

Suspended Sediment Load Estimation in Lower Sakarya River By Using Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Models

E. Dogan

Sakarya University, Civil Engineering Department, Esentepe Campus, 54187
Sakarya, Turkey

Abstract: In water resources management and projects, correct estimation of suspended sediment load being carried by a river is very important in the determination of economical lifetime of facilities built on rivers. The suspended sediment load of the river is generally determined from direct measurement of the sediment load or from sediment transport equations. Although direct measurement is the most reliable method, it is very expensive and can not be conducted for as many streams as the measurement of water discharge. Also during floods direct measurement of suspended sediment load can not be measured. On the other hand, most of the sediment transport equations require detailed information on the flow and sediment characteristics and also do not agree with each other and it makes difficult to choose which equation is the best, the methods in the literature for sediment load estimation are very complex and time consuming. In this study because of the complexity of the phenomena soft computing methods which are the powerful tool for input-output mapping are used, these are artificial neural networks (ANNs), fuzzy logic (FL) that is Mamdani Fuzzy interference system (FIS-Mamdani) and Sugeno fuzzy interference system (FIS-Sugeno), adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) approaches used to estimate suspended sediment load values. This application is modeled to predict suspended sediment load in Lower Sakarya River in Sakarya, Turkey. The results show that adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) technique is found to be significantly superior to others and to ease the model building process.

Keywords: Neural networks, fuzzy logic, fuzzy interference systems, adaptive neural fuzzy interference systems, suspended sediment load

Asagi Sakarya Nehrindeki Aski Maddesi Miktarinin Yapay Sinir Aglari, Bulanik Mantik ve Sinirsel Bulanik Modelleri ile Tahmin Edilmesi

Özet: Akarsu yapılarının planlanması ve projelendirilmesinde nehirdeki kati madde tasınımi miktarinin tahmini, akarsu üzerine yapılan tesislerin ekonomik ömrünün belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Genellikle kati madde miktarı ya aski maddesi sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümlerle ya da literatürde olan kati madde tasınımi formülleriyle belirlenmektedir. Aski maddesinin doğrudan akarsudan ölçüm metoduyla belirlenmesi en güvenilir yol olmasına rağmen zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir. Bir çok gözlem istasyonundan su debisi ölçülmesine karşın aski maddesi ölçümü yapılmamaktadır. Ayrıca taskınlar sırasında da sediment gözlem istasyonlarından aski maddesi ölçümü yapılamamaktadır. Diğer taraftan literatürde birçok kati madde tasınımi formülü vardır. Fakat bu formüllerin çoğunda akim ve kati madde özellikleriyle ilgili detaylı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle bu formüller kendi aralarında da çelişmektedir ve bu nedenle en iyi çözümü veren denklemi belirlemek oldukça güçtür. Problemin karmaşıklığı, kesinsizliği ve belirsizliği klasik yöntemlere rahat modelleme imkanı vermez. Bu durumlarında daha uygun olarak kullanılabilecek başka yöntemlerde mevcuttur. Bu nedenle bu çalışma için, literatürde esnek yöntemler (soft computing) olarak ifade edilebilecek bu grup içerisinde bulunan yapay sinir ağları (YSA), Mamdani ve Sugeno bulanik mantik (Mamdani-BM, Sugeno-BM), adaptif sinirsel bulanik sistemi (ASBS) gibi yöntemler Asagi Sakarya Nehrinde aski maddesi miktarinin tahmini için kullanılmıştır. Bu modellemeler içerisinde ASBS yöntemi model oluşturma aşamasında kolaylıklar sağladığı gibi, aynı zamanda direkt olarak ölçülen aski maddesi debisi değerlerine en yakın sonucu verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, bulanik yaklaşımlar sistemleri, adaptif sinirsel bulanik sistemler, aski maddesi miktarı

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

E. Dogan, 'Suspended Sediment Load Estimation In Lower Sakarya River By Using Soft Computational Methods', Elec Lett Sci Eng , vol. 1(1), (2005), 22-32

* Corresponding author; Tel.: +(90) 535 6194350, E-mail: emrahd@sakarya.edu.tr

1 Giriş

Akarsu yapılarının planlanması ve projelendirilmesinde nehirdeki kati madde tasınım miktarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi hidrolik mühendisliğinde hayati önem taşımaktadır. Çünkü aski maddesi miktarının tahmini, baraj ölü hacminin dizaynının, nehirdeki kati madde tasınımının, stabil kanalların dizaynının, viyadük, köprü gibi diğer yapıların akarsu içerisinde kalan ayaklarında meydana gelebilecek oyulma yada yığılma miktarlarının ve su yapılarının çevreye olan etkilerinin belirlenmesi gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır [5].

Ayrıca, akarsularda kati madde tasınım sonucu akarsu üzerine yapılan tesislerin ekonomik ömrü azaldığı gibi tarımsal alanlara da zarar vermekte, toprağın en verimli kısmı olan üst tabakasının yok olmasının yanında tarımsal ekonominin de zarar görmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda akarsu tasımacılığı, tasınım kontrolü için akarsu düzenlemelerinde, su kuvveti tesislerinin tip ve yerlerinin seçiminde, kati madde tasınım miktarı tahminleri önemli bir yer tutmaktadır.

Genel olarak aski maddesi miktarı akım debisiyle ilişkilidir. Araştırmacılar bu ilişkiyi kullanarak regresyon analizi yapmaktadırlar. Ancak bu klasik regresyon analizi problemin doğasından kaynaklanan lineer olmayan karmaşık ilişkiler sebebiyle iyi sonuçlar vermemektedir [6]. Son yıllarda akarsu debisi ile aski maddesi miktarı arasında ilişkiyi açıklamak için yapay sinir ağları kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde bu ilişkiyi açıklayan bulanık mantık ve bulanık sinir ağları ile modellere rastlanılmamıştır. Çalışma kapsamında, yapay sinir ağları (YSA), Mamdani ve Sugeno bulanık mantık yaklaşımları (Mamdani-BM, Sugeno-BM), Adaptif Bulanık Sinir Yaklaşımı (ASBS) kullanılmıştır. Bu yaklaşım yöntemleri Asağı Sakarya Nehrinde aski maddesi miktarının tahmini için modellenmiştir.

2 Çalışma Sahası

Sakarya Havzası 58 160 km² olup Türkiye'nin toplam yüzölçümünün 1/13'nü oluşturmaktadır. Sakarya Nehrinde Elektrik İşleri Etüt İdaresine ait toplam 8 adet sediment gözlem istasyonu mevcuttur. Bu çalışmada günlük Asağı Sakarya Nehrinde su debileri ile günlük aski maddesi miktarları arasındaki ilişkinin kurulmasında Botbasi (1243) ve Adatepe (1257) sediment gözlem istasyonlarından (SGI) alınan ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Botbasi'na (SGI) ait ölçüm kayıtları 1964-2001 yıllarını kapsamakta olup Adatepe (SGI)'ye ait olan verilerde 2001-2004 yılını kapsamaktadır. 2001 yılında Botbasi istasyonunun kapanmasından sonra yine aynı yıl içerisinde Adatepe istasyonu açılmıştır. Adatepe istasyonunun Botbasi istasyonuna benzer özellik göstermesinden dolayı 2001 yılından sonraki veri kayıtları bu istasyondan elde edilmiştir. Bu çalışmada Asağı Sakarya Nehrinin çalışma sahası olarak seçilmesinin temel nedeni su debisi ile aski maddesi miktarlarının hesaplamalar için uygunluk arz etmesidir.

3 YSA Modeli ile Askı Maddesi Miktarının Tahmin Edilmesi

Bu çalışmada, YSA(i,j,k) mimarisi, sırasıyla i, j ve k simgelerinin girdi, gizli ve çıktı katmanlarını gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Burada i ve k değerleri 1 olup j değerleri 3, 5, 10, 15 ve 20 değerleri alınarak YSA modelleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu, YSA eğitimi için de genelleştirilmiş delta kuralına dayalı olan geri yayılım algoritması kullanılmıştır.

Öncelikle modelin uygulanması için tüm veriler 0.1 ile 0.9 arasında normalize edilmiştir.

$$x_i = 0.8 \cdot (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) + 0.1 \quad (8)$$

Burada, x_i normalize edilmiş değerleri göstermekte olup, X_{\max} and X_{\min} maksimum ve minimum ölçülen değerlerdir. Normalizasyon yapılarak veriler boyutsuz hale getirilmiş olur.

3.1 YSA Modelinin Uygulanması ve Sonuçları

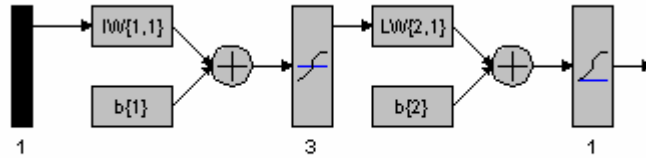
Bir girdi vektörü (su debisi) ve bir çıktı vektöründen (aski maddesi miktarı) oluşan 356 verinin analizi göz önüne alınmıştır. Bu 356 veri çifti randomize ve Denklem 8 de verilen metodla 0.1-0.9 arasında normalize edilerek eğitim ve test setlerini oluşturmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eğitim seti 277, geriye kalan 79 adet veri ise programın gerçek değerlere yaklaşım performansının değerlendirilmesinde test seti olarak kullanılmıştır. YSA modelleri ile elde edilen performans değerleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. YSA modellerinin test seti performansları

Model	OKH	R ²	OMH	TA ₁₀
YSA(1 3 1)	4.70E+06*	0.78087	0.68194*	0.151899*
YSA (1 5 1)	4.78E+06	0.782788*	0.68482	0.151899
YSA (1 10 1)	6.00E+06	0.767115	0.69479	0.10127
YSA (1 15 1)	6.27E+06	0.76019	0.70113	0.10127
YSA (1 20 1)	6.96E+06	0.738007	0.697531	0.139241

Not: En iyi sonuçlar (*) ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada, gizli katman nöron sayısı çeşitli denemelerden sonra test seti performans değerlerinden, Tablo 1 de gösterildiği üzere 3 olarak belirlenmiştir. Performansı en yüksek olan YSA(1 3 1) modelinin yapısı Şekil 1 de gösterilmiştir. Gizli katman sayısı 1 alınmıştır. Çünkü YSA mimarisi 1 girdi ve 1 çıktı üzerine dayalıdır ve daha önceki tecrübelerle göre 1 alınmıştır [1, 2, 3, 4].



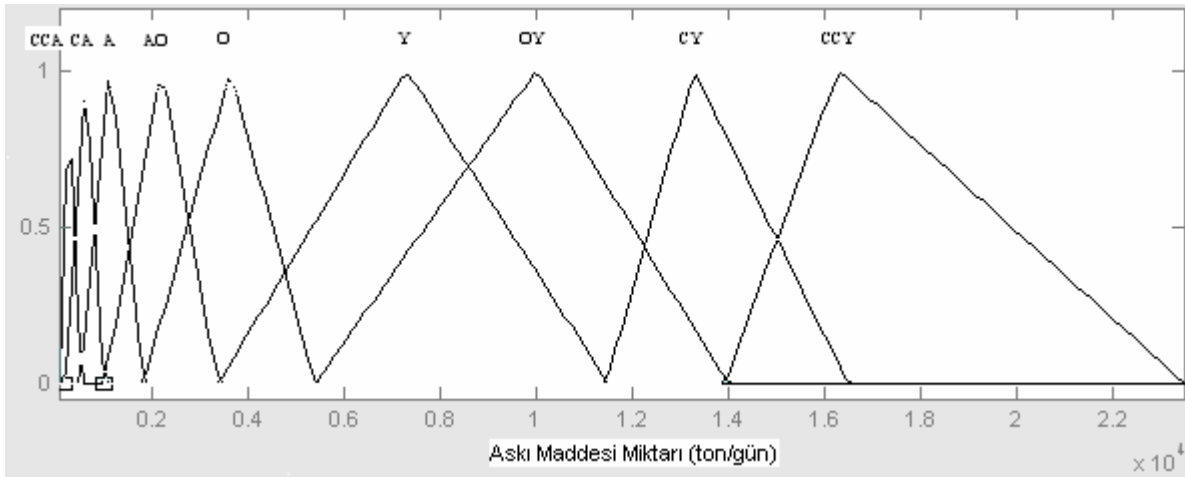
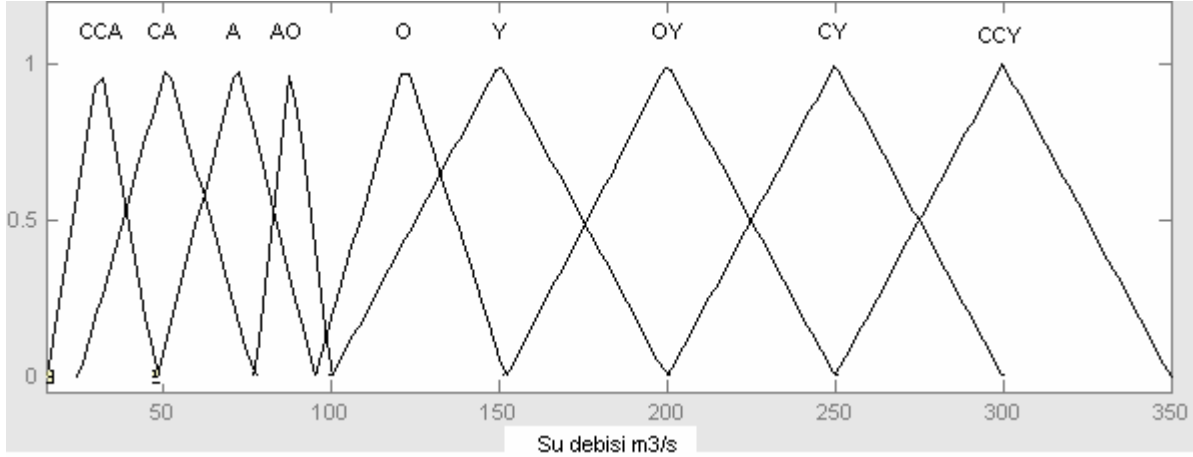
Şekil 1. YSA(1 3 1) modelinin mimarisi

4 Bulanik Mantık Modeli ile Aski Maddesi Miktarının Tahmin Edilmesi

4.1 Mamdani Metodunun Uygulanması ve Sonuçları

Bu çalışmada, sediment gözlem istasyonlarından elde edilen su debisi (Q_w , m³/s) girdi, aski maddesi miktarı (Q_s , ton/gün) ise çıktı olarak, minimum($Q_{wmin}=15$ m³/s, $Q_{smin}=60$ ton/gün) ve

maksimum($Q_{wmak}=350 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{smak}=23500 \text{ ton/gün}$) degerleri arasında 9 ayri alt kümeye ayrılmıştır. Her bir alt kümenin araligi problemin özelligine göre belirlenmiştir. Alt kümelerin oluşturulmasında üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu alt kümeler çok çok az (CCA), çok az (CA), az (A), az orta (AO), orta (O), yüksek (Y), orta yüksek (OY), çok yüksek (CY), çok çok yüksek (CCY) olarak tanımlanmış ve Sekil 2a-b de gösterilmiştir.



Sekil 2 Bulanik alt kümeler a) su debisi (m^3/s), b)aski maddesi miktarı (ton/gün)

Bu çalışmada, su debisi ve aski maddesi miktarı arasında ilişkiye dayalı oluşturulan alt kümelerden yola çıkarak kurallar tanımlanmıştır. Örneğin, “eger su debisi Q_w CCA ise aski maddesi miktarı Q_s ’da CCA’dır.” Nehirdeki aski maddesinin tahmin edilmesiyle ilgili bulanik yaklaşımlar Tablo 2’de verilmiştir. Bulanik yaklaşım, bulanik kural tabanındaki tüm olası kuralları dikkate alarak girdilere karşılık gelen çıktıları öğrenerek sonuç üretir.

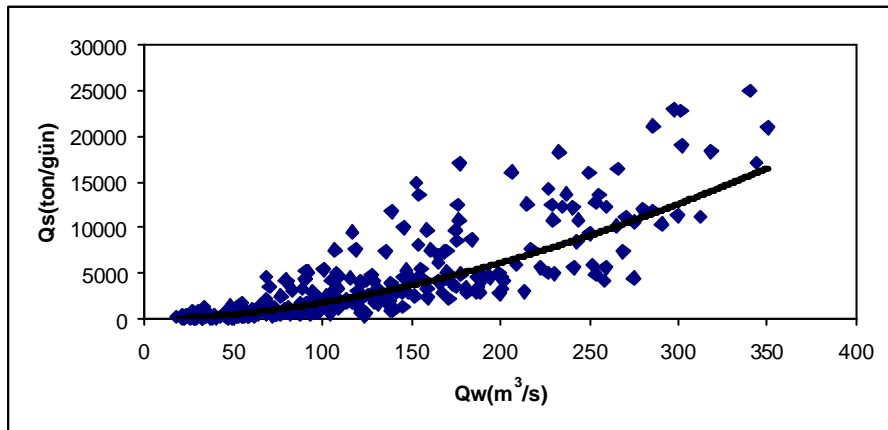
Tablo 2. Su debisi ile aski maddesi miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren bulanık yaklaşım kuralları. (A=az, O=orta, C=çok, Y=yüksek)

1. Eger($Q_w = CCA$) ise ($Q_s = CCA$)
2. Eger ($Q_w = CA$) ise ($Q_s = CA$)
3. Eger($Q_w = A$) ise ($Q_s = A$)
4. Eger($Q_w = AO$) ise ($Q_s = AO$)
5. Eger ($Q_w = O$) ise ($Q_s = O$)
6. Eger($Q_w = Y$) ise ($Q_s = Y$)
7. Eger($Q_w = OY$) ise ($Q_s = OY$)
8. Eger ($Q_w = CY$) ise ($Q_s = CY$)
9. Eger($Q_w = CCY$) ise ($Q_s = CCY$)

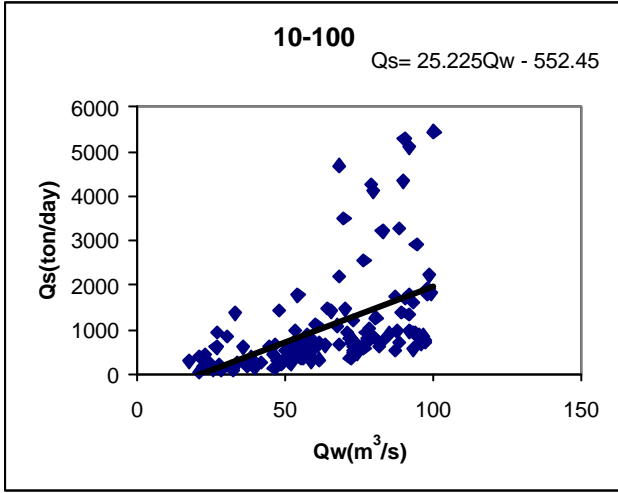
YSA modellemesine benzer şekilde girdi ve çıktı parametreleri olan su debisi ve aski maddesi miktarı iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup 277 veriden oluşmakta olup modelin kurulmasında kullanılmıştır. Kalan 79 veride ikinci grubu oluşturmaktadır ve oluşturulan modelin test edilmesinde kullanılmıştır. Test grubunun sonuçlarının performansı değerlendirildiğinde, sırasıyla OKH ve R^2 değerleri $5,55.E+06$ ve $0,794649$ olarak hesaplanmıştır.

4.2 Sugeno Metodunun Uygulanması ve Sonuçları

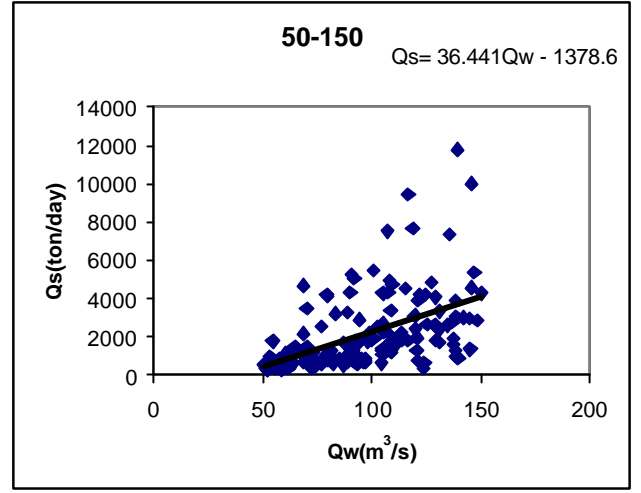
Bu yaklaşımda hesaplamalar her bir alt kümelerdeki matematiksel ilişkilere dayanmaktadır. Modelin oluşturulmasında kullanılan 277 girdi-çıkışı arasındaki değişim Şekil 3'de sunulmuştur. Bu çalışmada veri dağılımı göz önünde bulundurularak 6 adet alt küme oluşturulmuş ve her bir alt kümenin doğru denklemleri elde edilmiş ve bu alt kümelerin dağılımı Şekil 4a-f de verilmiştir.



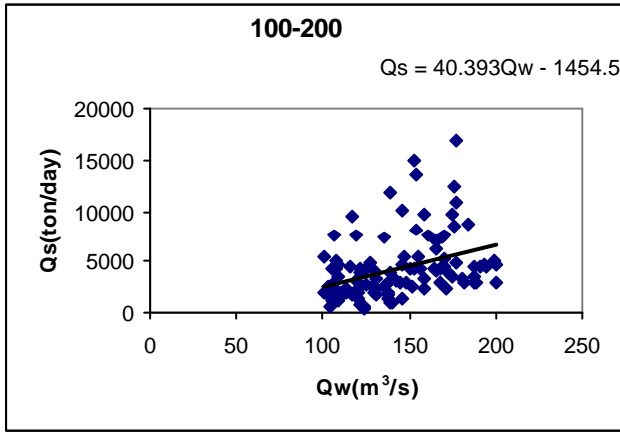
Şekil 3. Su debisi ile aski maddesi miktarı arasındaki ilişki



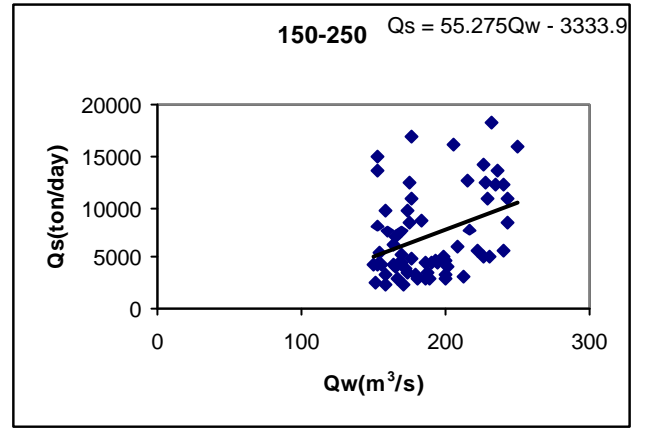
Sekil 4a. 10 -100 m³/s arasıdaki Qw deg.



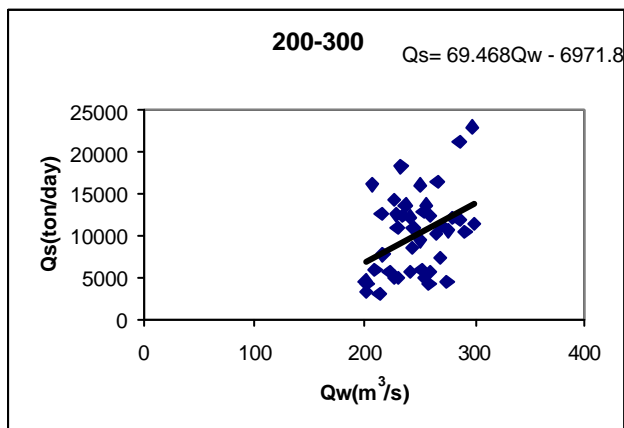
Sekil 4b. 50-150 m³/s arasıdaki Qw deg.



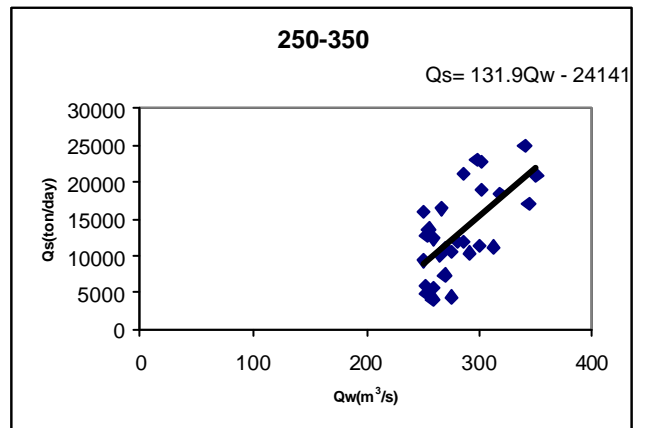
Sekil 4c. 100 -200 m³/s arasıdaki Qw deg.



Sekil 4d. 150 -250 m³/s arasıdaki Qw deg.



Sekil 4e. 200 -300 m³/s arasıdaki Qw deg.



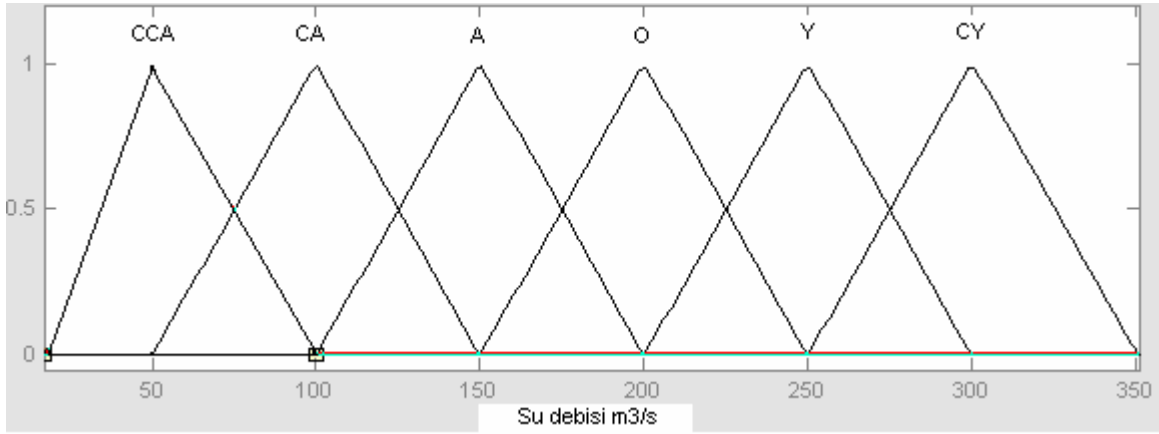
Sekil 4f. 250 -350 m³/s arasıdaki Qw deg.

Sekil 4a-f Su debisi degisimlerine göre alt kümelerin olusturulmasi

Tablo 3. Su debisi ile aski maddesi miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren bulanık yaklaşım kuralları. (A=az, O=orta, C=çok, Y=yüksek)

1. Eger (Qw is CCA) ise ($Q_s=25.225*Q_w-552.45$)
2. Eger (Qw is CA) ise ($Q_s=36.441*Q_w-1378.6$)
3. Eger (Qw is A) ise ($Q_s=40.393*Q_w-1454.5$)
4. Eger (Qw is O) ise ($Q_s=55.275*Q_w-3333.9$)
5. Eger (Qw is Y) ise ($Q_s=69.468*Q_w-6971.8$)
6. Eger (Qw is CY) ise ($Q_s=131.9*Q_w-24141$)

Mamdani yaklaşımından farklı olarak, Sugeno metodunda alt kümelerin kuralları girdi-çıkı arasında lineer ilişkiden faydalanılarak oluşturulmuştur. Bu alt kümelerin kural tanımlamaları Tablo 3’de gösterilmiştir. Girdiler için oluşturulan alt kümelerin üyelik fonksiyonları ile üyelik derecesi değişimleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Su debisinin alt kümelerinin üyelik fonksiyonları ve derecelerinin değişimi

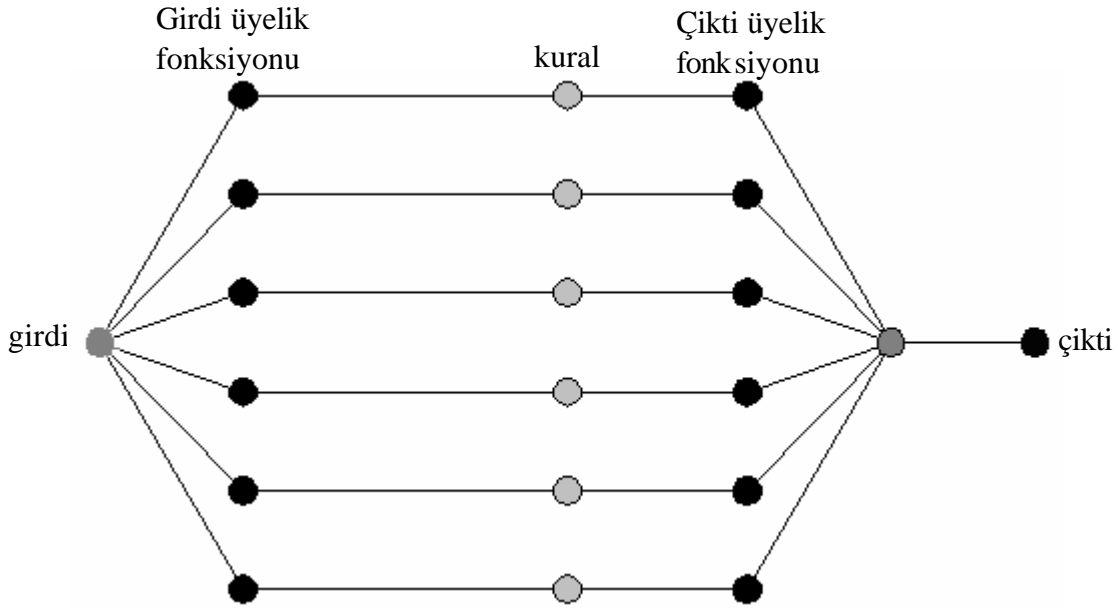
277 girdi-çıkı eğitimi ile kurulan modele 79 adet su debisine karşılık gelen aski maddesi miktarları tahmin edilmiştir. Tahminlerin performansları değerlendirildiğinde sırasıyla, OKH ve R^2 değerleri $5,08.E+06$ ve $0,810163$ olarak hesaplanmıştır.

Sugeno-BM yaklaşımı hesapsal olarak, Mamdani-BM yaklaşımından daha etkili sonuçlar vermektedir. Ayrıca Sugeno-BM yaklaşımı ile bulanık mantık modelinin oluşturulması, Mamdani-BM yöntemine göre daha kolaydır.

5 ASBS Modeli ile Askı Maddesi Miktarının Tahmin Edilmesi

ASBS modellenmesi yapısal açıdan Sugeno-BM modeline benzer. Sugeno-BM’den farklı olarak alt kümeleri kendi oluşturur, alt kümelere ait üyelik fonksiyonlarının aralıkları ile üyelik derecelerini ayarlayarak bulanık kuralların oluşturulmasını sağlar ve sonuç üretir. Bulanık mantık modeli kurallarının ASBS ile belirlenmesi, modelin kolay ve zaman almadan oluşturulması bakımından çok önemlidir [7, 8]. Bu çalışmada, girdi verileri için 6 adet üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir, buna karşılık gelen çıktı değerlerinin üyelik fonksiyonu sabit olarak alınmıştır. Kurulan modelde her bir girdi üyelik fonksiyonuna karşılık, çıktı üyelik fonksiyonu

gelecek sekilde 6 adet kural, program tarafından olusturulmustur. Olusturulan bu modelin yapisi Sekil 6'da verilmistir.



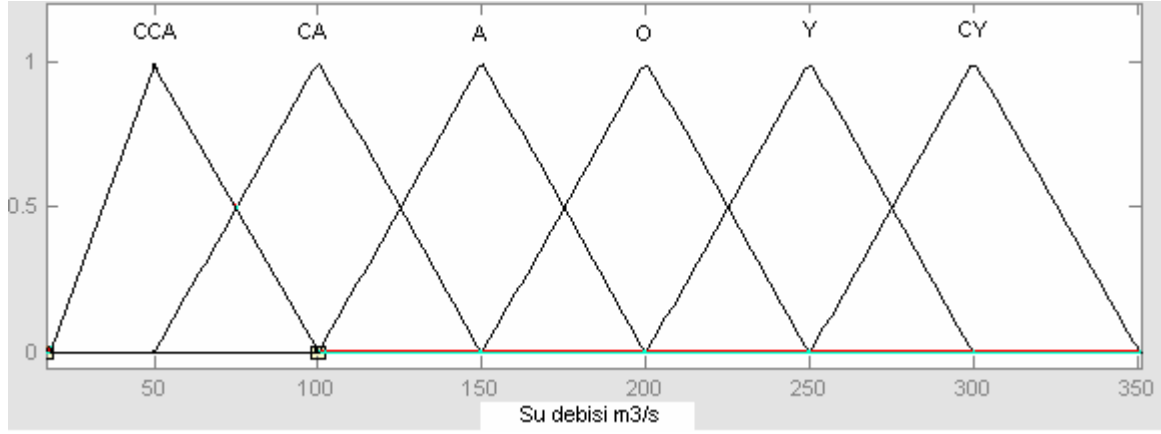
Sekil 6. ASBS model yapisi

5.1 ASBS Modelinin Uygulanmasi ve Sonuçlari

Bu çalışmada, üyelik fonksiyonu parametrelerinin güncellenmesi için hibrid öğrenme algoritması seçilmiştir. Eğitimin sona erdirilmesi için hata toleransı 0 alınmış, eğitim döngüsü ise 5 seçilmiştir. Bulanık çıktıları sayısal çıktılarına dönüştürmek için ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Modelin kendisinin ürettiği kural tanımlamaları Tablo 4'de gösterilmiştir. Girdiler için model tarafından oluşturulan alt kümelerin üyelik fonksiyonları ile üyelik derecesi değişimleri Sekil 7'de verilmistir.

Tablo 4. Su debisi ile aski maddesi miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren bulanık yaklaşım kuralları.

1. Eger ($Q_w = CCA$) ise ($Q_s=36.85$ ton/gün)
2. Eger ($Q_w = CA$) ise ($Q_s=1376$ ton/gün)
3. Eger ($Q_w = A$) ise ($Q_s=4932$ ton/gün)
4. Eger ($Q_w = O$) ise ($Q_s=7686$ ton/gün)
5. Eger ($Q_w = Y$) ise ($Q_s=12860$ ton/gün)
6. Eger ($Q_w = CY$) ise ($Q_s=22190$ ton/gün)



Sekil 7. Su debisinin alt kümelerinin üyelik fonksiyonlari ve derecelerinin degisimi

Kurulan ASBS modelinde, 79 adet test setinin içerdigi, su debisine karsilik gelen aski maddesi miktarlari tahmin edilmistir. Tahminlerin performanslari degerlendirildiginde sirasiyla, OKH ve R^2 degerleri $4.65 \text{ E}+06$ ve 0.819921 olarak hesaplanmistir.

Sonuçlar degerlendirildiginde, bu metodun diger esnek yöntemlerden daha iyi performans gösterdigi görülmektedir. Ayrica olusturulan modelin kendisinin bulanik mantik kurallarini atamasi dolayisiyla kullaniciya zaman kazandirarak hesaplamalarda kolaylik saglar.

6 Olusturulan Modellerin Performanslarinin Karsilastirilmesi ve Sonuçlar

Kurulan herhangi bir modelin, aski maddesi miktarı tahminindeki etkinligi ve uygulanabilirliginin performansinin degerlendirilmesinde tahmin hatalarının ortalamasının önemli olması kadar tahmin hatalarının dagilimi da önemlidir. Bu çalışmada performans degerlendirmesi için, global istatistiki yöntemlerden korelasyon katsayisi (R^2) ve ortalama karesel hata fonksiyonlari (OKH) kullanilmistir. Ancak bu yöntemler hatanın dagilimi hakkında herhangi bir bilgi vermemektedirler [7]. Bu nedenle bu çalışma için diger global metotlara ilaveten modelin performansini daha etkili degerlendirmek için ortalama mutlak hata (OMH) ve tutarlilik analizi (TA_x) yöntemleri kullanilmistir. Kurulan modellerin performanslarinin degerlendirilmesi Tablo 5’de verilmistir.

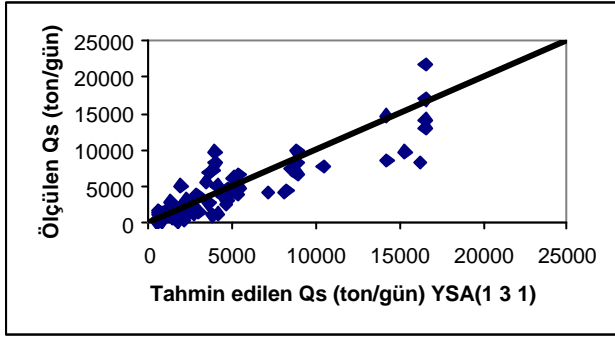
Tablo 5. Kurulan modellerin performanslarinin karsilastirilmesi

	YSA(1 3 1)	Mamdani	Sugeno	ASBS
OKH	4698500	5547300	5075200	4654200*
R^2	0.781	0.795	0.810	0.820*
OMH(%)	68.194*	76.198	78.579	75.534
TA_{10} (%)	13.924	13.924	16.456*	16.456*

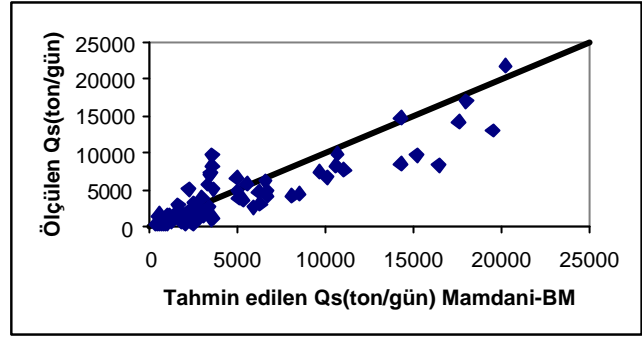
Not: En iyi sonuçlar ‘*’ isareti ile gösterilmistir.

Bütün kurulan modellerin performanslarinin birbirine yakin olduğu Tablo 5’den görülmektedir. Olusturulan bu esnek modeller arasında ölçülen aski maddesine miktarına en yokun sonucu veren yöntemin ASBS olduğu Tablo 5 ve Sekil 8a-d’den anlasilmaktadir. Kurulan bütün

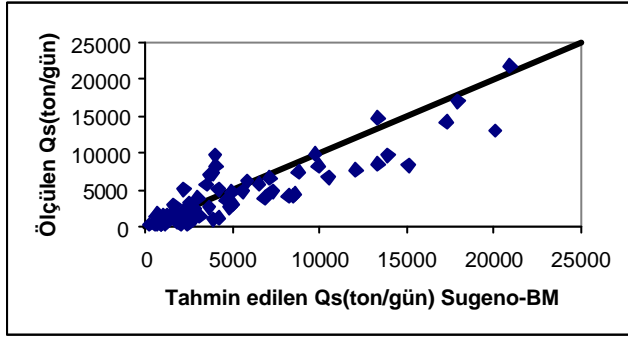
modellerde, ölçülen yüksek su debilerine karşılık oluşturulan aski maddesi tahminleri ölçülen aski maddesi tahminlerinin üzerinde olmaktadır. Bunun nedeni yüksek debilerde ölçülen aski maddesi miktarlarının günlük dağılım göstermesi ve bir kararlılık arz etmemesidir, bu durum Şekilde 3 de irdelenmiştir.



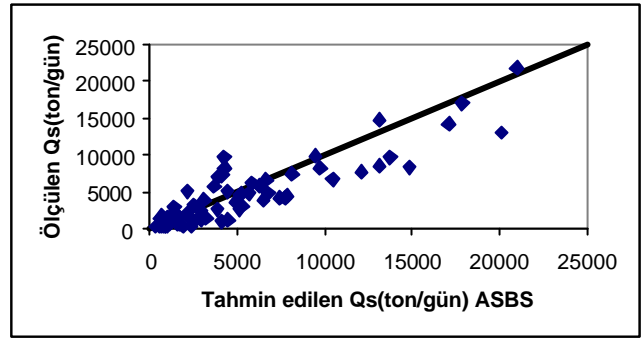
Sekil.8a YSA Qs ve ölçülen Qs



Sekil.8b Mamdani-BM Qs ve ölçülen Qs



Sekil.8c Sugeno-BM Qs ve ölçülen Qs



Sekil.8d ASBS Qs ve ölçülen Qs

Sekil 8a-d Ölçülen aski maddesi miktarlarının hesaplanan aski maddesi miktarları ile karşılaştırılması

7 Tartışma ve Öneriler

Bu çalışmada YSA, Mamdani-BM, Sugeno-BM ve ASBS esnek modelleme yöntemleri kullanılarak, Asağı Sakarya Nehrinde ölçülen su debisi ve aski maddesi miktarları arasındaki ilişki incelenmiştir. En uygun modelin test setlerinin performans derecelerine bakıldığında ASBS olduğu görülmüştür. Ayrıca ASBS metodunun diğer bahsedilen metotlara göre kurulmasının kolay olması ve zaman almaması diğer bir avantajı olarak ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında bir girdiye karşılık bir çıktı alındığına karşın ASBS'nin problemi insan mantığıyla kavrayıp iyi bir şekilde analiz etmesi ve sonuçlar vermesi hidrolojide diğer alanlara uygulanması açısından cesaret verici olduğu kaçınılmazdır.

References (Referanslar)

- [1]. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. (2000a). "Artificial neural networks in hydrology. I: Preliminary concepts." *J. Hydrologic Engrg.*, ASCE, 5(2),115–123.

- [2]. Jain, S.K. “Development of Integrated Sediment Rating Curves Using ANNs” *J. of Hydr. Engrg.*, ASCE 127(1), (2001), 30-37
- [3]. Cigiziolu K.H. “Suspended Sediment Estimation and Forecasting Using Artificial Neural Networks” *Turkish J.Eng.Env.* TÜBİTAK 26(2002), 15-25
- [4]. Cigiziolu K.H. “Suspended Sediment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves” *Turkish J.Eng.Env.* TÜBİTAK 26(2002), 27-36
- [5]. F. Öztürk, H. Apaydin, D.E. Walling, “Suspended Sediment Loads Through Flood Events for Streams of Sakarya Basin” *Turkish J.Eng.Env.* TÜBİTAK 25(2001), 643-650
- [6]. Z.Sen, A. Altunkaynak, “Fuzzy Awakening in Rainfall-Runoff Modelling” *Nordic Hydrology*, 35(1), (2003), 31-43
- [7]. P.C. Nayak, K.P. Sudheer, D.M. Rangan, K.S. Ramasastri, “A Neuro-Fuzzy Computing Tecnique for Modeling Hydrological Time Series” *J. of Hhdrology*, 291(2004), 52-66
- [8]. MATLAB® Documentation (2004) Neural Network Toolbox Help, Version 7.0, Release 14, The MathWorks, Inc.,