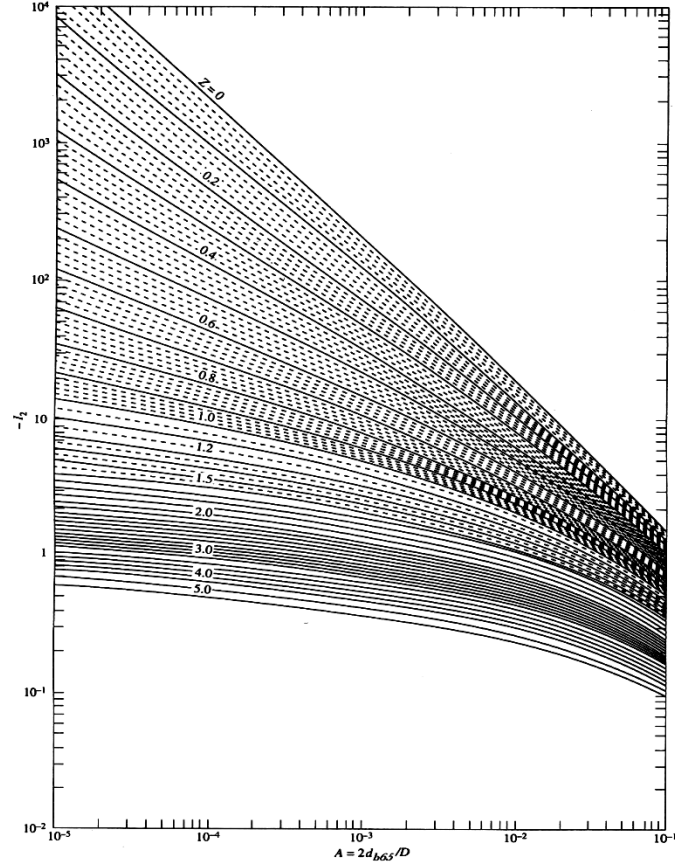
3.1.3 Brook's Yaklaşımı (1963)

Bu bağıntıda kesit ortasındaki ($y=D/2$) referans konsantrasyonu (C_{md}):

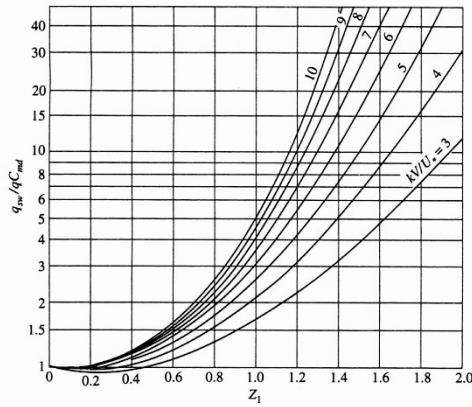
$$\frac{C_{md}}{C_a} = \left(\frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right)^{z_1} \quad (3)$$

$$z_1 = z / \beta \quad (4)$$

(3) no.lu bağıntı ile hesaplanmaktadır [1]. Daha sonra, Şekil 9'dan kV/u_* ve z_1 değerlerine bağlı olarak $q_{sw}/(qC_{md})$ oranı, buradan da q_{sw} değeri belirlenmektedir. Burada, V akım hızını göstermektedir.



Şekil 8. Z 'nin değişik değerlerinde $2d_{b65}/D$ ye bağlı I_2 'nin alacağı değerler [1]



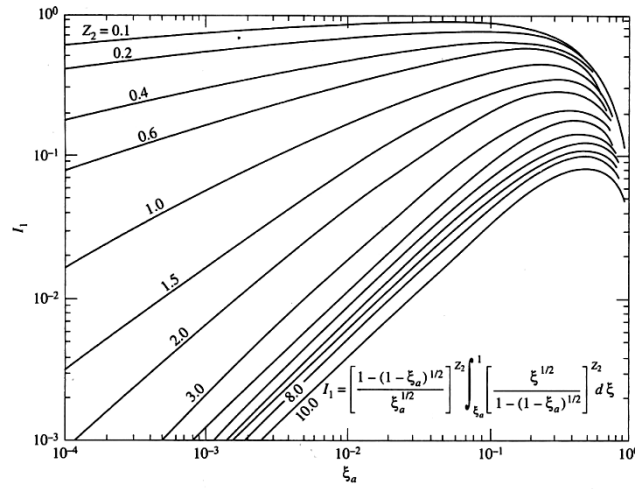
Şekil 9. z_1 'in ve $k \frac{V}{u_*}$ 'nin değişik değerlerinde, $\frac{q_{sw}}{qC_{md}}$ 'nin aldığı değerler [1]

3.1.4 Chang, Simons ve Richards'ın Yaklaşımı

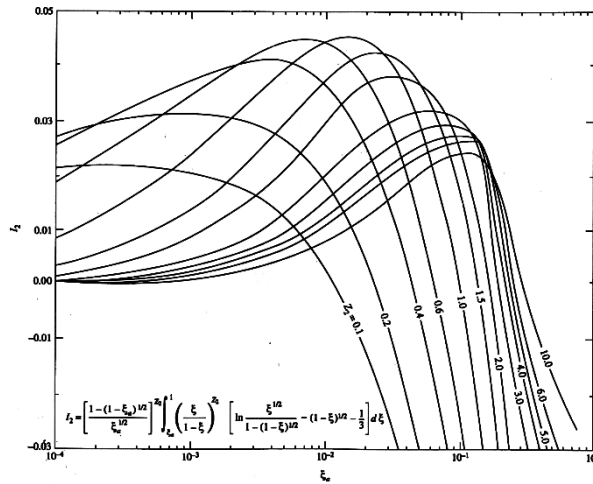
Bu yaklaşıma göre askıda katı madde yükü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır [1]:

$$q_{SW} = \gamma D C_a \left(V I_1 - \frac{2U_*}{k} I_2 \right) \quad (5)$$

Bağıntıdaki I_1 ve I_2 değişkenleri sırasıyla Şekil 10 ve 11'den yatak malzemesinin kalınlığını temsil eden $\xi_a = a/D$ ve z_2 ($z = 2\omega / \beta k u_*$) değerlerine bağlı olarak bulunur.



Şekil 10. Farklı ξ_a ve z_2 değerlerinde elde edilen I_1 değerleri [1]



Şekil 11. Farklı ξ_a ve z_2 değerlerinde elde edilen I_2 değerleri [1]

3.2 Askıda Katı Madde Hesabında Kullanılacak Parametrelerin Belirlenmesi

Bölüm 3.1’de verilen ampirik bağıntıların uygulanabilmesi için, yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon (Ca), çökme hızı (ω) ve kayma hızı (U_*) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon (Ca) Denklem 6’dan hesaplanırken, yatak yükü (q_{BW}) Meyer-Peter’in 1934 yılında sediment taşınımı üzerine yaptığı birtakım laboratuvar çalışmalarına dayanarak taban malzemesi için metrik birimlerde geliştirdiği Denklem 7 ile hesap edilmiştir [1].

$$C_a = \frac{i_{BW} q_{BW}}{11.6aU_*} \quad (6)$$

Burada, i_{BW} , q_{BW} yatak yükünün oransal ağırlığını temsil etmektedir.

$$\frac{0.4q_{BW}^{2/3}}{d_b} = \frac{q^{2/3}S}{d_b} - 17 \quad (7)$$

Bağıntıda; S akarsu yatağının boyuna eğimidir.

Danenin çökme hızı (ω), askı maddesi hareketinin incelenmesinde ve akarsularda katı madde yığılım problemlerinin çözümünde önemli bir parametredir. Su içerisine bırakılan bir danenin hızı gittikçe artar ve sabit bir değere ulaşır, bu sabit değere danenin çökme hızı denir. Çökme hızı, akarsuda askıda giden katı danelerin, dane çapı, biçim faktörü ve su sıcaklığı gibi farklı karakteristiklerine bağlı olarak değişir [16, 17]. Literatürde çökme hızına ait Stokes Denklemi, Newton Denklemi ve Rubey Denklemi gibi birçok bağıntı vardır [1,12]. Çökme hızıyla ilgili yeni çalışmalar Dietrich (1982) ile Jimenez ve Madsen (2003)’de bulunabilir [18, 19]. Bu çalışmada, sediment danelerinin çökme hızı (ω) 10 °C sıcaklıkta temiz sudaki dane çökme hızının belirlenmesinde kullanılabilceği belirtilen (8) nolu bağıntı ile hesaplanmıştır [14].

$$\omega = \frac{8\nu}{d} \left\{ \left[1 + \frac{(\gamma_s/\gamma - 1)g}{72\nu^2} d^3 \right]^{1/2} - 1 \right\} \quad (8)$$

Burada d askıda taşınan malzemenin dane çapını, g yerçekimi ivmesini, γ suyun özgül ağırlığını, γ_s sedimentin özgül ağırlığını göstermektedir.

Ampirik bağıntılarda yer alan diğer bir parametre olan kayma gerilmesi hızı (U_*) ise danenin harekete başladığı andaki hızdır, Denklem 9’a göre hesap edilmiştir [1].

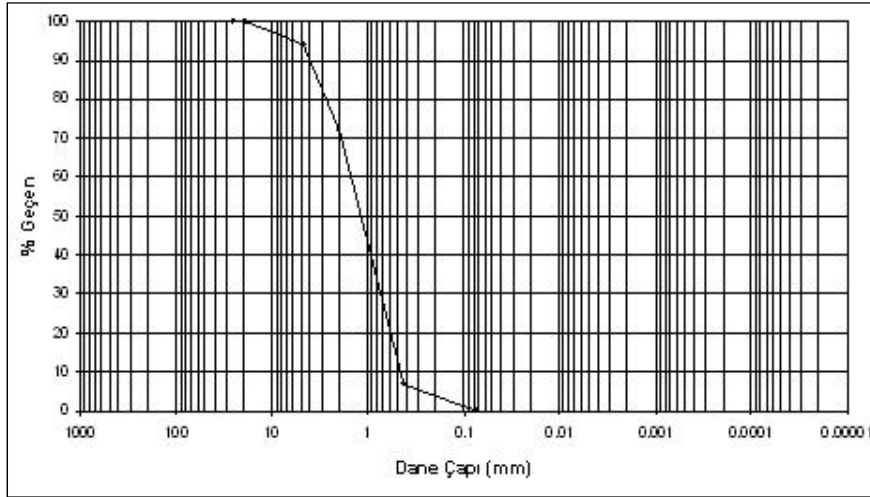
$$U_* = (g.R.S)^{1/2} \quad (9)$$

Denklemden yer alan R hidrolik yarıçapı göstermektedir. Yukarıda verilen bütün ampirik bağıntıların detayları literatürden bulunabilir [1, 12, 13, 14, 16,17].

4. UYGULAMA

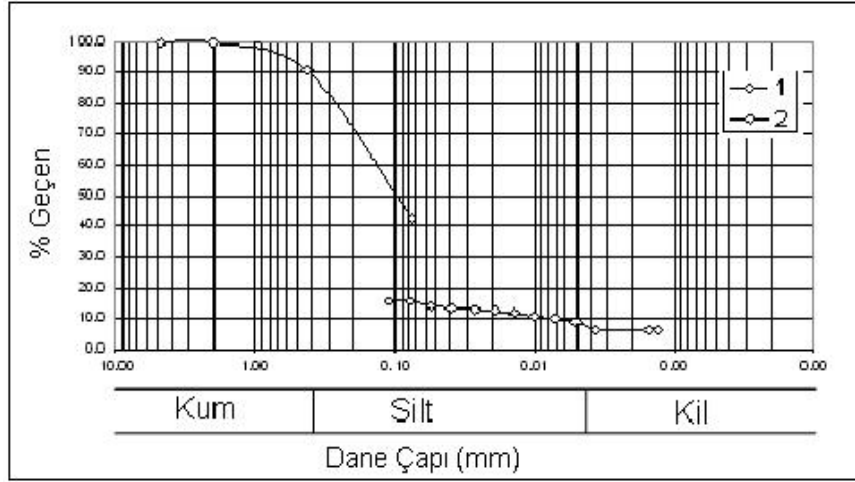
4.1 Laboratuvar Çalışması

Laboratuvarda, yatak yükü malzeme örnekleri ile öncelikle, ASTM-D854 standardına göre özgül ağırlık deneyi, daha sonra da ASTM-D422 standardına göre elek analizi yapılmıştır. 523 nolu istasyondan alınan örneklerde, No:200 eleğin altına geçen herhangi bir malzeme bulunmamasına karşın (Şekil 12), 518 nolu istasyon için bu miktar % 42.5'tur. Bu nedenle, 518 nolu istasyondan alınan örneğin 200 nolu eleğin altına geçen ince kısmına hidrometri deneyi yapılmıştır. 518 no'lu istasyonun Demirköprü barajının mansabında yer alması nedeniyle, ince daneli malzemenin fazla oluşu makul görünmektedir. Fakat istasyonun konumu gereği, örnek fazlaca organik madde içerdiğinden hidrometri deneyinin çok başarılı sonuç vermediği görülmüş, elek analizi ile hidrometri deney sonuçları çakışmamıştır (Şekil 13). Üçüncü aşamada, örnekler ASTM-D4318 standardına göre kıvam limit deneyleri uygulanmıştır. Burada, örneklerin her ikisi de plastik olmayan davranış göstermiş, plastik limit deneyine gerek görülmemiştir (Şekil 14). Bu kıvam limitlerinden elde edilen likit limit değeri ile de USCS'ye (birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi) göre ASTM-D2487 standardında zemin sınıflandırması yapılmıştır. Buna göre, zemin sınıflarının 523 nolu istasyonda SP (kötü derecelenmiş kum), 518 nolu istasyonda da SM (kumlu silt) olduğuna karar verilmiştir. 523 nolu istasyondan alınan numunenin kötü derecelenmiş olması, elek analizi grafiğindeki sert düşüşü de desteklemektedir. Son aşamada ise, alınan askıda katı madde solüsyonları etüvde kurutulup, DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında Malvern dane çapı analizi yapılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar Tablo 1 ve 2' de özetlenmiştir.

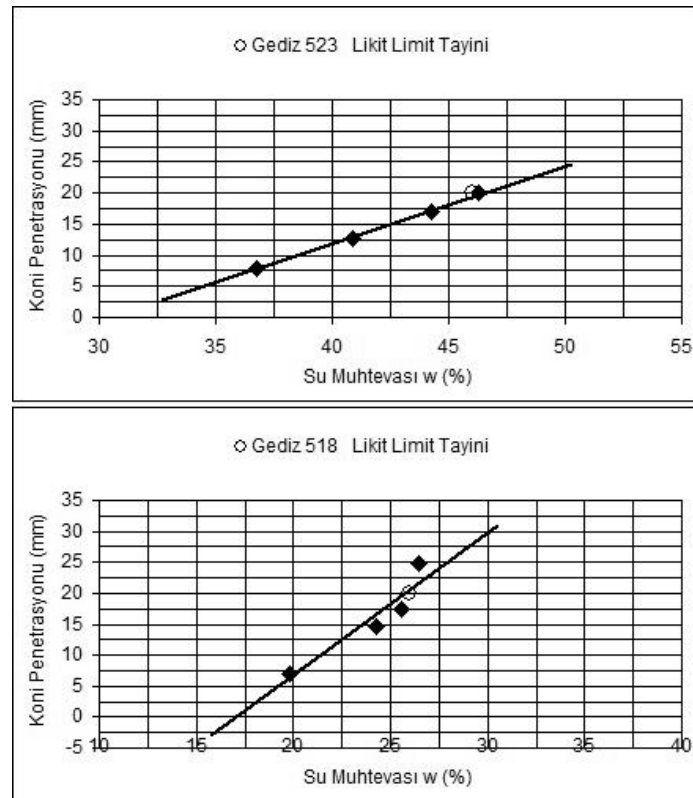


Şekil 12. Mamba istasyonundan (523) alınan yatak yükü örneğine ait elek analizi grafiği

Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yükü Tahmini



Şekil 13. Mansap istasyonundan (518) alınan yatak yükü örneğine ait elek analizi grafiği



Şekil 14. Kıvam limitleri

Tablo 1. Gediz Nehrine ait akım karakteristiğini belirleyen parametreler

Parametreler	Nehir konumu	
	Memba	Mansap
Boyuna Eğim (S)	%o 3	%o 0,8
Manning pürüzlülük katsayısı (η)	0.04	0.025
Kinematik viskozite (ν) 20° C	1.10^{-6}	1.10^{-6}
Yerçekimi ivmesi (g) (m/s^2)	9.81	9.81
Suyun özgül ağırlığı (γ) (t/m^3)	1.0	1.0

Tablo 2. Gediz Nehrinde taşınan sediment karakteristiğini belirleyen parametreler

Parametreler	Nehir konumu					
	Memba			Mansap		
	d_{50} (mm)	d_{65} (mm)	d_{90} (mm)	d_{10} (mm)	d_{50} (mm)	d_{90} (mm)
Yatak yükü dane çapları	1.3	1.8	4.0	0.098	0.18	0.43
Askıda giden katı maddenin dane çapları	0.00366	0.027	0.1182	0.0065	0.0495	0.19496
Sediment danesinin özgül ağırlığı (γ_s) (t/m^3)	2.756			2.71		

Uygulamada 523 ve 518 nolu istasyonlarda askıda katı madde dane çapının çok küçük olması nedeniyle, çökeltme hızında d_{90} (askıda maddenin dane çapı), yatak yükü dane çapında d_{50} değerleri hesaba katılmış, yatak yükünün kalınlığı ise, literatürde yer aldığı gibi $a = 2d_{b50}$ (yatak yükünün %50'sinin sahip olduğu dane çapının iki katı) olarak belirlenmiştir [1, 12, 13, 14]. Uygulanan ampirik bağıntıların bazıları İngiliz ölçü biriminde sonuç verdiği için, birim dönüşümleri uygulanarak yöntem sonuçları birbiriyle uyumlu hale getirilmiştir.

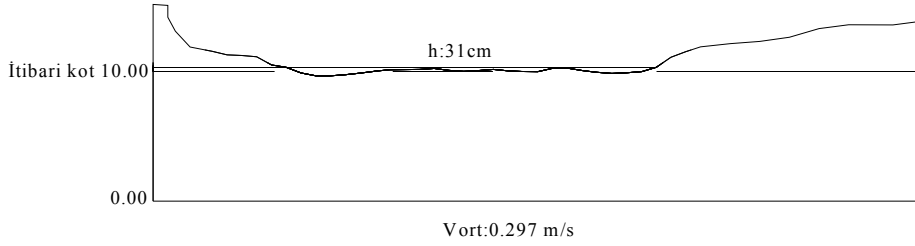
4.2 Akım Anahtar Eğrileri ile Enkesitlerin Kontrolü

Çalışmanın bu kısmında EİE Aydın şubesinden temin edilen çeşitli su yıllarına ait akarsu enkesitlerinin çizimi yapılmıştır. Bu kesitlerden bir tanesi Şekil 15'de gösterilmiştir. Şekilde görülen h değeri, kesit alındığı anda akarsu yatağındaki mevcut akıma ait derinlik, V_{ort} değeri ise o akıma ait kesitsel ortalama hızdır. Kesitin referans kotu ise 10 m'dir.

Akım yıllıklarından okunan akım anahtar eğrileri yardımıyla debiden su seviyesine geçilmiş, bu seviye enkesit çizimlerine yerleştirilerek o tarihteki akarsu enkesitinin alanı hesap edilmiştir. Hesaplanan alan değerleri EİE'den alınan değerlere oranlanmış ve 0.60 ve

Ampirik Yöntemlerle Gediz Nehri İçin Askıda Katı Madde Yükü Tahmini

daha büyük oranlara sahip olan enkesitler dikkate alınmıştır. Daha düşük oranlar gözlenen enkesitler hata olabileceği şüphesiyle kullanılmamıştır (Tablo 3). Bu kontrol işlemi sonrasında, ampirik denklemler, 523 no.lu memba istasyonunda 63, 518 no.lu mansap istasyonunda ise 68 adet gözlenmiş askıda katı madde verisine uygulanabilmektedir.



Şekil 15. Memba İstasyonu'nda (523) 1997 Su Yılına ait bir en kesit gösterimi

Tablo 3. Memba ve mansap istasyonlarına ait en kesit alan oranları

İstasyonlar	Alanlar	Su Yılları					
		1996	1997	1999	2001	2003	2004
Memba istasyonu (523)	EİE	4.2	7.4	3.2	1.9	7.6	2.1
	Hesap	4.2	7.4	5.2	2.3	7.6	2.7
	Oran	1	1	0.62	0.83	1	0.78
	Alanlar	Su Yılları					
		1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mansap istasyonu (518)	EİE	8.61	10.1	12.61	19.91	12.54	4.84
	Hesap	9.2	8.71	13.14	15.6	12.76	6.2
	Oran	0.94	1.15	0.96	1.27	0.98	0.78

4.3 Performans Değerlendirme Ölçütleri

Uygulanan tüm ampirik bağıntıların performansları, ortalama mutlak hata (MAE), ortalama göreceli mutlak hata (MARE), eklenik hata (CME) ve determinasyon katsayısı (R^2) ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Bu ölçütlere ait bağıntılar:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |SSL_{göz} - SSL_{model}|}{N} \quad (10)$$

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|SSL_{göz} - SSL_{model}|}{SSL_{göz}} * 100}{N} \quad (11)$$

$$CME = \frac{\sum_{i=1}^N SSL_{göz} - \sum_{i=1}^N SSL_{model}}{\sum_{i=1}^N SSL_{göz}} * 100 \quad (12)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (SSL_{göz} - \overline{SSL_{göz}}) \left(SSL_{model} - \overline{SSL_{model}} \right) \right)}{\left[\sum_{i=1}^N \left(SSL_{göz} - \overline{SSL_{göz}} \right)^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^N \left(SSL_{model} - \overline{SSL_{model}} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (13)$$

şeklinde. Denklemlerde $SSL_{göz}$ askıda katı maddenin gözlenmiş değerini, SSL_{model} askıda katı maddenin modellenmiş değerini, N veri sayısını, $\overline{SSL_{göz}}$ gözlenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalamasını ve $\overline{SSL_{model}}$ modellenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir.

5. MODEL PERFORMANSLARI

Uygulanan ampirik bağıntılar ve herbirinin Denklem 10, 11, 12 ve 13 ile hesaplanan performans ölçütleri Tablo 4’de özetlenmektedir. Tablo 4’den de görüldüğü üzere tüm kriterler incelendiğinde, söz konusu dört ampirik yaklaşımdan en iyi sonuçları veren bağıntının Brooks metodu olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları

İstasyonlar	Uygulanan Bağıntılar	Performans Ölçütleri			
		MAE (ton/gün)	MARE	CME	R ²
Mamba istasyonu (523)	Lane&Kalinske	11405.1	3854.9	-1931.1	0.489
	Einstein	11259.2	10428.8	-1906.5	0.386
	Brooks	2299.2	646.4	-339.5	0.509
	Chang, Simons & Richardson	5939.3	1695.9	-970.2	0.406
Mansap istasyonu (518)	Lane&Kalinske	286805.3	22560.6	-12695.0	0.319
	Einstein	13543.4	1865.5	-594.9	0.297
	Brooks	1425.1	72.7	50.2	0.516
	Chang, Simons & Richardson	2157	269	78.7	0.166

Daha önce de belirtildiği üzere bu ampirik formüller genelde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarına dayanarak ortaya çıkmıştır. Gerek doğada, gerekse laboratuvar ortamında olaya etkiyen fiziksel mekanizma aynı olmakla birlikte, doğal

ortamdaki diğer etkenler sonuçları etkileyebilmektedir. Bu nedenle, bağıntıların doğal akarsularda kullanılabilmesi için düzeltilmesi gerekmektedir. Hatta bu etkenler havzadan havzaya değişebileceğinden, bu düzeltme işleminin her bir akarsuya özgü olarak yapılması gerekebilir. Bu bağlamda, (14) nolu denklem uygulanarak, ampirik yöntemler arasında en iyi sonuçların elde edildiği Brooks yönteminin Gediz Nehri'ni temsil etmesi için gerekli düzeltme katsayısı belirlenmiştir.

$$q_{SW\ GA} = Fc * q_{SW\ Brooks} \quad (14)$$

Denklemdaki, Fc düzeltme katsayısının en uygun değerini belirlemek üzere genetik algoritma kullanılmıştır. $q_{SW\ Brooks}$ Brooks metodunun verdiği sonuçları, $q_{SW\ GA}$ ise genetik algoritma ile düzeltilen sonuçları göstermektedir.

Burada, her iki istasyona ait gözlenmiş değerler ile Brooks metodu sonuçları arasındaki fark en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Memba istasyonu için 63 veriden 42'si, mansap istasyonu için 68 verinin 48 tanesi Fc katsayısının kalibrasyonunda kullanılmıştır. Memba istasyonu için bu katsayı 0.124, mansap istasyonu için ise 1.998 olarak bulunmuştur. Geri kalan veriler ile performans sınaması yapılmıştır. Ayrıca, genetik algoritma ile iyileştirilen Brooks metodu test sonuçları (GA-Brooks), önceki çalışmalarda yayınlamış olan yapay sinir ağları (ANN) ve adaptif sinirsel bulanık sistemler (ANFIS) sonuçları ile karşılaştırılmıştır [6, 11]. Çalışmanın bu bölümüne ait performans ölçütleri Tablo 5'de özetlenmiştir. Memba ve mansap istasyonuna ait model sonuçlarının grafikleri ise sırasıyla Şekil 17 ve 18'de sunulmuştur. Tablo 5'den görüleceği üzere, GA-Brooks metodu ile her iki istasyonda da düşük hata ve yüksek R^2 değerleri elde edilmiş; toplam askıda katı madde yükü, 523 no.lu istasyonda %20, 518 no.lu istasyonda ise %10 dan daha az bir hata ile tahmin edilmiştir. GA-Brooks metodu, ANN ve ANFIS gibi güçlü olan esnek metodlar ile benzer, hatta daha iyi, performans sergilemiştir.

Tablo 5. GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS metotları ile karşılaştırılması

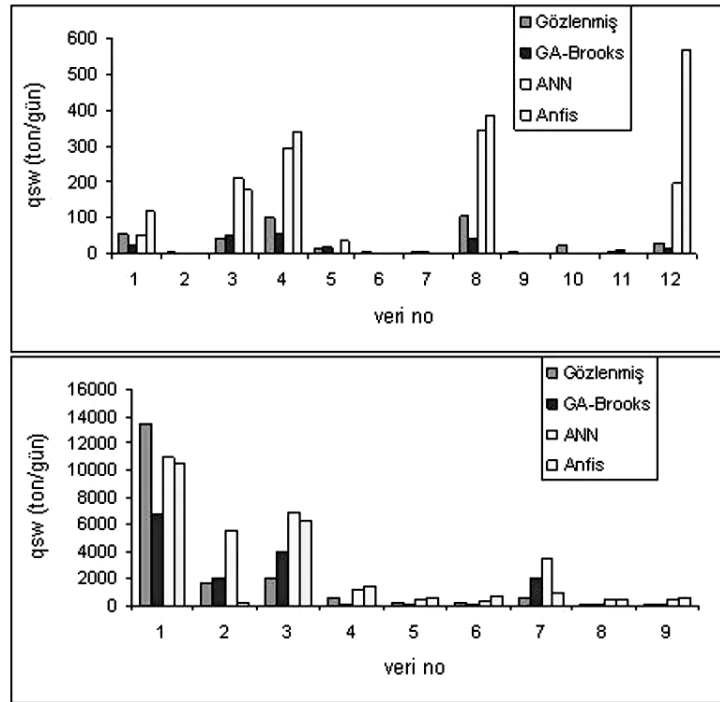
İstasyonlar	Uygulanan Bağıntılar	Performans Ölçütleri			
		MAE	MARE	CME	R^2
Memba istasyonu (523)	ANN	789.59	182.18	-59.2	0.74
	ANFIS	618.12	241.66	-20.2	0.82
	GA-Brooks	541.35	59.1	20.54	0.802
Mansap istasyonu (518)	ANN	1501.03	99.7	6.84	0.66
	ANFIS	2096.96	123.77	15.25	0.29
	GA-Brooks	804.49	62.78	8.98	0.92

Şekil 17'den görüleceği üzere, 523 no.lu memba istasyonunda gözlem değerleri GA-Brooks tarafından genelde daha iyi tahmin edilmiştir. Buna karşın, ANN ve ANFIS metodlarının tahminleri ise çoğu kez gözlenmiş verilerin oldukça üzerinde kalmıştır. Benzer sonucu 518

nolu istasyonda da görmek mümkündür. Her üç yöntem de başarılı olmakla birlikte, GA-Brooks yönteminin, diğerlerine nazaran, daha iyi bir performans sergilediği Şekil 18'de görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Gediz Nehrinde taşınan askıda katı madde yükü ampirik formüller ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için öncelikle arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmış, havzaya ve akarsuya ait parametreler belirlenmiştir. Ardından literatürde yer alan dört askıda katı madde ampirik bağıntısı uygulanmış, bölgeye en uygun ampirik bağıntının Brooks metodu olduğu belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, belirlenen ampirik formülün Gediz Nehrini temsil etmesini sağlamak için gerekli düzeltme yapılmış; bağıntıdaki düzeltme katsayısının en uygun değeri genetik algoritma ile hesaplanmıştır. Modelin performansını irdelemek amacıyla, söz konusu bağıntının sonuçları, hem gözlenmiş değerler, hem de esnek modelleme yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



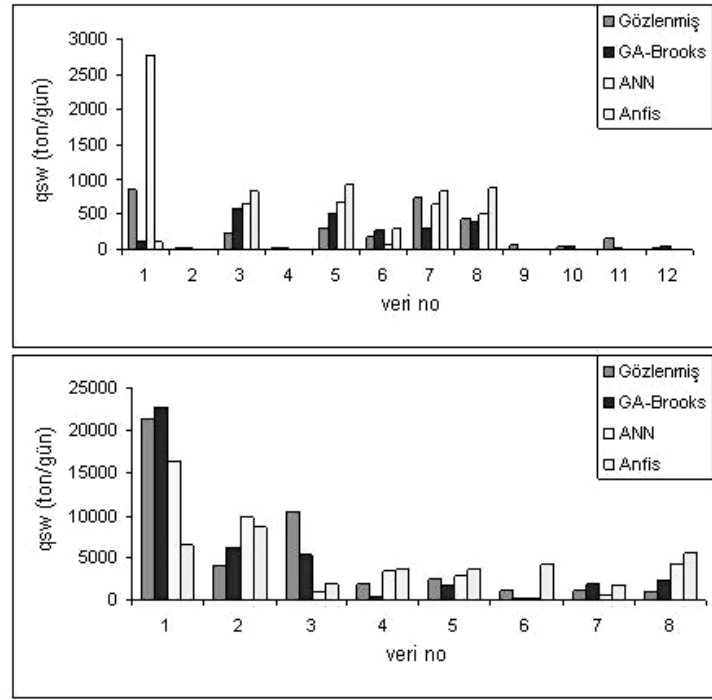
Şekil 17. Memba İstasyonu (523) için GA-Brooks Modeli sonuçları

İyileştirme çalışmalarında uygulanan genetik algorithmada akarsuyun memba ve mansap istasyonları için farklı iki katsayının elde edilmiş olması, bu istasyonların boyuna eğim,

bitki örtüsü, ortalama dane çapı ve su kalitesi gibi askıda katı madde taşınımını birebir etkileyen diğer parametrelerinin farklı oluşu ile açıklanabilir (Tablo 1, 2). Ayrıca mansapta yer alan istasyonun (518), Demirköprü Barajından kaynaklanan bir düzenlemenin etkisi altında olduğu da göz önünde tutulmalıdır. Genetik algoritma ile iyileştirilen Brooks metodu sonuçları, daha önceki çalışmalarımızdan elde edilen ANN ve ANFIS model sonuçları ile oldukça uyumludur.

Çalışma sonucunda, ampirik yaklaşımlardan Brooks yönteminin Gediz Havzasında uygulanabileceği, ancak sonuçların değerlendirilmesinde havza özelliklerini temsil eden akım ve sediment karakteristiklerinin göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir.

Bu nedenle, değerlendirme aşamasında kontrol amacıyla diğer yöntemlerin de uygulanması önerilmektedir.



Şekil 18. Mansap İstasyonu (518) için GA-Brooks Modeli sonuçları

Teşekkür

Yazarlar, arazi çalışmaları ile su yıllarına ait enkesitlerin temin edilmesinde yardımcı olan EİE Aydın Şubesi çalışanlarına ve askıda katı madde dane çapının belirlenmesinde yardımcı olan Dokuz Eylül Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Azize Ayol'a teşekkür ederler.

Semboller

a	: yatak yükü kalınlığı
β	: suyun momentum difüzyon katsayısının, sedimentin momentum difüzyon katsayısına oranını gösteren parametre
\bar{C}	: y derinliğindeki ortalama konsantrasyon
C_a	: yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon
C_{md}	: $y=D/2$ ' deki askıda katı madde konsantrasyonu
d_b	: tabanda taşınan malzemenin ortalama dane çapı
d	: askıda taşınan malzemenin dane çapı
D	: su derinliği
F_c	: düzeltme faktörü
g	: yerçekimi ivmesi
$I_1 ; I_2$: $A=2d_{b65}/D$ değerinin çeşitli z ($z = \omega / k.u_*$) değerleri için katsayılar (Einstein Yaklaşımı)
$I_1 ; I_2$: farklı ξ_a ve çeşitli z_2 ($z = 2\omega / \beta k.u_*$) değerleri için katsayılar (Chang, Simons ve Richards'ın Yaklaşımı)
i_{BW}^q	: yatak yükünün oransal ağırlığı
k	: Von Karman sabiti
N	: veri sayısı
P_L	: Lane ve Kalinske Yaklaşımındaki bir parametre
q	: birim genişlik debisi
Q	: akım debisi
q_{bw}	: yatak yükü
q_{sw}	: birim genişlikte askıda katı madde yükü
q_{SW}^{Brooks}	: Brooks metodunun verdiği askıda katı madde yükü sonuçları
q_{SWGA}	: Genetik Algoritma ile düzeltilen askıda katı madde yükü sonuçları
R	: hidrolik yarıçap
S	: nehir yatağının boyuna eğimi
$SSL_{göz}$: askıda katı maddenin gözlenmiş değeri
SSL_{model}	: askıda katı maddenin modellenmiş değeri

$\overline{SSL}_{göz}$: gözlenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalaması

\overline{SSL}_{model} : modellenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalaması

U^* : kayma gerilmesi hızı

V : akım hızı

X : $\frac{K_S}{\delta} = \frac{U_* d_{b65}}{11.6\nu}$ değerine göre Şekil 7'den okunan katsayı

Δ : $\frac{k_S}{X} = \frac{d_{b65}}{X}$

δ : viskoz alt tabaka kalınlığı

γ : suyun özgül ağırlığı

γ_s : sedimentin özgül ağırlığı

η : Manning Pürüzlülüğü

ν : kinematik viskozite

ω : çökme hızı

ξ_a : yatak malzemesinin kalınlığı (Chang, Simons ve Richards'ın yaklaşımı)

Kaynaklar

- [1] Yang, C.T., Sediment Transport Theory and Practice. McGraw-Hill , USA, 1996.
- [2] Sivakumar, B., Suspended sediment load estimation and the problem of inadequate data sampling: a fractal view. Earth Surface Processes and Landforms, 31, 414-427, 2006.
- [3] Olive, L.J., Rieger, W.A., On examination of the role of sampling strategies in the study of the suspended sediment transport. Sediment Budgets (Proceedings of the Porto alegre Symposium, December 1988). IAHS Publ. No. 174, 259-267, 1988.
- [4] EİE, Türkiye Akarsularında Süspansed Sediment Gözlemleri. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, yayın no:2007-3. Ankara, 2006.
- [5] Walling, D.E., Webb, B.W., The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments. Sediment Budgets (Proceedings of the Porto alegre Symposium, December 1988). IAHS Publ. No. 174, 337-350, 1988.
- [6] Ulke, A., Ozkul., S., Doğan, E., Tayfur., G., Soft computational methods to estimate suspended sediment load in the Gediz River. River Flow, International Conference on Fluvial Hydraulics, Çeşme, İzmir, Turkey, 1039-1047, 2008.

- [7] Cigizoglu H.K., Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multi-layer perceptrons. *Adv. Water Resour.*, 27, 185–195, 2004.
- [8] Kisi, O., Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches. *Hydrol Sci J.*, 50(4), 683-696, 2005.
- [9] Tayfur G., Guldal V., Artificial neural networks for estimating daily total suspended sediment in natural streams. *Nordic Hydrol.*, 37(1) 69–79, 2006.
- [10] Ulke, A., Ozkul., S., Tayfur. ,G., YSA ile Gediz Nehri için askıda katı madde yükü tahmini. 5. Ulusal Hidroloji Kongresi, ODTÜ, Ankara, 257-266, 2007a.
- [11] Ulke, A., Ozkul., S., Tayfur, G., Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 14, no.9, 954-966, 2009.
- [12] Graf, W.H., *Hydraulics of Sediment Transport*. Water Resources Publications, Colorado, USA, 1984.
- [13] Simons, D.B., Şentürk, F., *Sediment Transport Technology, Water and Sediment Dynamics*. Water Resources Publications, Colorado, USA, 1992.
- [14] Julien, P.Y., *River Mechanics*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2002.
- [15] Yang C.T., Molinas, A., Wu, B., Sediment transport in the Yellow River. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 122, no.5, 237-244, 1996.
- [16] Şentürk, F., *Nehir Hidroliği*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, yayın no:660, grup no:X, özel no:64, 1969.
- [17] Bayazıt, M., *Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği*, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1971.
- [18] Dietrich, W.E, Settling velocity of natural particles. *Water Resources Research*, vol.18, no.6, 1615-1626, 1982.
- [19] Jimanez, J.A., Madson,O.S., A simple formula to estimate settling velocity of natural sediments . *Journal of Watervay Port, Coastal and Ocean Engineering*, vol.129, no.2, 70-78, 2003.