

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİLIRMAK NEHRİNDE DEBİ- SEDİMENT TAŞINIMI İLİŞKİSİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞERİF EKİNCİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Ramazan MERAL

BİNGÖL-2022

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİLIRMAK NEHRİNDE DEBİ- SEDİMENT TAŞINIMI İLİŞKİSİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞERİF EKİNCİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Ramazan MERAL

BİNGÖL-2022

ÖNSÖZ

Bu çalışmada kendisiyle çalıştığım için kendimi şanslı hissettiğim, iyi bir öğrenci-danışman ikilisi olduğumuza inandığım, bana bilgi ve birikimiyle yol gösteren ve her türlü desteği sağlayan danışmanım Prof. Dr. Ramazan MERAL hocama çok teşekkür ediyorum.

Değerli katkılarından dolayı jüri üyelerim Prof. Dr. Tahsin TONKAZ ve Doç. Dr. Şenol ÇELİK hocalarıma çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda duran ve bu hayattaki en büyük destekçim ve şansım olan, yüksek lisans yapma konusunda beni cesaretlendiren ve yapabileceğime inandıran, tezi yazma sürecinde de bana moral veren sevgili Ümmügülsüm AYDIN’a sonsuz teşekkür ederim.

Varlıklarıyla ve sevgileriyle beni mutlu eden tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen aile bireylerimin her birine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Son olarak bu günlerime gelmemi sağlayan ama bu günlerimi göremeyen, hala sevgisini ve desteğini kalbimde hissettiğim ve her zaman hissedeceğim, karşılıksız ve gerçek sevginin ruh bulmuş hali canımdan çok sevdiğim canım anneme, sevgi ve özlemle teşekkürlerin en büyüğünü borç bilirim.

Şerif EKİNCİ

Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Araştırma Alanı.....	15
3.1.2. Debi ve Sediment Verileri.....	15
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Debi Ölçümleri.....	17
3.2.2. Süspanse (Askı) Sediment Numunesinin Alınması.....	18
3.2.3. Sediment İçeriği Laboratuvar Çalışmaları.....	18
3.2.4. Sediment Anahtar Eğrisinin Çizilmesi.....	19
3.2.4.1. Regresyon Analiz Yöntemi.....	19
3.2.4.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
4.1. Debi ve Sediment Değerleri Tamamlayıcı İstatistikler.....	23

4.2. Regresyon Analiz Sonuçları.....	26
4.3. Yapay Sinir Ağları Sonuçları.....	35
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
ANFIS	: Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
HES	: Hidroelektrik Santrali
KHOK	: Karesel hatanın ortalama karekökü
NF	: Neuro-Fuzzy
MATLAB	: Matrix laboratory
MLR	: Çoklu doğrusal regresyon yöntemi
NSE	: NashSutcliffe Verimliliği
OMH	: Ortalama mutlak hata
r	: Korelasyon katsayısı
R ²	: Determinasyon katsayısı
RMSE	: Ortalama hata kareleri toplamı kökü
SPSS	: Statistics Package for the Social Sciences
SRC	: Sediment anahtar eğrisi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
YSA	: Yapay sinir ağları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Çalışma alanının Türkiye Haritası üzerindeki yeri	16
Şekil 3.2.	Çalışmada kullanılacak gözlem istasyonlarının Türkiye haritası üzerindeki yerleri.....	17
Şekil 3.3.	YSA modelinin tahmin süreci.....	20
Şekil 3.4.	İleri Beslemeli Kademeli Geri Yayılım Algoritması.....	21
Şekil 4.1.	Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve lineer model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	27
Şekil 4.2.	Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve logaritmik model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	27
Şekil 4.3.	Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	28
Şekil 4.4.	Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	28
Şekil 4.5.	Durucasu istasyonu ölçülen ve lineer model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	30
Şekil 4.6.	Durucasu istasyonu ölçülen ve üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	30
Şekil 4.7.	Durucasu istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	30
Şekil 4.8.	Fatlı istasyonu ölçülen ve lineer model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	32
Şekil 4.9.	Fatlı istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	32
Şekil 4.10.	Fatlı istasyonu ölçülen ve üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	32

Şekil 4.11. Gömelönü istasyonu ölçülen ve polinom 2 model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	34
Şekil 4.12. Gömelönü istasyonu ölçülen ve polinom 3 model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	34
Şekil 4.13. Gömelönü istasyonu ölçülen ve üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	34
Şekil 4.14. Gömelönü istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	35
Şekil 4.15. Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	36
Şekil 4.16. Durucasu istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	37
Şekil 4.17. Fatlı istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	38
Şekil 4.18. Gömelönü istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları.....	39

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Debi ve sediment değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik sonuçları	25
Tablo 4.2.	Çiçekbükü istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi...	26
Tablo 4.3.	Durucasu istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment.....	29
Tablo 4.4.	Fatlı istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi.....	31
Tablo 4.5.	Gömelönü istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi...	33
Tablo 4.6.	Tüm istasyonlara ait regresyon analiz yöntemi ve YSA özet tablosu.....	39

YEŞİLIRMAK NEHRİNDE DEBİ-SEDİMENT TAŞINIMI İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Akarsularda taşınan sediment miktarı havzada oluşan erozyonun somut bir ölçütü olup, diğer hidrolojik parametrelerle birlikte önemli ölçüde akarsu debisi ile ilişkilidir. Bu çalışmada Yeşilırmak nehrinde ölçüm yapılan debi ve sediment değerleri kullanılarak; regresyon analizi bazlı sediment anahtar eğrisi ve YSA modelleri geliştirilerek sediment değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Yeşilırmak havzası üzerindeki Durucasu, Fatlı, Gömelönü ve Çiçekbükü istasyonlarına ait EİEİ ve DSİ verileri kullanılmıştır. Öncelikle regresyon analiz yöntemi için bağımsız değişken olarak debi, bağımlı değişken olarak sediment değerleri alınarak en yüksek korelasyon (r) katsayısına sahip eşitlikler elde edilmiştir. Eşitlikleri test etmek için yine tüm ölçülen debi değerlerine karşılık sediment değerleri tahmin edilerek; ölçülmüş sediment değerleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci olarak ise Yapay sinir ağları yönteminde MATLAB yazılımı Neural Network Toolbox kullanılarak tek veya çift gizli katmanlar ve değişen sayıda nörona sahip farklı ağ topolojileri oluşturulmuştur. Girdi olarak akım değeri kullanılmıştır. Verilerin eğitim için %70'i ve test için %30'u kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak YSA modeli üretilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen modeller ile hesaplanan sediment değerleri ile ölçülen sediment değerleri arasındaki r ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Tüm istasyonlarda YSA yöntemi ile daha yüksek r değerleri elde edilmiş; hesaplanan değerler ile ölçülen değerler daha iyi örtüşme göstermiştir. Sadece Fatlı istasyonunda her iki yöntemle nispeten düşük r (YSA için 0,796; Regresyon için 0,363) değerleri elde edilmiştir. Diğer istasyonlarda YSA için 0,9 değerinin üzerinde Regresyon analizi içinse genel olarak 0,8 değerinin üzerinde r değerleri elde edilmiştir. Bu değerler istatistiksel açıdan güçlü ilişkiyi göstermekte olup sediment taşınımında modellerin kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak düşük debi değerleri için modellerin iyi bir örtüşme sağlamadığı sonucu görülmüştür. Ayrıca mevcut ölçülmüş veriler normal dağılım göstermediğinden hareketle gelecekteki değişken koşulları da temsil edebilmesi güç olacağı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak akarsularda sediment taşınımının sağlıklı bir şekilde izlenmesinin en geçerli yolu; gelişmiş teknolojiyi doğrudan ölçüm ve veri temini için kullanmaktır. Ancak sediment ölçümünün mümkün olmadığı durumda özellikle yapay sinir ağları yöntemiyle elde edilen tahmin modellerinin sediment izlemede yüksek potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Askıda katı madde yükü, korelasyon katsayısı, regresyon analiz yöntemi, sediment anahtar eğrisi, yapay sinir ağları.

DETERMINATION OF RELATIONSHIP BETWEEN DISCHARGE AND SEDIMENT TRANSPORTATION IN YEŞİLIRMAK RIVER

ABSTRACT

The amount of sediment carried in the rivers is a concrete measure of the erosion occurring in the basin, and together with other hydrological parameters, it is significantly related to the flow rate of the river. This situation has highlighted the strong relationship between flow and sediment for sediment monitoring purposes. By using the sediment key curves prepared for this purpose, it also allowed the sediment content to be determined with the help of flow values that are relatively easy to measure. In this study, using the flow and sediment values measured in Yeşilırmak river; It is aimed to predict sediment values by developing regression analysis based sediment key curve and ANN models. EIE and DSI data of Durucasu, Fatlı, Gömelönü and Çiçekbükü stations on the Yeşilırmak basin were used in the study. First of all, for the regression analysis method, the flow rate was taken as the independent variable and the sediment values were taken as the dependent variable, and the equations with the highest correlation coefficient were obtained. All available data were used to obtain equality. In order to test the equations, sediment values were obtained against all measured flow values; were compared with the measured sediment values. Secondly, in the artificial neural networks method, single or double hidden layers and different network topologies with varying numbers of neurons were created by using the MATLAB software Neural Network Toolbox. Current value is used as input. 70% of the data was used for training and 30% for testing. ANN model was produced using the obtained results. A comparison was made between the sediment values calculated with the models obtained by both methods and the measured sediment values, taking into account the r and Root Mean Error Squares (RMSE). Higher r values were obtained by ANN method at all stations; The calculated values and the measured values showed better overlap. Relatively low r values (0.796 for ANN; 0.363 for Regression) were obtained with both methods only at Fatlı station. At other stations, r values above 0.9 were obtained for A and above 0.8 for regression analysis in general. However, it was seen that the models did not provide a good overlap for low flow values. In addition, since the current measured data do not show a normal distribution, it is understood that it will be difficult to represent the variable conditions in the future. As a result, the most valid way to monitor sediment transport in rivers in a healthy way; is to use advanced technology for direct measurement and data supply. However, in cases where sediment measurement is not possible, it has been concluded that the prediction models obtained by artificial neural network method have a high potential in sediment monitoring

Keywords: Suspended solids load, correlation coefficient, regression analysis method, sediment key curve, artificial neural networks.

1. GİRİŞ

Ülkemizde artan nüfus hızına ve yaşanan salgın hastalıklara bağlı olarak tarım ürünlerine olan gereksinim de artış göstermektedir. Artan nüfusun beslenme ihtiyacının karşılanması, toprağın ve su kaynaklarının korunmasına bağlıdır. Toprak kaynaklarında artış olmazken mevcut toprakların erozyonla taşınımı, bozulması, tarım dışı kullanımı gibi nedenlerle kullanılabilirliği zamanla azalmaktadır. Aynı zamanda bilinçsiz yapılan tarımsal faaliyetler toprağın yapısını bozmakta olup, birim alandan alınan verimi düşürürken birim alana olan maliyeti arttırmaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle yağış rejimlerde meydana gelen değişimler beraberinde kuraklığı arttırmış olup, tarımsal üretimi sekteye uğrattırken, su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması gerekliliğini gözler önüne sermiştir. Ülkemiz su kaynaklarının yaklaşık %74'ünün tarımsal üretimde kullanıldığı bilinmekte olup, toprakla suyun doğru zamanda doğru miktarda buluşturup, topraklarımızın fazla sulanmasının önüne geçip, tarımsal verimi en üst seviyeye çıkarmamız gerekmektedir. Her bir damla suyun kıymetli olduğu günümüzde, boşa akıtılacak suyun milli servetimizden eksiliyor olacağı bilinci herkese aşılanmalıdır.

Dünyada önemli tarımsal sorunlardan biri erozyondur. Her yıl milyarlarca ton toprak su erozyonu ile taşınır. Tarım arazilerinden olan toprak kaybı ciddi bir ekonomik kayıptır. Taşınan sediment sonradan akarsu yatağında, göllerde ve rezervuarlarda birikirler ve temizlenmeleri de oldukça güç ve masraflıdır. Erozyon az veya çok hemen her yerde olabilir. Doğal erozyon sebebi ortadan kaldırılamaz; ancak bazı önlemlerle erozyon hızı azaltılabilir (Apan 2004).

Erozyon ve sedimantasyon sorununun incelenmesi ülkemiz açısından çok büyük önem taşımaktadır. Bir taraftan önemli topraklar sularla sürüklenip götürülürken arazi çoraklaşmakta, bitki örtüsü gitgide azalmakta ve meydana gelen durum aşınmayı daha da şiddetlendirmektedir. Toprağın verimli üst kısmının taşınmasıyla kaybolan bitki besin

elementleri ve organik maddenin geri toprağa kazandırılması çok zor ve pahalı olması yanısıra, ulaştığı akarsularda ciddi kirlilik problemleri meydana gelmektedir. Diğer taraftan sürüklenen kıymetli toprak baraj göllerinde, arazi göllerinde, doğal göllerde, denizlerde ve akarsuyun taşıma kapasitesinin azaldığı yerlerde çökmekte ve ikinci bir zarar meydana getirmektedir. Ülkemizde her yıl milyonlarca metre küp faydalı toprak bu şekilde sürüklenip giderken, denize yakın bölgelerde bataklıklar meydana gelmekte, doğal göllerde yığılmalar olmakta, baraj gölleri kısa zamanda dolarak fonksiyonlarını yapamaz duruma düşmektedir. Bir su depolama yapısının istenilen biçimde hizmet verebilmesi için stoplama havzasından her yıl ne kadar sedimentin taşınarak geleceğinin bilinmesi ve beklenen sediment miktarının dikkate alınarak boyutlandırılması gerekir (Meral 1997).

Ülkemizde akarsularda sediment ölçümleri büyük oranda su örneği alınarak filtrasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Uygulamadaki birtakım zorluklar yeni teknolojik gelişmeleri ve ampirik tahmin yöntemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu çalışma uzun yıllar yapılmış olan akarsu debisi ile sediment değerleri arasındaki ilişkilerin incelenerek daha sağlıklı sediment eğrisi ve tahmin eşitliklerinin elde edilmesini amaçlamıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnsanlık tarih boyunca medeniyetlerini hep suya yakın kurmuş ve suyu kontrol altına almayı her dönem denemişler ancak bu konuda her zaman başarılı oldukları söylenemez. Sanayi devrimiyle başlayan insanlığın hızlı yükselişi, birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Tarih kitaplarının hemen hemen her sayfasında okuduğumuz savaşlardan yorulmuş olan insanlık, sanayi devrimiyle birlikte artık doğayla da sonucu önceden belli olan amansız bir savaşa girmiştir.

Dünya üzerindeki suyun miktarının insanlığın yaşamı boyunca hemen hemen aynı olduğu varsayılmakla birlikte yeryüzünde yaşanan ve öngörülmesi önceden pek mümkün olmayan doğa olayları insanları dünya üzerindeki bu miktarı belli olan suyun kontrol altına alınmasını ve onu etkin bir şekilde kullanılmasını tarihin her döneminde pek de mümkün kılmamıştır. İnsanlık endüstri ve tarım alanında çok hızlı bir şekilde ilerleme sağlamıştır. Yaşanan bu hızlı gelişme doğayı hem nitel hem de nicel olarak tehdit etmektedir. İnsanoğlunun kendinden sonraki nesilleri düşünmeme konusundaki bencilliği beraberinde yaşanan olumsuz doğa olaylarını getirmiştir. Yaşanan bu olaylar karşısında insanlık ortak kararlar alıp su kaynaklarının etkin kullanılması konusunda hemfikir olmuştur ve ortak politika gütmüşlerdir (Falkenmark and Lundquvist 1992).

Su kirliliğinin ve kıtlığının önüne geçebilmek için hem bölgesel hem de küresel bazda sosyal, kültürel ve teknik önlemler alınmalıdır. Bu nedenle havza genelinde su kaynaklarının değerlendirilmesinin yapılması, sektörel olarak su dağılımının yapılması gereklidir. Tüm sektörler için devamlılığı olan su yönetim planlarının belirlenmesi gerekir. Endüstride, tarımda, şehirlerdeki kullanımın yanı sıra, çevresel etmenler içinde kullanılacak olan su miktarları göz önüne alınmalıdır. Bu süreçte sadece tatlı su kaynakları değil diğer kaynaklarda değerlendirilmelidir. Su kıtlığının ve sonuçlarının üstesinden gelebilmek için uğraşılırken, aynı zamanda küresel ısınmanın önüne geçilebilir. Eğer iyi

bir toplum bilinci oluşturulur, tam kapsamlı bir su yönetimi politikası hazırlanır ve paydaşlarla iş birliği yapılırsa tüm bunlar başarılabilir (Konukçu ve ark. 2007).

Son dönemlerde hissedilen iklim değişiklikleriyle birlikte suyun önemi daha da artmıştır. Bu konuda Tarım ve Orman Bakanlığı ilgili tüm paydaşları toplayarak birçok ilde su ve iklim değişikliğiyle alakalı paydaşların fikirlerini almaktadır. Su kıtlığı çeken ülkelerden biri olan ülkemizin geleceği hakkında önemli kararlar alınmakta olup Su Kanunu hakkında ilk adımlar atılmaktadır.

Yerkürenin yüzeyinin dörtte üçü sularla kaplıdır ancak, insanoğlunun kullanabileceği tatlı su miktarı çok azdır. Dünya üzerindeki tatlı su toplam suyun yaklaşık %2,5'i kadar yani 35 milyon km³'tür. Hal böyleyken bu suyun yalnızca %0,3 yani 105.000 km³'ü insanların kullanımına uygun tatlı su kaynaklarını kapsamaktadır. Geriye kalan büyük kısım ise insanların ulaşımına elverişli olmayan, dağların yüksek kısımlarında, kutuplardaki buzullarda ve yeraltındaki rezervlerde bulunmaktadır (Birleşmiş Milletler Su İstatistikleri 2003).

Ulaşılabilir kullanılabilir su miktarı bu kadar azken suyun önemi bir kez daha ortaya çıkıyor. Dünya nüfusundaki artış da düşünülürse bu kadar az olan bir şey her geçen gün daha da kıymetlenecektir.

Tatlı su kaynaklarının yaklaşık üçte ikisi yani 70.000 km³'ü tarımsal sulamada kullanılmaktadır. İnsanların kullanabileceği suyun miktarını arttırabilmek için, suyun kullanımını daha etkin ve sürdürülebilir şekilde yapmak gerekir. Tarımsal sulamadaki su kaçaklarını engelleyip randımanı %10 arttırabilsek, bu oran konutlardaki kullanılan suyun miktarını yaklaşık iki katı kadar arttıracaktır (Shiklomanov 1990).

Bu durumda ülkemizde ve dünyada salma sulama ile yapılan tarımsal faaliyetlerin miktarını olabildiğince azaltıp, sulama randımanı yaklaşık %80-90'larda olduğu bilinen basınçlı sulama sistemlerine bir an evvel geçilmeli su tasarrufu sağlanmalıdır. Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı'nın basınçlı sulama sistemlerine olan destekleri her geçen gün artmaktadır.

Ülkemizin iklimi yarı kurak iklim özelliği taşımaktadır. Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili bir yarımadadır. Yarımada üzerinde dağlar kıyılar boyunca uzanır ve yükseltiler ülkemizin batısından doğuya doğru gidildikçe artar. Tüm bu sebepler ve kıyıya olan uzaklık nedeniyle yağış, sıcaklık ve rüzgarlar zamana ve bölgelere göre farklılıklar gösterir. Ülkemizde uzun yıllar boyunca meydana gelmiş yağış ortalaması yıllık 574 mm kadardır. Ülkemizin en çok yağış alan bölgesi 1200-2500 mm/yıl ile Doğu Karadeniz Bölgesidir. En az yağış alan bölge 250-300 mm/yıl ile İç Anadolu Bölgesinin Tuz Gölü ve çevresi kısmıdır. Ülkemizde Güney Ege ve Akdeniz Bölgesinin kıyı kısımları hariç tüm bölgelerinde kar yağışı meydana gelir. Ülkemizin yüz ölçümüne baktığımızda 78 milyon hektardır. Tarım ve Orman Bakanlığı ve TÜİK verilerine bakınca 24 milyon hektarı tarım arazisi olarak hâlihazırda kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda ülkemizin su potansiyeline bakınca bu alanın 8,5 milyon hektarı kadar sulanabilecektir. 2020 yılının başına kadar toplam tarım arazisinin 6,65 milyon hektarı sulamaya açılmıştır. Bu alanın ise 4,36 milyon hektarı DSİ tarafından yapılmış olan modern sulama şebekesi tarafından sulanabilmektedir. Bu miktarın artırılması ülkemiz su kaynaklarının kullanımı açısından çok önemlidir. Yukarıda da bahsedildiği üzere ülkemizin yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm'dir Bu da 450 milyar m³ suya denk gelmektedir. Ülkemizin çeşitli maksatlar için tüketebileceği yıllık yerüstü suyu miktarı 94 milyar m³'tür. Yeraltı suyu miktarı da 18 milyar m³'e tekabül etmektedir. Yani ülkemizin toplam su potansiyeli yılda 112 milyar m³'tür. Bu miktarında 57 milyar m³'ü kullanılmaktadır. Ülkemize kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı yıldan yıla düşüş yönü göstermektedir. 2000 yılında kişi başına yıllık 1652 m³ kullanılabilir su düşerken, 2009 yılında 108 m³ düşüşle 1544 olmuştur, 2020 yılında ise bu miktar daha da azalmış 1346 m³'e kadar düşmüştür. Tüm bu değerler göz önüne alındığında ülkemiz su baskısı yaşayan ülkeler arasındadır. Ülkemizin su kaynakları iyi değerlendirilmeli, var olan suyun optimum ve tasarruflu kullanılması gerekmektedir. Su depolamalı tesisler yapıp, suyun çok amaçlı kullanılmasına yönelik planlamalar yapılmalıdır. Tarımsal işletmelerde suyun etkin verimli kullanılması için eski usul yöntemlerin terk edilip, modern kapalı sulama sistemlerinin kullanılması gerekmektedir (DSİ).

Ülkemiz yıllık su potansiyelinin %74'ü tarımsal sulamada, %13'ü içme ve kullanmada ve yine %13'ü sanayide kullanılmaktadır. Kullanılan suyun %71,4'ü yerüstü sularından

karşılırırken geriye kalan %28,6'lık kısım ise yeraltı sularından karşılanmaktadır (11.Kalkınma Planı 2019).

Yukarıdaki veriler ışığında tarımsal sulamada kullanılan suyun ciddi boyutlarda olduğu görölmektedir. Tarımsal sulamanın randımanının arttırılması, etkin sulama yöntemlerinin seçilmesi ve su kayıplarının önüne geçilmesi çok önemlidir.

Oluştuduğı yerden çökeldiğı yere kadar su ile taşınan katı maddelere sediment adı verilmektedir. Sedimentler suda asılı şekilde veya su tabanında sürüntü malzemesi şeklinde taşınan alüvyon malzemeleri kapsamaktadır. Sedimentasyon, suda askı halde bulunan maddelerin yerçekimi kuvvetiyle çökeliş toplanmasıdır (DSİ Hidroloji Sözlüğü 2015).

Erozyon sonucu oluşan katı materyal parçacıklarına sediment denilmektedir. Akarsularda taşınan yıllık ortalama sediment miktarının, havzanın birim alanına indirgenmesiyle havza sediment verimi bulunmaktadır. Sediment verimine havzalarda birçok faktör etkili olmaktadır. Havzaların yüzölçümü büyüklüğü bu faktörlerden en başta gelenidir. A.B.D.'deki 1096 tane ölçümden ulaşılan verilere göre, havzanın yüzölçümü büyüdükçe sediment verimine ters yönde etki edip, sediment verimini azaltmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen veriye göre alanı 26 km²'den küçük olan 650 havzanın ortalama sediment verimi 1810 m³/km²/yıl'dır. Yine alanı 2600 km²'den büyük olan 118 havzanın sediment verimi 238 m³/km²/yıl olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi 26 km²'den küçük olan havzaların sediment verimi, 2600 km²'den büyük olan büyük olan havzaların veriminin 7 katından fazladır (Gottschalk 1964).

Benzer sonuçlar ülkemizdeki akarsu havzalarında da bulunmuştur. 20 km² 'den küçük alanlı havzalarda sediment verimi 2200 m³/km²/yıl iken 2500 km²'den büyük alanlı havzalarda 350 m³/km²/yıl şeklinde bir sonuç elde edilmiştir (Ulugür 1972).

Verimli toprakların erozyon sonucu nehirler tarafından taşınması, tarım arazilerinin çoraklaşmasına ve düzleşmesine sebep olur. Havzalarda alınacak önlemlerin önceden belirlenebilmesi için havzada meydana gelen toprak kayıplarının bilinmesi gerekir. Erozyonu kontrol altına almak için erozyonla taşınan katı madde miktarının zamansal dağılımını bilmekte fayda vardır (Simons ve Şentürk 1992).

Ülkemiz, topraklarını erozyonla kaybeden ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Fırat nehri Nil nehrinin yaklaşık dörtte biri kadar havza alanına sahip olmasına rağmen neredeyse Nil Nehri kadar sediment taşımaktadır. Aynı şekilde Seyhan Nehri Po ve Obi Nehirlerinden fazla, Büyük Menderes Nehri ise Yenisey Nehri kadar katı madde taşımaktadırlar. Ülkemizden birim alandan taşınan sediment miktarı Afrika kıtasından 22 kat, Kuzey Amerika'dan altı kat ve Avrupa kıtasından 17 kat fazladır. Ayrıca Avrupa'da bir yılda taşınan sediment miktarı ülkemizdekinden daha azdır (Berkün 2005).

Akarsularda taşınan katı maddelerin belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar birisi direkt nehirlerde yapılan doğrudan ölçümlerdir. Diğer yöntemler ise esnek modelleme yöntemleri, sediment anahtar eğrisi ve ampirik eşitlerdir. Doğrudan nehirlerde yapılan ölçümler sağlıklı sonuçlar verirler ancak hem pahalı ve hem de ölçümler çok zahmetlidir (Seçkin vd. 2018).

Süspanse sediment yükünün doğru bir şekilde belirlenmesi için özel aletler ve örnek alma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla örnek almaya yarayan aletler nokta integrasyon veya derinlik integrasyon örnek alıcılar olarak planlanır. Nokta integrasyon; akış içerisinde bir düşey boyunca birçok noktadan şişelere su örneği alınarak ortalama sediment konsantrasyonunun belirlenmesidir. Derinlik integrasyon yönteminde ise su yüzeyinden tabana doğru sabit bir hızla indirilen örnek şişeleri aynı hızla geri su yüzeyine çıkarılmaktadır. Bu süreçte alınan su örneğindeki sediment konsantrasyonu, örnek alınan düşeydeki ortalama konsantrasyonu ifade etmektedir (ASCE, 1975). Bu yöntemlerle örnek alma sırasında en önemli konu, örnek şişesine olan akışın akarsudaki akışa benzer şekilde gerçekleştirilmesi zorluğudur. Örnek şişesi içerisine hava sıkışması, şişe ağzına suyun girmesi sırasında katmanlar arası türbülans oluşması, kesiti temsil edecek düşeylerin belirlenmesi zorluğu yöntemin başlıca dezavantajlarıdır. Ayrıca toplanan örneklerde laboratuvarında filtrasyon veya buharlaştırma yöntemiyle sediment tayini zaman alıcı bir işlemdir. Küçük taneli sediment içeren sularda filtrasyonda gözeneklerin tıkanması da işlemin uzun sürmesine neden olmaktadır. Akarsudaki sediment yükü zaman ve yere bağlı olarak değişim göstermesi bu yöntemin kullanımını daha da güçleştirmektedir. Son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte süspanse sediment ölçümlerinde farklı aletler kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar arasında zaman ve alansal bazlı ölçüm yapabilen akustik aletleri önemli bir yer tutmaktadır (Koçtaschuk and Villard 1996; Thorne and Hanes 2002).

Akarsularda taşınan sediment miktarını bulabilmek için akıdaki sediment konsantrasyonunun belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle nehirlerden belirli aralıklarla ve farklı su düzeylerinden alınan numunelerin laboratuvarda analizi yapılarak akıdaki sediment miktarı bulunmaktadır. Değişen debi seviyelerine karşılık gelen sediment miktarı bulunur ve nehir için sediment anahtar eğrisi hesaplanır. Oluşturulan sediment anahtar eğrileri yardımıyla, akımlara karşılık gelen akıdaki katı madde miktarları bulunmaktadır (Demirkıran 1997).

Asselman (2000) ampirik eşitliklerin süspanse sediment veriminin tahmininde kullanılmasının oldukça güç olduğunu, bunun yerine sediment anahtar eğrilerinin kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmektedir. Özellikle debi değerlerinin sürekli elde edilebildiği ancak sediment taşınımının ölçülmediği durumlarda bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak gerek analitik eşitliklerin gerekse sediment anahtar eğrilerinin geliştirilmesi, tahmin modellerinin veya bilgisayar paket programlarının kullanılabilirliğinin sağlanması için süspanse sediment ölçümlerinin yeterli sıklık ve doğrulukta ölçülmesi gerekmektedir (Glyson 1987, Gonzolez ve Cordova 1997, Öztürk 1996, Ferguson 1986).

Nehirlerde taşınan katı madde miktarlarının analitik yöntemlerle hesaplanması oldukça zordur. Çünkü katı madde taşınımı etkileyen birçok etmen vardır. Bunların başlıcaları klimatolojik, jeolojik ve topoğrafik faktörlerdir. Bu faktörlerin hem birbirleriyle olan ilişkileri çok fazladır hem de oldukça karmaşıktır. Hal böyleyken sediment taşınımını bulabilmek için birbirinden farklı birçok tahmin yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerin güvenilirliğinin artırılması için oldukça uzun süreli ölçüm sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmelidir (Miller 1951).

Akarsu içerisindeki sediment miktarının belirlenmesinde en doğru bilgiler direkt ölçüm teknikleriyle belirlenmektedir. Fakat ölçümlerin hem zaman alması hem de maliyet açısından masraflı olması gibi sebeplerle katı maddeler çok az ölçülebilmektedirler. Ayrıca ölçümlerle elde edilen kısa süreli verilerin uzatılması için de ayrıca bir hesap metodunun kullanılması zorunlu olmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı birçok araştırmacı katı madde tahminini geliştirmek amacıyla geçerli olabilecek yollar aramaya yönelmişlerdir. Katı madde anahtar eğrisi nehirlerin herhangi bir kontrol kesitindeki debi ile katı madde

değişimi arasındaki bağlantıyı tahmin etmek için genel bir uygulama olmuştur. Ancak debi ve katı madde arasında her zaman doğrusal tek tip bir ilişki bulunmamaktadır. Akarsuyun akışının yükseldiği zamandaki katı madde miktarıyla aynı akışın düşen seviyelerindeki katı madde miktarı aynı değildir. Yükselen seviyedeki akışın katı madde miktarı düşen seviyedeki akışın katı madde miktarından oldukça çok olabilir. Böyle durumlarda katı madde ve akış arasında lineer ve bire-bir ilişki olmadığından dolayı, anahtar eğrileri yöntemi yetersiz kalmaktadır. Ayrıca akarsuyun herhangi bir zamanda taşıdığı katı madde miktarı sadece o andaki şartlara değil, geçmiş hidrolojik değişkenlere de bağlıdır. Örneğin debiye bağlı olarak yapılan sediment tahmininde geçmiş debilerin de dikkate alınması daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu gecikmiş etkiler anahtar eğri tahminlerine yansımamaktadır. Bahsedilen akış-katı madde arasındaki hidrolik olgunun açıklanabilmesi birçok parametreye bağlı olduğundan problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Günümüzde karmaşık ve doğrusal olmayan bu gibi olayların çözümünde yapay zeka tekniklerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemler veri kümesine bağlı olarak istenen sonuçları öğrenme yoluyla elde etmektedir. Regresyon analizi ve ampirik yöntemlerin yaygın olarak kullanılan modeller olmalarına rağmen bunların çoğu özelliğini taşıyan yapay zeka yöntemlerinin en büyük avantajlarından biri, başlangıçta verilerle ilgili birtakım kabullere gerek duymamasıdır. Bir başka en büyük üstünlüklerinden biri ise çok esnek yapıya sahip olmaları ve doğrusal olmayan, karmaşık olayları da modelleyebilmeleridir (Kişi 2008).

Horowitz (2003) sediment anahtar eğrisinin elde edilmesinde kullanılan verilerin daha uzun sürelerle sahip olması ve fazla veri ile elde edilmesi durumunda daha sağlıklı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Achite and Ouillon (2007) sediment anahtar eğrisiyle elde etmiş olduğu sediment değerlerinin, ölçülen değerlere göre %20-25 oranında yüksek olduğunu belirtmiştir.

Rodríguez-Blanco et al. (2010) ispanyada yapmış olduğu çalışmada mevsimlik, aylık ve yıllık ölçeklerde sediment eğrisi elde etmiştir. Çalışmada dönemsel eğrilerin kullanılması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Ghadim et al (2018) ve Kao et al (2005) sediment eğrisinin etkinliğini artırmak için beta katsayısı yöntemini önermişlerdir. Söz konusu çalışmalar, geleneksel sediment eğrisinin debiye bağlı gösterdiği eğim kırılması dikkate alınarak iki parçalı eğriye dönüştürülmesine dayanmaktadır. Son yıllarda, girdi ve çıktı parametreleri arasındaki karmaşık ilişkileri inceleyen yapay sinir ağları (YSA) yöntemi akarsularda sediment taşınımı tahmininde de yaygınlıkla kullanılmıştır.

Cıgızoğlu (2000) İngiltere’de yaptığı çalışmada YSA ve sediment anahtar eğrilerini kullanarak iki farklı nehirde çalışma yapmıştır. Akım ve sediment verilerinin noksanlığında yakındaki bir nehirden, akım ve sediment değerlerini kullanarak doğru sonuçlara ulaşmanın mümkün olduğunu göstermiştir. YSA'larda elde edilen sonucun klasik yöntem olan sediment anahtar eğrilerinden daha iyi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca YSA tekniğinde, sediment anahtar eğrilerinde ulaşılması imkânsız olan (Örneğin; çökelti konsantrasyonu) verilere de ulaşılabilceği görülmüştür.

Fırat ve Güngör (2004) Büyük Menderes Havzasında elde edilmiş verileri kullanarak, yaptıkları çalışmada sadece akarsu debisini referans alarak, sediment miktarı ve sediment konsantrasyonu YSA modeli kullanarak hesaplanmışlar ve iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmada YSA yönteminin regresyon analiz sonuçlarından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Baykal ve Terzi (2012) Kızılırmak nehri akım değerlerini kullanarak yaptıkları çalışmada YSA yönteminin katı madde tahmininde kullanılabileceği ve başarılı olabileceğini ortaya koymuşlardır. Çeşitli sebeplerle oluşan verilerdeki noksanlıkların yine bu yöntemle elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Zhu, Lu and Zhou (2007) Longchuanjiang havzasında askıdaki katı madde tahmini için ortalama yağış, sıcaklık, yağış yoğunluğu ve su deşarjı verilerini kullanmışlardır. Değişkenler doğru seçildiğinde ve değişkenlere sediment akışı üzerindeki gecikme etkileri dahil edildiğinde YSA yönteminin gayet başarılı olduğu görülmüştür. Bu çalışma havzadaki arazi kullanımı ve havza örtüsünün inceleme dönemi boyunca değişmediği varsayımı altında oluşturulmuştur. Çünkü arazi kullanımı ve havza örtüsü sediment oluşumunda önemli bir etkidir.

Güven ve Akdoğan (2016) Göksu Nehri'nde yaptıkları çalışmada akım, sediment miktarı ve sediment konsantrasyonu değerlerini girdi olarak kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada dört farklı regresyon modelini esas almışlardır. YSA modeli diğer regresyon modellerine göre daha güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

Yitian and Gu (2003) Jingjiang'a ve Dongting Gölü'nde denedikleri YSA modelinin, birbirine bağlı göl ve nehir sistemlerinde akım ve askıda katı madde süreçlerini tanımlayabilmede olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. YSA modelinin basit olması sel gibi ani değişimlerde gerçek zamanlı ve pratik tahminler yapmaya olanak sağlamıştır.

Kişİ vd. (2012) ABD' de bulunan Rio Valenciano ve Quebrada Blanca istasyonlarından alınan akım ve askıdaki katı madde değerlerini kullanarak, Yapay Sinir Ağları ve Yapay Arı Kolonisi modellerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçları, daha önce yapılmış olan diferansiyel evrim algoritması, adaptive neuro-fuzzy, neural-network ve sediment anahtar eğrileri kıyas için kullanılmıştır (Kisi 2005, 2010). Araştırmada logaritmik dönüşümün kullanılması çalışmanın doğruluğunda etkili olduğu belirtilmiştir.

Van Maanen et al. (2010) Egmond aan Zee'de (Hollanda) askıdaki katı madde verilerini toplama ve analizi üzerine arazi deneyleri yaptılar. Yaptıkları çalışmada YSA modelinin öngörü yeteneğinin çalışmalarda etkili olabileceği sonucuna varmışlardır.

Yang et al. (2009) yaptıkları çalışmada nehirlerdeki askıdaki katı madde miktarının tahmini için YSA modeli kullanmışlardır. Sağlıklı sonuçların alınabilmesi için çalışmada 250 adet örnek kullanılmıştır. YSA modelini doğrulamak için ise 76 tane örnek kullanılmıştır. YSA modelinin geliştirilmesi için minimum 3 parametre (akış hızı, yüzey eğimi ve ortalama su derinliği) kullanılmıştır. YSA modeli askıdaki katı madde verilerinin yokluğunda toplam yatak malzemesi yükünün tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Raghuwanshi et al. (2006) Hindistan'ın Nagwan havzasında haftalık ve günlük askıdaki katı madde, akış, yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak bir YSA tahmin modeli geliştirmişlerdir. Yine aynı verilerle doğrusal regresyon tahmin modeli üzerinde de çalışma yapmışlardır. Yapılan tüm çalışmalarda YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca YSA modeli ile yapılan denemelerde yalnızca yağışın kullanıldığı

modele göre yağış ve sıcaklığın kullanıldığı çalışmalarda daha etkin başarı elde edildiği belirtilmiştir.

Riad et al. (2004) Fas'ta yarı kurak iklimde bulunan Ourika havzasındaki yağış-akış ilişkisini belirlemek için bir YSA modeli ile çalışma yaptılar. YSA modelinin geleneksel modellere göre daha kullanışlı ve doğru sonuçlar veren bir uygulama olduğunu savunmuşlardır. YSA modelinin yağış rejimlerinin düzensiz olduğu yarı kurak-kurak bölgelerde yağış-akış ilişkisinin belirlenmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca YSA modelleme yönteminin regresyon modeline göre nehir akışını tahmin etme konusunda daha başarılı olduğu söylenmiştir. YSA modelini su kaynakları yönetimindeki ve çalışmalarındaki karşılaşılan sorunların çözümünde de başarıyla kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Tayfur (2002) yapmış olduğu çalışmada sediment yükünü bulabilmek için yağış ve yüzey eğimini YSA'ları eğitmek için kullanmıştır. YSA'ların bazı durumlarda diğer fiziksel tabanlı uygulamalara göre daha iyi sonuçlar verebileceğini söylemiştir. Fiziksel tabanlı modeller için gerekli olan bazı verilerin pratikte nadiren mevcut olacağını söylemiş ve bu sorunlar düşünüldüğünde YSA'ların sediment taşıma süreçlerini incelemede daha pratik olduğunu vurgulamıştır.

Ghorbani et al. (2013) ABD'nin Colorado ve New Mexcico olan Rio Grande'nin yan nehri olan Rio Chama'nın askıdaki sediment miktarını belirlemek için Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) ve Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi (MLR) ve iki yapay akıllı model Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Neuro-Fuzzy (NF) uygulanmıştır. Modellerin sonuçlarını kıyaslayabilmek için belirleme katsayıları (R^2), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) ve NashSutcliffe Verimliliği (NSE) kullanılmıştır. Yapay akıllı modellerin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenmiştir. Ayrıca akış ve sediment girdileriyle yapılan çalışmaların sonuçlarının yalnızca akış girdisiyle yapılan çalışmalardan daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Terzi ve Baykal (2012) Sivas'ın İmranlı ilçesinde doğan Türkiye'nin en uzun nehri olan Kızılırmak nehrinde bir çalışma yaptılar. Bu çalışmada akım değerlerini girdi olarak kullanarak bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada Kızılırmak nehrinin Yamula (1501

nolu) istasyonuna ait 1973-2003 yıllarına ait sediment ve akım değerleri kullanılmıştır. 1973-1997 yılları arasında akım değerleri modellerin eğitimi için 1998-2003 yılları arasındaki akım değerlerini ise test amacıyla kullanmışlardır. YSA modelinin akım değeri girilerek sediment değerini tahmin etmek için kullanılabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca eksik olan verilerin YSA modeli kullanılarak tamamlanabileceğini vurgulamışlardır.

Ülke (2010) Ege bölgesinde bulunan Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes nehirleri üzerinde bulunan dört istasyon için askıdaki katı madde gözlemlerinden faydalanarak askıdaki katı madde yükünü tahmin edebilmek için modeller geliştirmişlerdir. Çalışmada yapay zeka yöntemleri, regresyon, sediment anahtar eğrisi ve ile ampirik yaklaşımlar denenmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda ülkemizde sıklıkla kullanılan sediment anahtar eğrisi yönteminin tahminlerinin çok doğru olmadığı söylenmiştir. Yapay zeka yöntemlerinin sonuçlarının uygulanan diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu söylenmiştir. Ayrıca yağış değerinin girdi olarak kullanılması modellerin başarısını hissedilir derecede artırdığı vurgulanmıştır.

Yılmaz ve Aras (2016) tarafından yapılan çalışmada Çoruh nehri havzası İnanlı, Altınsu ve Karşıköy istasyonları için yapay sinir ağları, regresyon analizi ve sediment anahtar modelleri denenmiştir. Modeller arasında doğru kıyaslama yapabilmek için değerlendirme ölçütü olarak Ortalama Mutlak Hata (OMH), Karesel Hatanın Ortalama Karekökü (KHOK) ve determinasyon katsayısı (R^2) kullanmışlardır. Yapılan kıyaslamaların sonucunda en iyi tahminleri yapay sinir ağlarının yaptığı belirtilmiştir. Ayrıca en kötü tahminlerin sediment anahtar eğrisi tarafından yapıldığı belirtilmiştir. Nehirlerin herhangi bir t zamanında naklettiği katı madde miktarının sadece o andaki hidrolojik şartlarla değil (t-1) zamanlı gecikmiş etkilerle de ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sediment anahtar eğrisi tahmin yönteminde sadece t anındaki veriler dikkate alınıp (t-1) zamanlı gecikmiş etkenlerin etkisi dikkate alınmadığından dolayı tüm istasyonlarda yeterli başarı elde edilemediği belirtilmiştir. Ayrıca taşkın zararlarının önlenmesi için geleneksel yöntemlere göre çok daha başarılı bir yöntem geliştirildiği vurgulanmıştır.

Doğan (2009) yaptığı çalışmada bağımlı değişken olarak kullandığı toplam katı madde konsantrasyonu ile bağımsız değişken olarak kullandığı akım debisi, yatak eğimi ve katı madde dane çapı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için bir model oluşturmuştur.

Çalışmaları esnasında yapay sinir ağları modelinde kullanmak üzere 60 adet deney verisi kullanmıştır. Bu modelin sonuçları ile bazı katı madde taşınım denklemlerini kıyaslamış ve yapay sinir ağları yönteminin daha doğru tahminler yaptığı belirtilmiştir.

İncelenen literatürler dikkate alınarak bu çalışmada Yeşilırmak nehrinde ölçümü yapılmış olan debi ve sediment değerleri kullanılarak; farklı regresyon modelleri ile sediment anahtar eğrilerinin elde edilmesi ve YSA modelleri geliştirilmesi hedeflenmiştir. Böylece sediment ölçümünün her zaman mümkün olmadığı durumlarda nispeten ölçümü daha kolay olan debi değerleri yardımıyla sediment konsantrasyonun ve taşınımının miktarının izlenmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

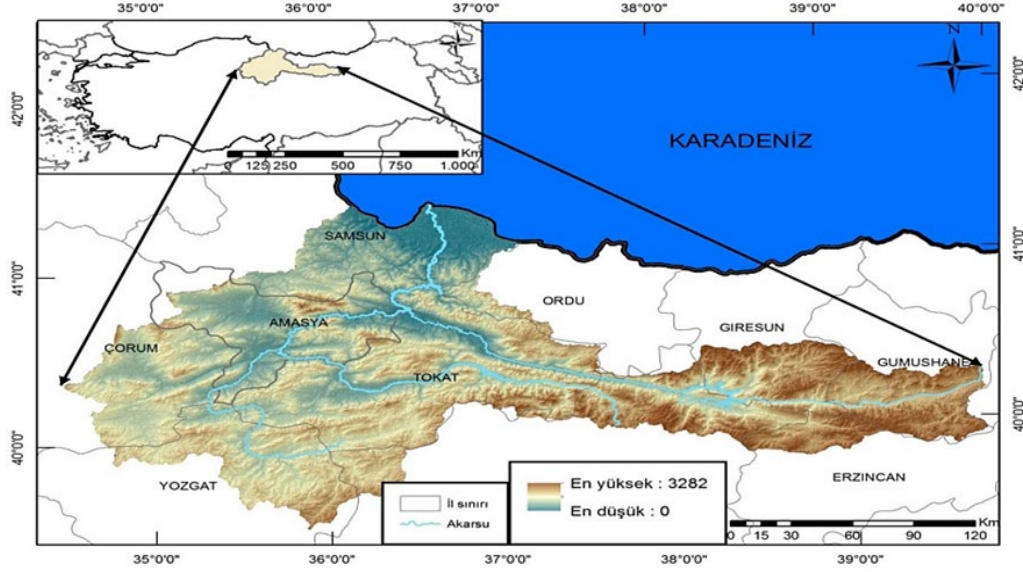
3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Alanı

Yeşilırmak havzası, Türkiye'nin kuzeyinde yer alıp, Sivas, Tokat, Samsun, Amasya, Çorum, Bayburt, Ordu, Erzincan, Yozgat, Giresun ve Gümüşhane illerinin bazılarının tamamını, bazılarının ise bir kısmını kapsamaktadır. Yeşilırmak havzası; Doğu Karadeniz, Kızılırmak, Çoruh ve Fırat-Dicle havzalarıyla komşudur. Havzanın yüzölçümü toplamı 39.626 km²'dir. Bu alan Türkiye yüzölçümünün %5'ine denk gelmektedir. Havzaya senelik ortalama 528 mm/m² yağış düşmektedir. Senelik ortalama 6,10 km³ akış gerçekleşmektedir. Yeşilırmak nehri üç ana kolun birleşmesiyle oluşur. Suşehri ile Zara arasından doğan ana kol olan Yeşilırmak'a Tokat nehri de denir ve uzunluğu 468 km'dir. Gümüşhane'nin Çimen dağlarından doğan Kelkit çayı Yeşilırmak'ın diğer kolunu oluşturur ve uzunluğu 320 km'dir. Nehir'in üçüncü kolu olan Çekerek Çayı Sivas'ın Çamlıbel Dağlarından doğar ve uzunluğu 256 km'dir (Yeşilırmak Havzası Taşkın Yönetim Planı 2015).

3.1.2. Debi ve Sediment Verileri

Çalışmada Yeşilırmak nehri üzerinde kurulu olan akım ve sediment gözlem istasyonları verileri kullanılmıştır. Bu amaçla Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü(Eİİ) ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından yayınlanmış gözlem yıllıklarından veri temini yapılmıştır (Eİİ 2007, DSİ 2013 ve 2021) Yeşilırmak nehrinin oluşturduğu havza; Türkiye yüzölçümünün %5,1 ini oluşturur. Sivas ili Suşehri ilçesinde bulunan Köse dağlarından doğan Yeşilırmak 519 km uzunluğundadır (Erpul ve ark 2018). (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Çalışma alanın Türkiye haritası üzerindeki yeri

Yeşilirmak havzası üzerinde bulunan Durucasu İstasyonuna, Fatlı İstasyonuna, Gömelönü İstasyonuna ve Çiçekbükü İstasyonuna ait Eİİİ ve DSİ verileri kullanılmıştır.

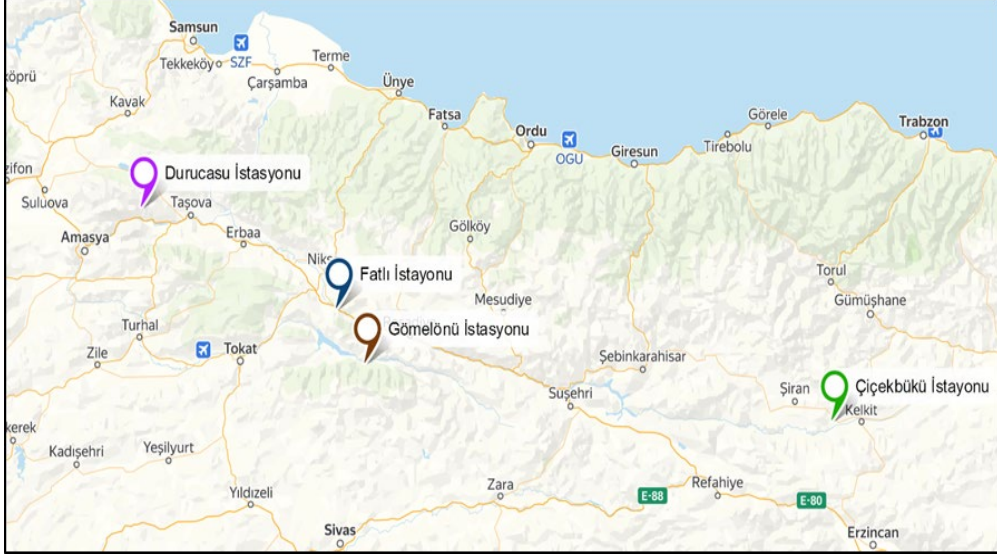
1413 Durucasu istasyonunun yükseltisi 301 m, akım yağış alanı 21.667,2 km² ve sediment yağış alanı 18.596,8 km²'dir 36° 06' 43" D-40° 44' 40" K koordinatları arasında, Amasya-Taşova karayolunun 29. kilometresindeki Durucasu HES'nin önündedir. 1971-2012 yılları arasında 514 adet sediment örneği alınmıştır.

1401 Fatlı istasyonunun yükseltisi 375 m, akım yağış alanı 10.048,8 km² ve sediment yağış alanı 6.095,3 km²'dir 36° 59' 56" D-40° 28' 42" K koordinatları arasında, Tokat İlının Erbaa-Reşadiye karayolunun Köklüce HES' den 7 km sonra Fatlı köprüsünün akış yukarısında yer almaktadır.1967-2012 yılları arasında 533 sediment örneği alınmıştır.

1418 Gömelönü istasyonunun yükseltisi 820 m, akım yağış alanı 1.608,0 km² ve sediment yağış alanı 1.608,0 km²'dir 37° 07' 43" D-40° 18' 42" K koordinatları arasında, Tokat İli Almus İlçesinden 35 km mesafede olan Gömelönü köyündedir. 1972-2020 yılları arasında 549 sediment örneği alınmıştır.

1422 Çiçekbükü istasyonunun yükseltisi 1350 m, akım yağış alanı 1.714,0 km² ve sediment yağış alanı 1.714,0 km²'dir 39° 18' 42" D-40° 06' 45" K koordinatları arasında, Gümüşhane

ili Kelkit İlçesi'nin 13 km batısındaki Çiçekbükü (Gerdekhisar) Köyü civarındadır. 1977-2011 yılları arasında 407 sediment örneği alınmıştır.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılacak gözlem istasyonlarının Türkiye haritası üzerindeki yerleri

3.2. Yöntem

Sediment gözlemleri; arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olarak yapılmaktadır. EİEİ ile DSİ tarafından yapılan debi ve sediment ölçümlerinde kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

3.2.1. Debi Ölçümleri

Belirli bir kesit alanından geçen suyun belirli zamanda geçişini ifade eden miktarına o akışkanın debisi ya da akımı denir. Birimi m^3/s veya l/s 'dir. Ülkemizde debi ölçümleri EİEİ ve DSİ tarafından yapılmaktadır. EİEİ 03 Kasım 2012 tarihli 28103 sayılı Kararname ile kapatılarak, hidrometrik araştırma ve etüt çalışmaları, DSİ'ne (DSİ) devredilmiştir. Ülkemizde seviye ölçümlerinin yanında debi ölçümlerinin de yapıldığı, DSİ bünyesindeki Rasatlar Şube Müdürlüğü kontrol ve denetiminde ülke genelinde 1330 adet Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) vardır.

3.2.2. Süspanse (Askı) Sediment Numunesinin Alınması

Sediment numuneleri, Bölge Müdürlükleri tarafından, akarsudaki sediment dağılımını en iyi şekilde temsil eden Derinlik integrasyon metoduyla akarsudaki yatay ve düşey yöndeki tüm sediment değişimleri göz önüne alınmaktadır. Günlük akım değerlerinin her gün ölçüldüğü sediment gözlem istasyonundan ayda bir, düşeylerden 6 ya da 10 şişe olarak alınan örneklerin hepsi, eşit debi parçalarını temsil ettiği kabul edilmektedir. Bu yöntemde, önce numune alınacak istasyonda akım ölçüsü yapılır. Eğer bulunan debi, o istasyonun akım kitaplarında verilen uzun yıllık ortalama debiden küçük ise; 6 dikeyde (toplam debinin %8, %25, %42, %58, %75 ve %92 sinden), ortalama debiden büyük ise; 10 dikeyde (toplam debinin %5, %15, %25, %35, %45, %55, %65, %75, %85, %95 inden) numune alınır. Numuneler eğer suya girilerek alınacaksa, elden sediment numunesi alma aleti (DH-48), teleferiğe çıkılarak alınacaksa, askıdan sediment numunesi alma aleti (D-49) aletleri kullanılır. Belirlenen dikeylerden numune alınırken, içinde 400 cl numune şişesi olan alet, şişenin $\frac{3}{4}$ dolacak şekilde tabana indirilir ve çıkarılır. Dolu şişeler üzerine istasyon no, suyun adı, istasyon adı, numunenin alındığı tarih, eşel seviyesi, su sıcaklığı, debi, numune alınan düşey sayısı, numune alan ekip adı yazılır.

3.2.3. Sediment İçeriği Laboratuvar Çalışmaları

Süspanse sediment numunelerinin analizi ISO 4365 (2005), TS 9200 (1991) filtrasyon metoduna göre yapılmaktadır. Sediment numunesi analiz sonuçlarından, sediment konsantrasyonu, günlük geçen sediment miktarı ve dane çapı dağılımı belirlenir.

$$\text{Sediment Konsantrasyonu (ppm)} = \frac{\text{Kuru Net Sediment (kum+kil+ silt) Ağırlığı} \times 10^6}{\text{Sediment Örnek (su + sediment) Ağırlığı}} \quad (1)$$

Sediment ölçümünün yapıldığı kesitten, o gün geçen sediment miktarı (2) nolu eşitlikten bulunmaktadır.

$$Y = X \cdot C \cdot 0,0864 \quad (2)$$

Y: Gün içinde geçen sediment miktarı (ton/gün)

X: Sediment örneği alındığı gün yerinde ölçülen, akarsu debisi (m^3/s)

C: Laboratuvarında bulunan sediment konsantrasyonu (ppm)

3.2.4. Sediment Anahtar Eğrisinin Çizilmesi

Sediment anahtar eğrisinin elde edilmesinde iki farklı yol izlenmiştir.

- Regresyon analiz yöntemi
- Yapay sinir ağları yöntemi

3.2.4.1. Regresyon Analiz Yöntemi

İlk olarak regresyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla bağımsız değişken olarak debi, bağımlı değişken olarak sediment değerleri alınarak en yüksek korelasyon katsayısına (r) sahip eşitlikler elde edilmiştir. Eşitlikler kullanılarak hesaplanan sediment değerleri ile ölçülen sediment değerleri arasındaki r ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır (Asselman, 2000). Bu amaçla SPSS paket programı kullanılmıştır (SPSS 26)

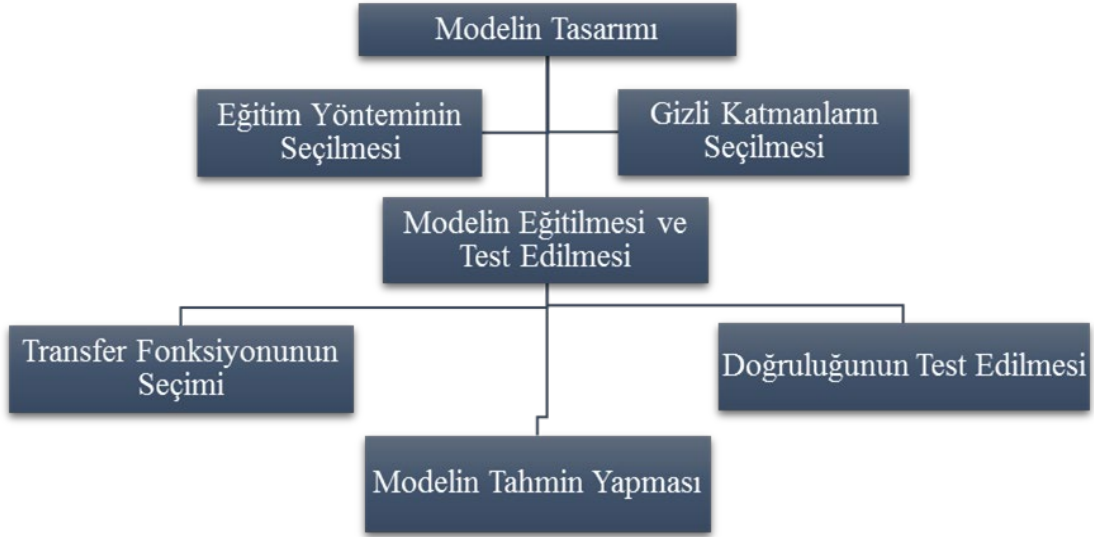
3.2.4.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

İkinci olarak ise Yapay sinir ağları yönteminde MATLAB yazılımı Neural Network Toolbox kullanılarak tek veya çift gizli katmanlar ve değişen sayıda nörona sahip farklı ağ topolojileri oluşturulmuştur. Girdi olarak akım değeri kullanılacaktır. Verilerin eğitim için %70'i ve test için %30'u kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak YSA modeli üretilmiştir. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan, öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme, oluşturabilme ve bulabilme gibi üstün yetenekleri, herhangi bir yardım almadan gerçekleştirebilen bir bilgisayar sistemidir. YSA, insan beyninin işlevsel özelliklerine benzer şekilde,

- Öğrenme,
- İlişkilendirme,
- Sınıflandırma,
- Genelleme,
- Analiz,

- Optimizasyon.

gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Örneklerden elde etikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra, benzer konularda benzer kararı verirler (Öztemel 2006). (Şekil 3.3)

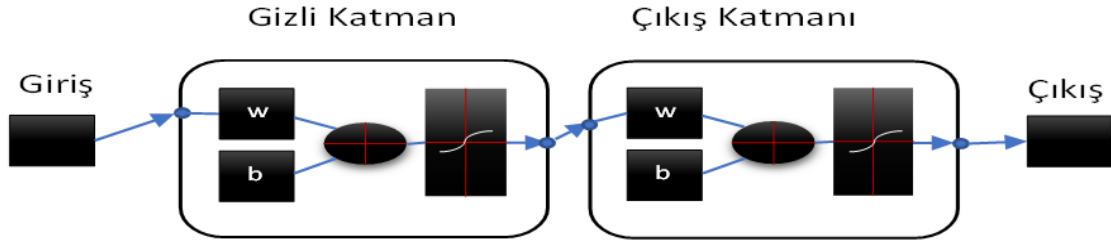


Şekil 3.3. YSA modelinin tahmin süreci

MATLAB programı içerisindeki birçok algoritma denenmiş ve bu çalışma için İleri Beslemeli Geri Yayılım Algoritması tercih edilmiştir.

➤ İleri Beslemeli Geri Yayılım Algoritması

İleri Beslemeli Geri Yayılım Algoritmaları bir katmanlar serisinden meydana gelir. İlk katman girdilerle ilişkiliyken son katman çıktı ile ilişkilidir. Girdilerden gelen veriler katmanlar aracılığıyla çıktılara iletilmektedir. İlk katman, dış ortamdan aldığı veriyi değiştirmeden bir sonraki katmana iletir ve öğrenme bu şekilde ilerledikçe bulunan hatalar geriye doğru yayılarak sistem, mümkün olduğunca doğru bir öğrenme algoritması oluşturmaya çalışır. İleri Beslemeli Geri Yayılım Algoritması sadece ileri doğrultuda ilerleyen yani gizli nöronlar arasında döngüsel bir bağlantısı olmayan ve çok yaygın olarak kullanılan algoritmalar. Bu algoritmalar, karmaşık doğrusal olmayan ağ ilişkilerini öğrenmekte kullanılabilir (Şahin vd 2020). (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. İleri Beslemeli Kademeli Geri Yayılım Algoritması

Regresyon analizi ve YSA modelleri için hesaplanan sediment değerleri ile ölçülen sediment değerleri arasındaki değerlendirme ölçütü, Korelasyon Katsayısı (r) ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

- Korelasyon Katsayısı (r)

$$r = \frac{(Q_{sölçüm} - \bar{Q}_{sölçüm})(Q_{stahmin} - \bar{Q}_{stahmin})}{\sqrt{[\sum_1^n (Q_{sölçüm} - \bar{Q}_{sölçüm})^2]^{\frac{1}{2}} [\sum_1^n (Q_{stahmin} - \bar{Q}_{stahmin})^2]^{\frac{1}{2}}}} \quad (3)$$

Burada;

$Q_{sölçüm}$: askıdaki katı maddelerin arazideki ölçüm değeri

$Q_{stahmin}$: modelin tahmin ettiği değer

$\bar{Q}_{sölçüm}$: askıdaki katı maddelerin arazideki ölçüm değerlerinin ortalaması

$\bar{Q}_{stahmin}$: modelin tahmin ettiği değerler ortalamasıdır.

- Düzeltilmiş R^2 Değeri

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k-1} \quad (4)$$

Burada;

n: gözlem sayısı

k: modeldeki değişken sayısı (bağımlı+ bağımsız değişken)

- Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (Q_{sölçüm} - \bar{Q}_{stahmin})^2} \quad (5)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Debi ve Sediment Değerleri Tanımlayıcı İstatistikler

İstasyonlara ilişkin DSI ve EİEI kayıtlarından elde edilen debi ve sediment değerlerine ilişkin; minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmış, Shapiro-Wilk normal dağılım testi sonuçları ile birlikte ve Tablo 4.1’de verilmiştir.

Ortalama debiler incelendiğinde; en yüksek ortalama $60,53 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile Fatlı İstasyonunda, en düşük ortalama debi ise $7,378 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile Çiçekbükü İstasyonunda gerçekleşmiştir. Bununla beraber en yüksek debi $285,58 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile Durucasu İstasyonunda, en düşük debi ise $0,19 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile yine Çiçekbükü İstasyonunda gerçekleşmiştir. Debi değerleri için Çarpıklık ve Basıklık değerleri arasında en iyi dağılım (1,244 ve 0,382) Fatlı İstasyonunda gözlemlenmiştir. Diğer istasyonlarda bu değerlerin tamamı $< \pm 1,5$ sınırının (Tabachnick ve Fidell 2013) dışında gerçekleşmiş çarpıklık ve basıklık açısından normal dağılım göstermediği belirlenmiştir. Shapiro-Wilk testi sonuçları ise tüm istasyonlarda ($P < 0,001$) şeklinde gerçekleşmiş olup, $P < 0,05$ referans değerinden küçük oldukları için (Shapiro and Wilk 1965, George and Mallery 2010) normal dağılım göstermediği görülmüştür.

Ortalama Sediment değerleri ise; en yüksek ortalama sediment $406,81 \text{ ppm}$ ile Durucasu İstasyonunda, en düşük ortalama sediment ise $98,58 \text{ ppm}$ ile Gömelönü İstasyonunda gerçekleşmiştir. Bununla beraber en yüksek sediment $7234,10 \text{ ppm}$ ile Durucasu İstasyonunda, en düşük sediment ise $3,9 \text{ ppm}$ ile yine Fatlı İstasyonunda gerçekleşmiştir. Sediment değerleri için Çarpıklık ve Basıklık değerleri tüm istasyonlarda $< \pm 1,5$ sınırının dışında gerçekleşmiştir. Shapiro-Wilk testi sonuçları yine tüm istasyonlarda ($P < 0,001$)

şeklinde gerçekleşmiş olup, $P < 0.05$ referans değerinden küçük oldukları için normal dağılım göstermediği görülmüştür.

Akarsularda hem debi hem de taşınan sediment miktarı; yağış rejimi, baraj ve su alma yapıları, yüzey akış, infiltrasyon, toprak su tutma ve havza bitki örtüsü gibi pek çok faktör altında değişim göstermektedir (Zeiringer et al. 2018; Grams et al. 2019). Bu nedenle yıl içerisindeki normal dağılım göstermemesi beklenen bir durumdur. Aşıkoğlu ve Eriş (2018) çalışmalarında benzer şekilde klimatolojik, jeolojik, topoğrafik ve bunlar gibi birçok etken sediment miktarı üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Tablo 4.1. Debi ve sediment değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik sonuçları

	İstasyon adı	Gözlem Yılları ve Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık		Basıklık		Shapiro-Wilk	
							Değer	Std. hata	Değer	Std. hata	Değer	Sig, P
Debi	Çiçekbükü	1999-2011 137	0,19	77,35	7,378	11,309	2,942	0,207	11,659	0,411	0,630	0,001
	Durucasu	1999-2012 161	3,72	285,58	40,93	44,108	2,719	0,191	8,879	0,380	0,675	0,001
	Fatlı	1999-2012 148	3,99	195,33	60,53	49,57	1,124	0,199	0,382	0,396	0,867	0,001
	Gömelönü	1999-2020 231	1,20	146,39	15,06	20,22	2,950	0,160	11,316	0,319	0,647	0,001
Sediment	Çiçekbükü	1999-2011 137	7,30	894,90	130,935	164,228	2,658	0,207	7,578	0,411	0,630	0,001
	Durucasu	1999-2012 161	13,60	7234,10	406,81	874,21	5,499	0,191	35,413	0,380	0,395	0,001
	Fatlı	1999-2012 148	3,9	2718,5	260,3	414,42	3,341	0,199	13,681	0,396	0,593	0,001
	Gömelönü	1999-2020 231	8,30	2359,20	98,58	209,50	6,899	0,160	63,436	0,319	0,380	0,001

4.2. Regresyon Analiz Sonuçları

Taşınan sediment miktarı(ppm) ile akarsu debisi(m^3/sn) arasındaki ilişkileri temsil eden model denklemleri elde edilmiş ve tablo 4.2 de verilmiştir.

Çiçekbükü istasyonunda (Tablo 4.2) en yüksek r değeri 0,751 ile üçüncü dereceden polinom modelinde elde edilirken bunu az farkla (0,746) ikinci dereceden polinom model takip etmiştir. Ancak değişkenlere ait standart hatalar ve P değeri dikkate alındığında polinomial ilişkilerde bazı değişkenlerin önemsiz ($P>0,05$) olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısı bakımından sırasıyla lineer (r : 0,745), üstel (r : 0,623), logaritmik (r : 0,566) ve üs (r : 0,494) modelleri takip etmiştir. DSİ (2013) Çiçekbükü istasyonunda aynı tarih aralıklarını kullanarak en iyi debi-sediment ilişkisini üs fonksiyon modelini (r : 0,916) önermişlerdir. Söz konusu çalışmada sediment değerleri debi ile çarpılmış ve ton/gün olarak dikkate alınmıştır. Bu durum korelasyon değerinde sanal bir yükselmeyi sağlamıştır. Elde edilen model debiye bağlı olarak debi x sediment sonucunu tahmin etmektedir.

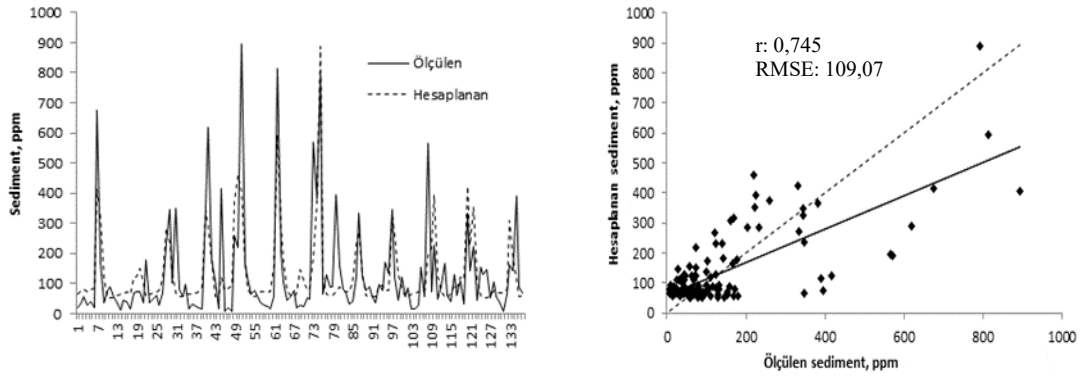
Tablo 4.2. Çiçekbükü istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi

Model	Değişken	Değer	Standart		r	$\bar{R}^2$	Denklem
			hata	p			
Lineer (Linear)	Sabit sayı	51,073	11,222	0,001	0,745	0,552	$y = 51,072 + 10,825x$
	Debi	10,825	0,833	0,001			
Logaritmik (Logarithmic)	Sabit sayı	69,270	8,691	0,001	0,566	0,315	$y = 53,475 + 69,270\ln(x)$
	Ln(Debi)	53,475	15,144	0,001			
Polinom(2) (Quadratic)	Sabit sayı	49,661	12,656	0,001	0,746	0,549	$y = 49,661 + 12,221x - 0,0083x^2$
	Debi	11,221	1,825	0,808			
	Debi**2	-0,0083	0,034	0,001			
Polinom (3) (Cubic)	Sabit sayı	63,839	15,224	0,001	0,751	0,555	$y = 63,839 + 4,679x + 0,308x^2 - 0,003x^3$
	Debi	4,679	4,355	0,285			
	Debi**2	0,308	0,194	0,116			
	Debi**3	-0,003	0,002	0,101			
Üstel (Compound)	Sabit sayı	50,614	4,135	0,001	0,623	0,384	$y = 50,614e^{0,056x}$
	Debi	0,056	0,006	0,001			

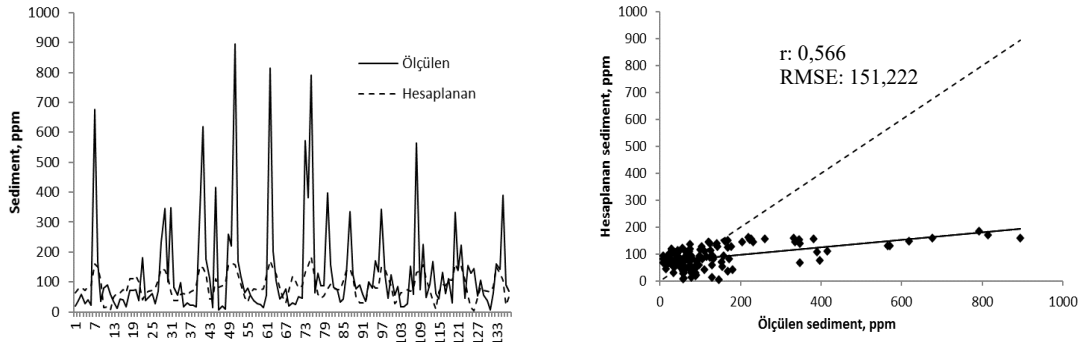
Tablo 4.2. (Devam): Çiçekbükü istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi

Üs		50,356	4,992	0,001	0,238	$y = 50,356x^{0,375}$
(Power)	Sabit sayı			0,494		
	Debi	0,375	0,057	0,001		

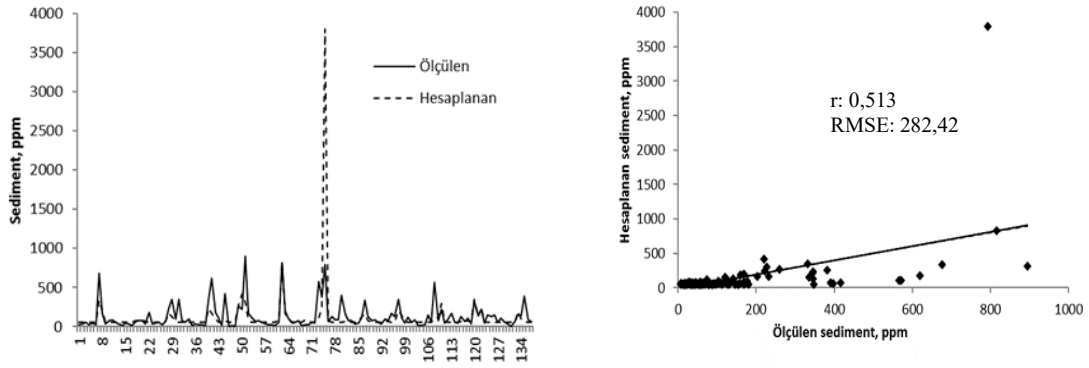
Çiçekbükü istasyonu elde edilen modeller arasından değişkenleri anlamlı bulunan ve negatif sonuç vermeyen denklemler kullanılarak, tüm ölçülmüş debi değerlerine karşılık gelen sediment değerleri hesaplanmış ve gerçek(ölçülen) sediment değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen dağılım grafikleri RMSE ve r değerleri ile birlikte Şekil 4.1-Şekil 4.4'te verilmiştir.



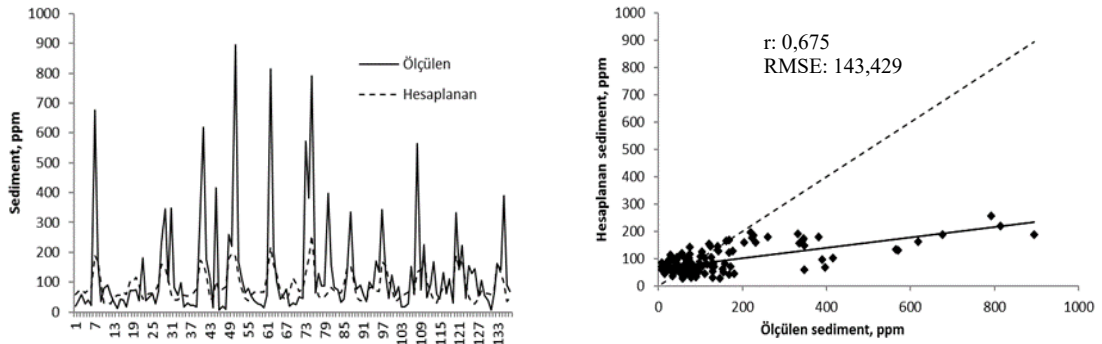
Şekil 4.1. Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve linear model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.2. Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve logaritmik model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.3. Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.4. Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve Üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

Çiçekbükü istasyonu için ölçülen-hesaplanan testi sonuçlarına göre incelenen modeller arasında $r: 0,745$ ve $RMSE: 109,077$ ile lineer model ilk sırada yer almıştır. Sırasıyla üs model ($r: 0,675$, $RMSE: 143,429$), logaritmik model ($r: 0,566$, $RMSE: 151,222$) ve üstel model ($r: 0,513$, $RMSE: 282,42$) yer almıştır. Üstel model için 75 nolu noktada ölçülen 792,10 ppm sedimente karşılık 3799,65 ppm model değeri tahmin edilmiştir. Aykırı değer olarak bu noktanın çıkarılması durumunda modelin daha iyi sonuçlar vereceği görülmektedir. Çiçekbükü istasyonu için elde edilen lineer modelde yükselen pik değerlerin başarılı bir şekilde izlendiği grafikten anlaşılmaktadır. Ancak nispeten daha düşük sediment değerleri (yaklaşık <80 ppm) için ölçülen değerlerden daha düşük sonuçlar verdiği grafiklerden gözlemlenmektedir.

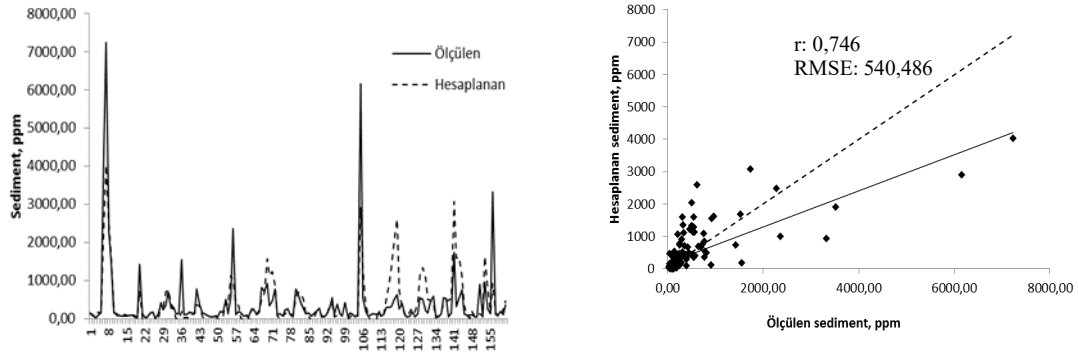
Durucasu istasyonunda (Tablo 4.3) en yüksek r değeri 0,826 ile üçüncü dereceden polinom modelinde elde edilirken bunu az farkla (0,810) ikinci dereceden polinom model takip etmiştir. Ancak değişkenlere ait standart hatalar ve P değeri dikkate alındığında poninamial ilişkilerde bazı değişkenlerin önemsiz ($P>0,05$) olduğu görülmektedir. Korelasyon

katsayısı bakımından sırasıyla üs (r: 0,777), lineer (r:0,746) üstel (r: 0,743) ve logaritmik (r: 0,570) modelleri takip etmiştir. DSİ (2013) Durucasu istasyonunda aynı tarih aralıklarını kullanarak yaptıkları çalışmada debi-sediment (ton/gün) ilişkisi için en yüksek r değerini 0,9175 ile üs fonksiyon için elde etmişlerdir.

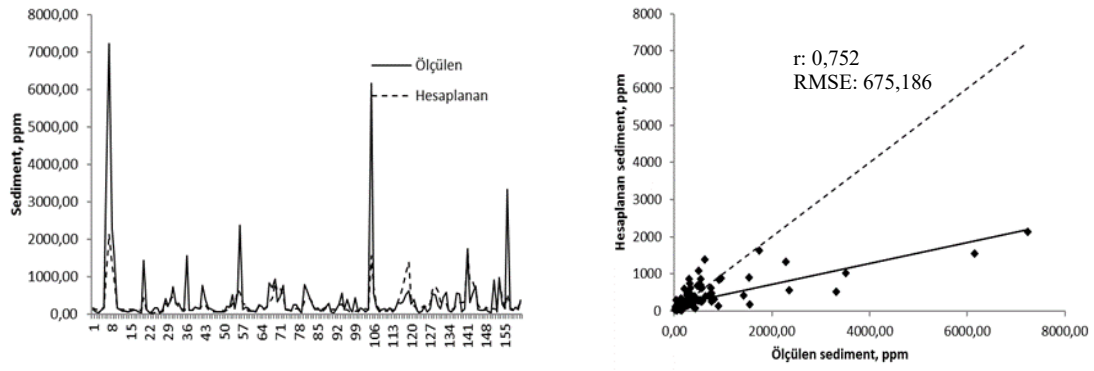
Tablo 4.3. Durucasu istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment

Model	Değişken	Standart		p	r	$\bar{R}^2$	Denklem
		Değer	hata				
Lineer (Linear)	Sabit sayı	-198,353	62,897	0,001	0,746	0,554	$y = -198,353 + 14,783x$
	Debi	14,783	1,047	0,002			
Logaritmik (Logarithmic)	Sabit sayı	-1640,639	241	0,001	0,570	0,320	$y = -1640,639 + 612,848 \log(x)$
	Ln(Debi)	612,848	70,105	0,001			
Polinom(2) (Quadratic)	Sabit sayı	161,281	76,773	0,037	0,810	0,652	$y = 161,281 - 0,909x + 0,078x^2$
	Debi	-0,909	2,491	0,716			
	Debi**2	0,078	0,012	0,001			
Polinom (3) (Cubic)	Sabit sayı	-103,827	105,012	0,324	0,826	0,676	$y = -103,827 + 15,67x - 0,113x^2 + 0,00052x^3$
	Debi	15,669	5,238	0,003			
	Debi**2	-0,113	0,055	0,041			
	Debi**3	0,001	0,001	0,001			
Üstel (Compound)	Sabit sayı	85,678	6,860	0,001	0,743	0,550	$y = 85,68e^{0,0187x}$
	Debi	1,019	0,001	0,001			
Üs (Power)	Sabit sayı	5,355	1,254	0,001	0,777	0,601	$y = 5,356x^{1,059}$
	lnDebi	1,059	0,068	0,001			

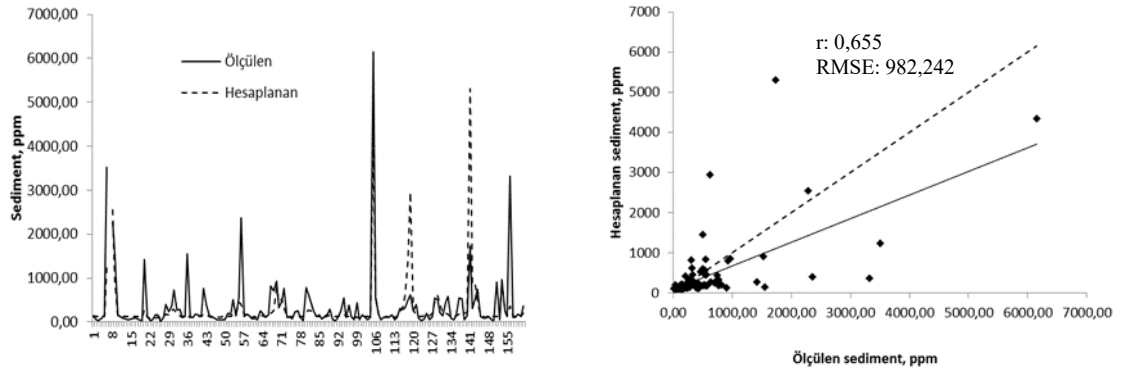
Durucasu istasyonu için her bir modele ilişkin elde edilen denklemler kullanılarak, tüm ölçülmüş debi değerlerine karşılık gelen sediment değerleri hesaplanmış ve gerçek sediment değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen dağılım grafikleri RMSE ve r değerleri ile birlikte Şekil 4.5-Şekil4.7 'de verilmiştir. Logaritmik ve Polinom (3) model negatif sonuçlar verdiği için değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 4.5. Durucasu istasyonu ölçülen ve lineer model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.6. Durucasu istasyonu ölçülen ve üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.7. Durucasu istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

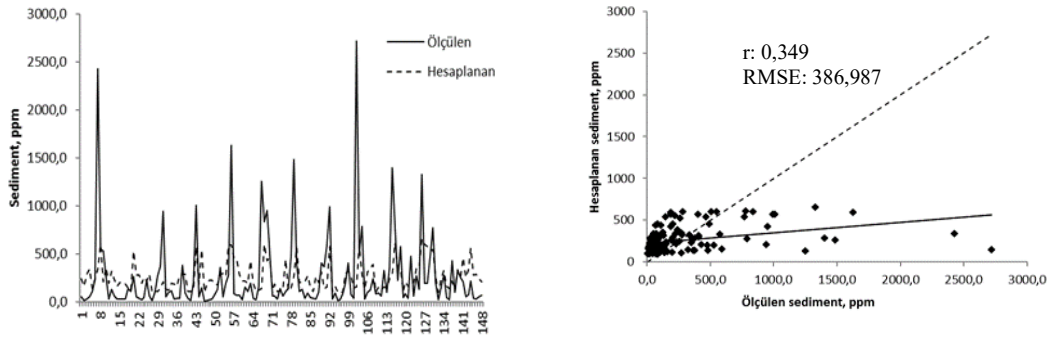
Durucasu istasyonu için ölçülen-hesaplanan testi sonuçlarına göre incelenen modeller arasında $r = 0,752$ ve $RMSE = 675,186$ ile üs model ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada ise $r = 0,746$ ve $RMSE = 580,486$ ile lineer model yer almıştır. Üstel model için ise $r = 0,655$ ve $RMSE = 547,49$ olarak gerçekleşmiştir.

Fatlı istasyonunda (Tablo 4.4) en yüksek r değeri 0,517 ile üstel modelinde elde edilirken bunu az farkla (0,495) üs model takip etmiştir. Üçüncü dereceden polinom modeli (r: 0,374) ve ikinci dereceden polinom modeli (r: 0,359) olarak bulunmuştur. Ancak değişkenlere ait standart hatalar ve P değeri dikkate alındığında poninamial ilişkilerde bazı değişkenlerin önemsiz ($P>0,05$) olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısı bakımından üstel ve üs modellerini sırasıyla lineer (r: 0,349) ve logaritmik (r: 0,301) modelleri takip etmiştir. DSİ (2013) Fatlı istasyonunda aynı tarih aralıklarını kullanarak yaptıkları çalışmada debi-sediment (ton/gün) ilişkisi için en yüksek r değerini 0,8315 ile üs fonksiyon için elde etmişlerdir.

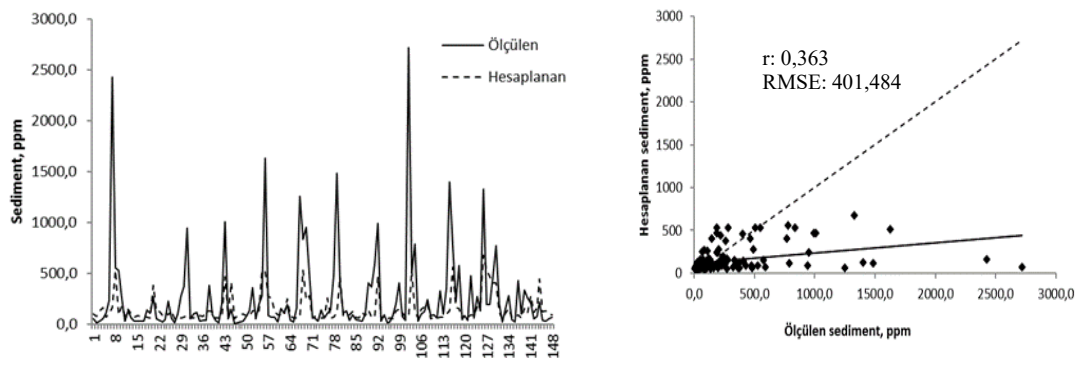
Tablo 4.4. Fatlı istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi

Model	Değişken	Değer	Standart		r	$\bar{R}^2$	Denklem
			hata	p			
Lineer (Linear)	Sabit sayı	83,500	50,65	0,001	0,349	0,116	$y = 83,500 + 2,92x$
	Debi	2,921	0,648	0,101			
Logaritmik (Logarithmic)	Sabit sayı	-229,349	132,256	0,085	0,301	0,085	$y = -229,35 + 131,505 \log(x)$
	Ln(Debi)	131,505	34,423	0,001			
Polinom(2) (Quadratic)	Sabit sayı	143,793	76,369	0,062	0,359	0,117	$y = 143,793 + 0,59x + 0,013x^2$
	Debi	0,589	2,304	0,799			
	Debi**2	0,013	0,013	0,293			
Polinom (3) (Cubic)	Sabit sayı	48,028	103,222	0,642	0,374	0,112	$y = 48,02 + 7,63x - 0,094x^2 + 0,00041x^3$
	Debi	7,630	5,616	0,176			
	Debi**2	-0,095	0,080	0,236			
	Debi**3	0,001	0,001	0,172			
Üstel (Compound)	Sabit sayı	49,945	7,208	0,001	0,517	0,262	$y = 49,94e^{0,0134x}$
	Debi	1,014	0,002	0,001			
Üs (Power)	Sabit sayı	9,223	3,468	0,009	0,495	0,239	$y = 9,222x^{0,672}$
	lnDebi	0,673	0,098	0,001			

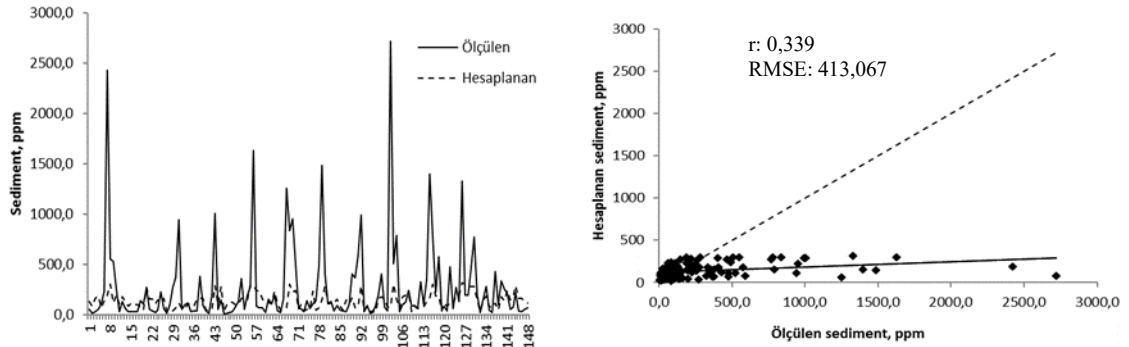
Fatlı istasyonu için her bir modele ilişkin elde edilen denklemler kullanılarak, tüm ölçülmüş debi değerlerine karşılık gelen sediment değerleri hesaplanmış ve gerçek sediment değerleri le karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen dağılım grafikleri RMSE ve r değerleri ile birlikte Şekil 4.8-Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Fatlı istasyonu ölçülen ve lineer model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.9. Fatlı istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.10. Fatlı istasyonu ölçülen ve üs model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

Fatlı istasyonu için ölçülen-hesaplanan testi sonuçlarına göre incelenen modeller ile genel olarak düşük r değeri elde edilmiştir. Fatlı istasyonu diğer istasyonlara göre daha düşük değişim aralığına sahiptir (Tablo 4.4). Özellikle düşük debi ve sediment değerleri için daha düşük ilişkiler izlendiği görülmektedir. Bu durum Fatlı istasyonunda diğer istasyonlara kıyasla daha düşük r değerlerinin elde edilmesi sonucunu vermiştir.

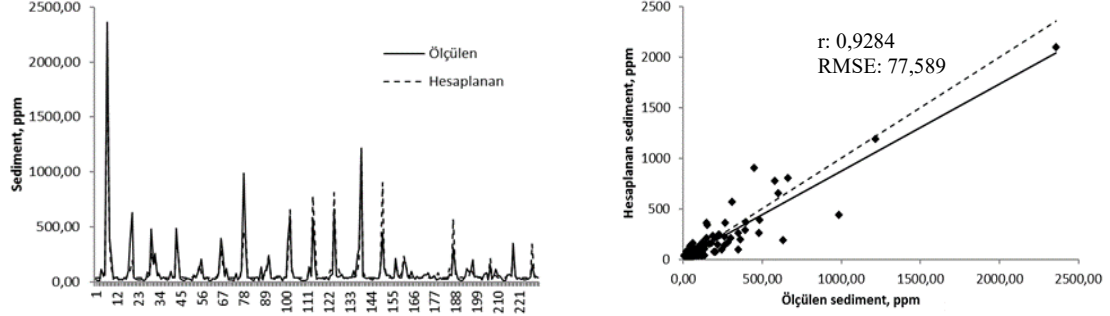
Gömelönü istasyonunda (Tablo 4.5) en yüksek r değeri 0,937 ile üçüncü dereceden polinom modelinde elde edilirken bunu az farkla (0,929) ikinci dereceden polinom model takip etmiştir. Ancak değişkenlere ait standart hatalar ve P değeri dikkate alındığında poninamial ilişkilerde bazı değişkenlerin önemsiz ($P>0,05$) olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısı bakımından diğer modeller sırasıyla lineer (r : 0,842), üstel (r : 0,808), üs (r : 0,769) ve logaritmik (r : 0,578) modelleri takip etmiştir. DSİ (2013) Gömelönü istasyonunda aynı tarih aralıklarını kullanarak yaptıkları çalışmada debi-sediment (ton/gün) ilişkisi için en yüksek r değerini 0,9191 ile üs fonksiyon için elde etmişlerdir.

Tablo 4.5. Gömelönü istasyonu tüm veriler için belirlenen debi-sediment ilişkisi

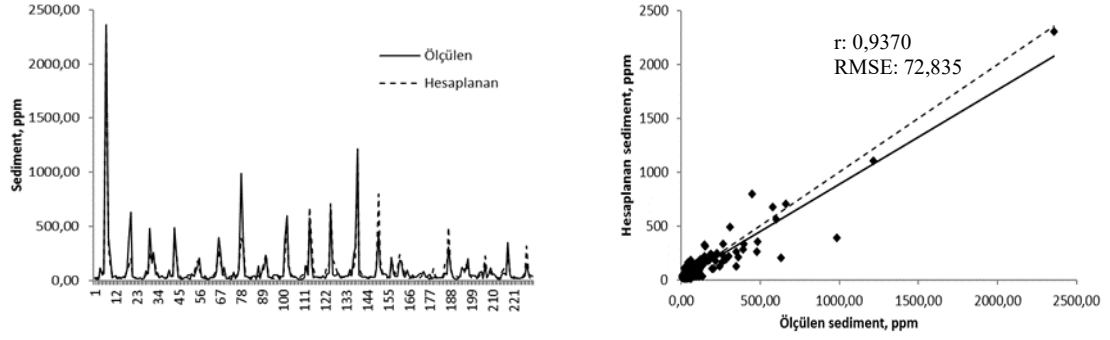
Model	Değişken	Değer	Standart hata	p	r	$\bar{R}^2$	Denklem
Lineer (Linear)	Sabit sayı	-32,73	9,300	0,001	0,842	0,708	$y = -32,729 + 8,720x$
	Debi	8,721	0,369	0,001			
Logaritmik (Logarithmic)	Sabit sayı	-	25,374	0,001	0,578	0,331	$y = -145,226 + 115,486 \log(x)$
	Ln(Debi)	115,486	10,768	0,001			
Polinom(2) (Quadratic)	Sabit sayı	34,905	7,689	0,001	0,929	0,861	$y = 34,905 + 0,217x + 0,095x^2$
	Debi	0,219	0,591	0,712			
	Debi**2	0,095	0,006	0,001			
Polinom (3) (Cubic)	Sabit sayı	6,605	8,860	0,001	0,937	0,877	$y = 6,605 + 5,58x - 0,0433x^2 + 0,00077x^3$
	Debi	5,576	1,117	0,001			
	Debi**2	-0,043	0,026	0,093			
	Debi**3	0,001	0,001	0,001			
Üstel (Compound)	Sabit sayı	26,107	1,296	0,001	0,808	0,652	$y = 26,107e^{0,041x}$
	Debi	1,042	0,002	0,001			
Üs (Power)	Sabit sayı	9,894	0,962	0,001	0,769	0,590	$y = 9,894x^{0,751}$
	lnDebi	0,752	0,041	0,001			

Gömelönü istasyonu için elde edilen modeller arasından değişkenleri anlamlı bulunan ve negatif sonuç vermeyen denklemler kullanılarak, tüm ölçülmüş debi değerlerine karşılık gelen sediment değerleri hesaplanmış ve gerçek (ölçülen) sediment değerleri ile

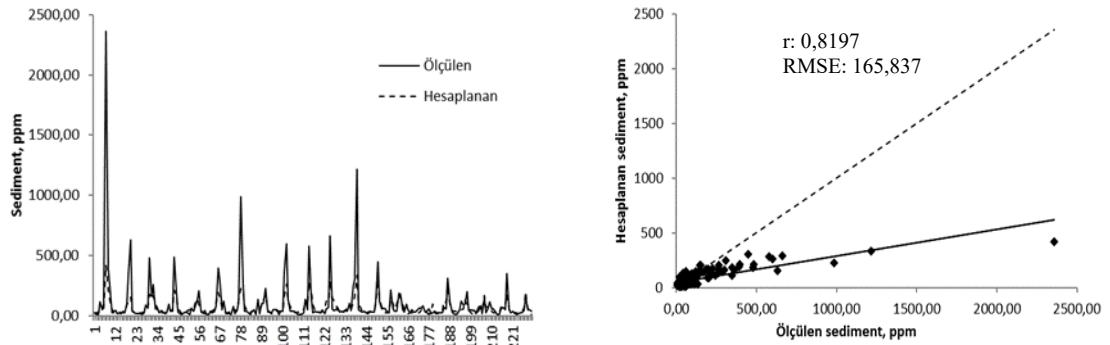
karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen dağılım grafikleri RMSE ve r değerleri ile birlikte Şekil 4.11-Şekil 4.14'te verilmiştir



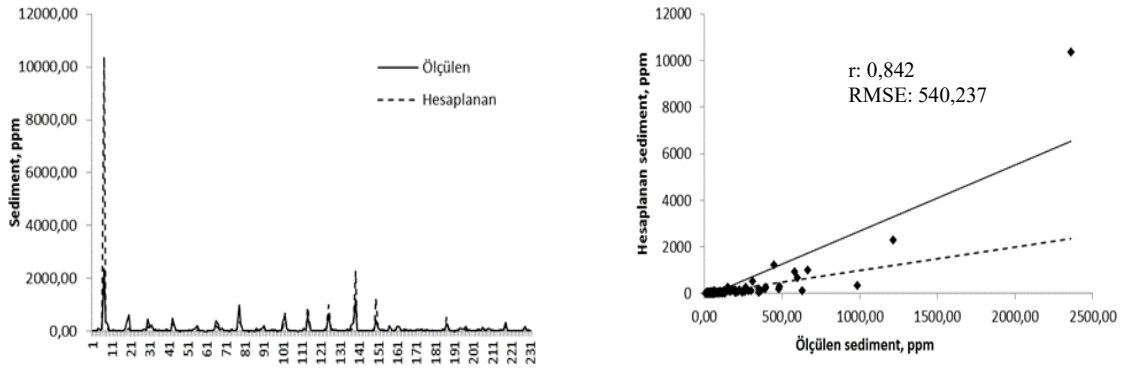
Şekil 4.11. Gömelönü istasyonu ölçülen ve polinom 2 model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.12. Gömelönü istasyonu ölçülen ve polinom 3 model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları



Şekil 4.13. Gömelönü istasyonu ölçülen ve 5. model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

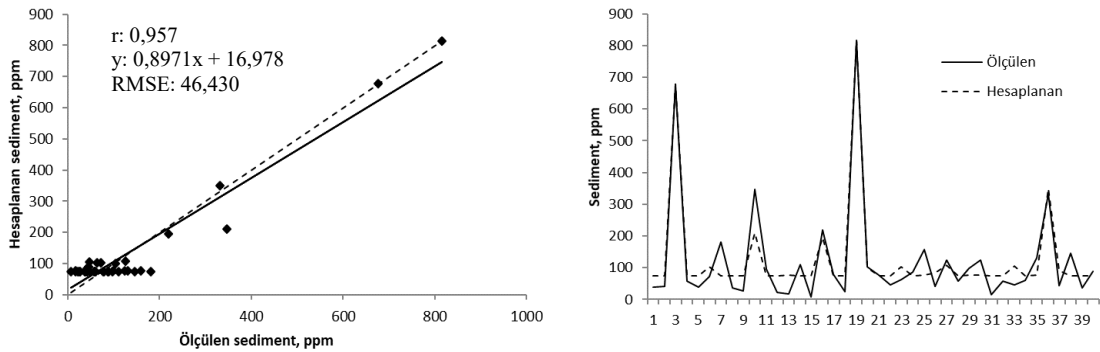


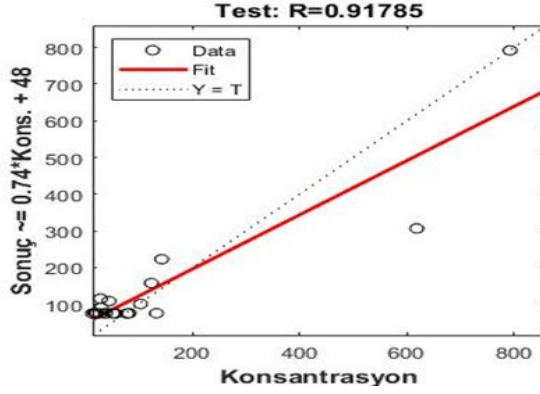
Şekil 4.14. Gömelönü istasyonu ölçülen ve üstel model ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

Gömelönü istasyonu için ölçülen-hesaplanan testi sonuçlarına göre incelenen modeller arasında r : 0,9370 ve $RMSE$: 72,835 ile polinom (3) model ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada ise r : 0,9284 $RMSE$: 77,589 ile polinom (2) model yer almıştır. Diğer modeller ise Sırasıyla üs model r : 0,8197, $RMSE$: 165,837, üstel model r : 0,797, $RMSE$: 120,435 yer almıştır. Üstel model ile ölçülen sediment değeri 2359,2 ppm için hesaplanan değer 10363 ppm olarak bulunmuştur. Bu durum pik değerler için modelin uygun olmadığını göstermektedir.

4.3. Yapay Sinir Ağları Sonuçları

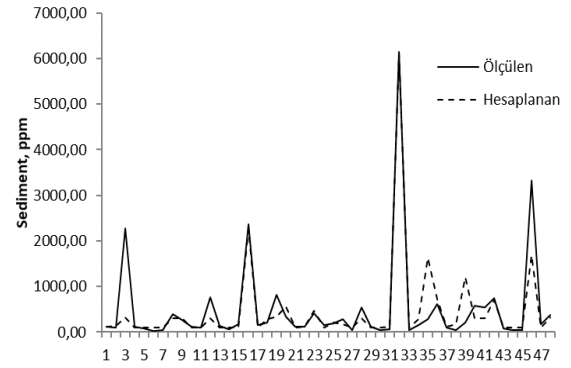
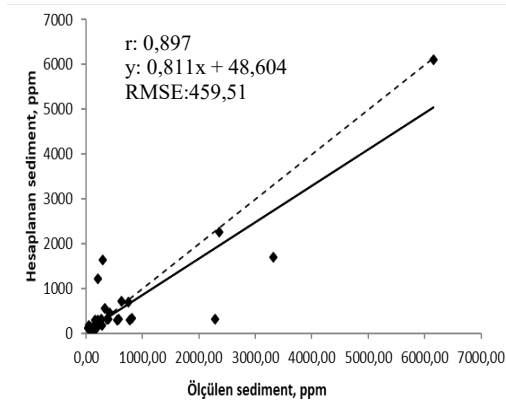
Taşınan sediment miktarı (ppm) ile akarsu debisi (m^3/sn) arasındaki ilişkiler yapay sinir ağları yöntemi ile incelenmiş; her bir istasyon için öğreti ve test değerleri ile elde edilen dağılım grafikleri $RMSE$, r ve denklemleri ile birlikte Şekil 4.15-Şekil 4.18’de verilmiştir.

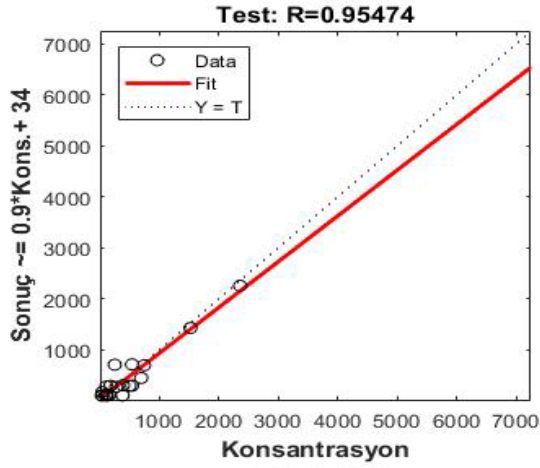




Şekil 4.15. Çiçekbükü istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

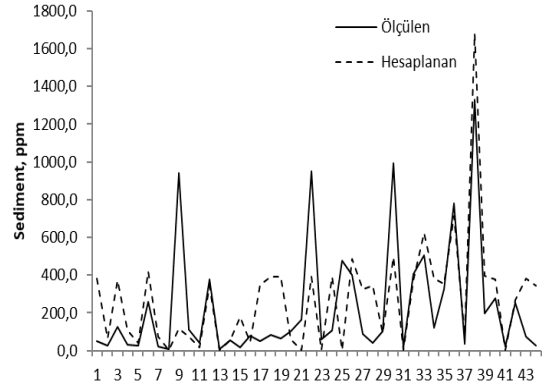
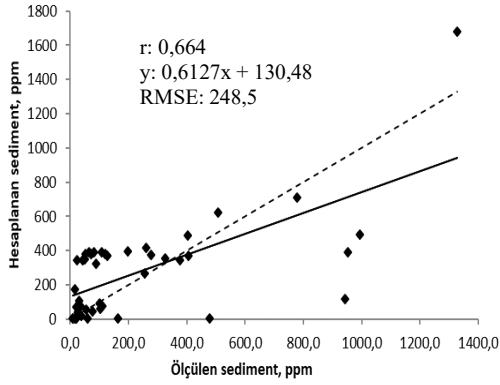
Çiçekbükü istasyonunda test için elde edilen r değeri 0,918 olarak belirlenmiştir. Ancak dağılım grafiği incelendiğinde özellikle düşük sediment değerlerinde modelin daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Regresyon analizi ile en yüksek r değeri 0,745 ve RMSE değeri 109,07 olarak belirlenmiş olup düşük sediment değerleri için benzer sorun gözlemlenmiştir. Bu durumda daha yüksek r ve daha düşük RMSE değeri dikkate alınarak Çiçekbükü istasyonu için YSA modelinin daha kullanışlı olduğu söylenebilir.

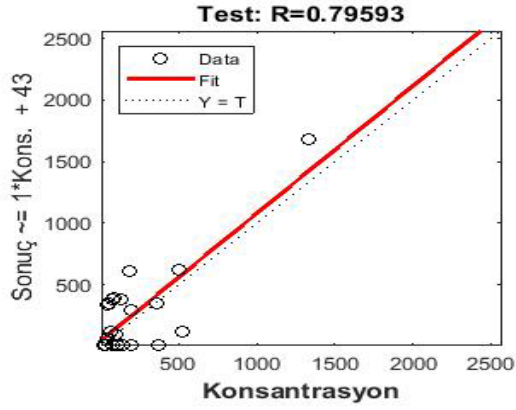




Şekil 4.16. Durucasu istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

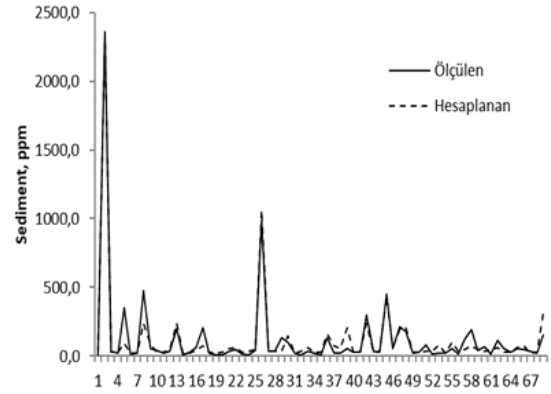
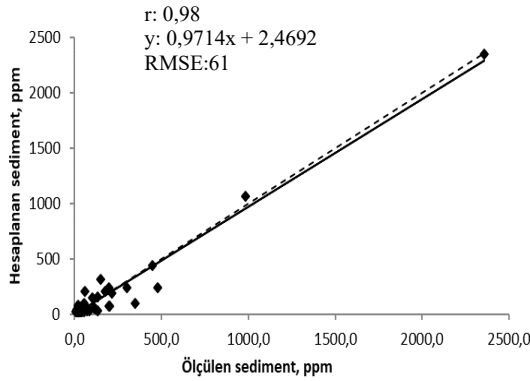
Durucasu istasyonunda test için elde edilen r değeri 0,955 olarak belirlenmiştir. Dağılım grafiği incelendiğinde ölçülen ve hesaplanan değerler arasında iyi bir uyum olduğu anlaşılmaktadır. Regresyon analizi ile en yüksek r değeri 0,752 ve RMSE değeri 675,186 ile üs model için elde edilmiştir. Bu durumda daha yüksek r ve daha düşük RMSE değeri dikkate alınarak Durucasu istasyonu için YSA modelinin daha kullanışlı olduğu söylenebilir.

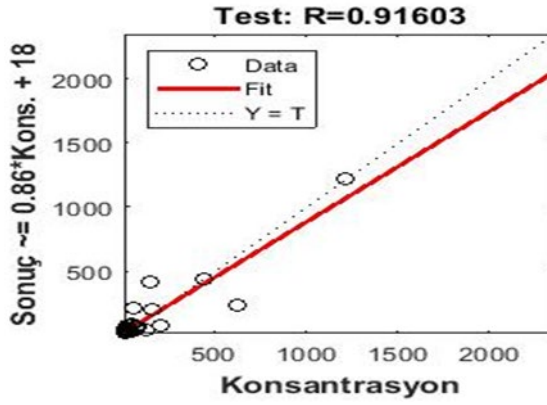




Şekil 4.17. Fatlı istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

Fatlı istasyonunda test için elde edilen r değeri 0,796 olarak belirlenmiştir. Ancak dağılım grafiği incelendiğinde özellikle düzensiz bir örtüşme olduğu görülmektedir. Regresyon analizi ile ise genel olarak düşük r değerleri elde edilmiştir. r değeri 0,664 ve RMSE değeri 401,484 olarak belirlenmiş olup düşük sediment değerleri için benzer sorun gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Fatlı istasyonunda sediment taşınımının model ile izlenmesi sağlıklı görülmemektedir.





Şekil 4.18. Gömelönü istasyonu ölçülen ve YSA ile tahmin edilen sediment değerleri dağılımları

Gömelönü istasyonunda test için elde edilen r değeri 0,916 olarak belirlenmiştir. Dağılım grafiği incelendiğinde pik debilerde dahil iyi bir örtüşme görülmektedir. Regresyon analizi ile ise polinom (3) modeli ile r değeri 0,937 ve RMSE değeri 72,835 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Gömelönü istasyonunda hem regresyon yöntemi hem de YSA yönteminin kullanılabileceği ancak YSA modelinin daha iyi sonuçlar vereceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.6. Tüm istasyonlara ait regresyon analiz yöntemi ve YSA özet tablosu

	r		RMSE	
	Yapay Sinir Ağları	Regresyon Analiz Yöntemi	Yapay Sinir Ağları	Regresyon Analiz Yöntemi
Çiçekbükü	0,957	0,745	46,430	109.070
Durucasu	0,897	0,752	459,51	675,186
Fatlı	0,664	0,363	248,50	401,484
Gömelönü	0,980	0,937	61,00	72,835

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeşilırmak havzasında yer alan Yeşilırmak ve Kelkit ırmakları üzerinde toplam dört istasyonda uzun yıllık EİEİ ve DSI debi ve sediment değerlerinin kullanıldığı çalışmada debi-sediment ilişkileri incelenmiştir. Akarsularda taşınan sediment miktarının sürekli ölçümünün zor olması nedeniyle mevcut veriler kullanılarak modellenmesi ve debi değeri kullanılarak tahmin edilme olanağı incelenmiştir. Bu amaçla regresyon yöntemi ile sediment anahtar eğrisinin elde edilmesi ve yapay sinir ağları yöntemleri ölçülmüş değerler baz alınarak performansları değerlendirilmiştir. Yapılan pek çok çalışma yapay sinir ağları yöntemlerini daha güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Acar ve Saplıoğlu (2020) Murat Nehri (Elazığ) üzerinde yaptıkları çalışmada yağış, debi ve sıcaklık verileri girdi, sediment konsantrasyonu verisi ise çıktı olarak kullanıldığı yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri oluşturmuşlardır. Sonuç olarak YSA yönteminin daha iyi sonuçlar verdiğini; ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında R^2 değerini 0,999 seviyesine kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Çalışmada nöron sayısının artması R^2 değerlerinin artmasını sağlamıştır. Söz konusu çalışmada üç farklı girdi ile elde edilen çalışma için girdilerin tekil etkileri incelenmemiştir. Ancak yapılan pek çok çalışmada sadece debi değerleri kullanılarak da benzer doğrulukta sonuçlar alınmıştır. Seyedian at al. (2016) sadece debi girdi değerini kullanarak sediment tahmini yaptığı çalışmada; regresyon modeli ile 0,27-0,58 arasında R^2 'ler elde edilirken YSA yöntemi ile bu değerler 0,96 seviyesine kadar çıkmıştır. Sonuç olarak YSA modelinin regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtilmiştir. Doğan (2009) sediment anahtar eğrisinin klasik regresyon analizi ile elde edilmesinde; debi ve sediment parametrelerinin doğasından kaynaklanan lineer olmayan kompleks ilişkiler sebebiyle iyi sonuçlar vermediğini belirtmiştir. Son yıllarda akarsu debisi ile askı maddesi miktarı arasındaki ilişkiyi açıklamak için yapay sinir ağları yönteminin tercih edildiğini belirtmiştir. Yazar yaptığı çalışmada bu amaçla kullanılan birçok katı madde taşınım denklemlerinin birbiriyle uyuşmadığını ve farklı sonuçlar verdiğini yapay sinir ağları yöntemiyle gerçeğe daha yakın

sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir. Bununla birlikte YSA yönteminin sahip olduğu dezavantaj özellikle hidrolojik çalışmalarda yeterli ve güvenilir düzeyde veriye ihtiyacı olmasıdır. Doğrudan ölçümlerin zorluğu ve zamansal değişimlerim söz konusu olması YSA yönteminin kullanımını zorlaştırmaktadır. Diğer bir tartışma konusu ise yöntemin kullanımında standart bir uygulama olmayışı; ağ mimarisi seçimi, eğitim algoritması, hata tanımı gibi kullanıcı tercih ve deneyimi ile ilgili sorunlardır (Anonim 2000).

Bu çalışmada benzer şekilde YSA yöntemi sadece Fatlı istasyonunda nispeten düşük test r değeri (0,795) elde edilmiş, diğer istasyonlarda 0,9 değerinin üzerinde r değerleri elde edilmiştir. Regresyon analizi için de Fatlı istasyonunda benzer durum gözlemlenmiş, diğer istasyonlarda ise genel olarak 0,8 değerinin üzerinde r değerleri elde edilmiştir. Bu değerler istatistiksel açıdan güçlü ilişkiyi göstermekte olup sediment taşınımında modellerin kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak düşük debi değerleri için modellerin çoğu ölçülen sediment değerlerinin üzerinde değerler tahmin ettiği çalışma sonucunda görülmüştür. Su yılı içerisinde büyük oranı oluşturan bu aralıkta yapılacak tahminler sağlıklı sonuç vermeyeceği bilinmelidir. Ayrıca yukarda söz edildiği gibi mevcut ölçülmüş veriler normal dağılım göstermediği yanı sıra gelecekteki değişken koşulları da temsil edebilmesi güçtür.

Sonuç olarak akarsularda sediment taşınımının sağlıklı bir şekilde izlenmesinin en geçerli yolu; gelişmiş teknolojiyi doğrudan ölçüm ve veri temini için kullanmaktır. Bu amaçla otomatik örnekleme yapan yöntemlerin yanı sıra, optik ve akustik yöntemlerin kullanımları yaygınlaştırılmadır. Böylece hem gerçek değerlere doğrudan ulaşılırken hem de ileriye yönelik yapılacak regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemleri gibi çalışmalara yeterli ve sağlık veri sağlanmış olacaktır. Bu şekilde elde edilecek modeller doğrudan ölçüm olanağı olmayan koşullarda kullanım alanı bulacaktır.

KAYNAKLAR

- Acar R, Saplıoğlu K (2020) Akarsulardaki sediment taşınımının yapay sinir ağları ve Anfis yöntemleri kullanılarak tespiti, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 9(1): 437-450
- Achite M, Ouillon S (2007) Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995) Journal of hydrology 343(3): 187-202
- Anonim (2007) 2006 Yılı DSİ’ce işletilen ve devredilen sulama tesisleri değerlendirme raporu. DSİ Gn. Md., İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 482
- Anonim (2000) Artificial neural networks in hydrology. I: preliminary concepts, ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, Journal of Hydrologic Engineering 5(2): 115-123
- Apan M (2004) Hidroloji. O.M.Ü Ziraat Fakültesi Ders kitabı, Samsun, s. 204
- Asselman NEM (2000) Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology 234: 228-248
- Baykal T, Terzi Ö (2012) Akarsulardaki katı madde miktarının yapay sinir ağları ile tahmini: Kızılırmak nehri örneği, SDU International Technologic Science 4(3): 8-14
- Berkün M (2005) Su Kaynakları Mühendisliği. İstanbul, s. 20
- Birleşmiş Milletler Su İstatistikleri, http://www.unwater.org/statistics_res.html (erişim tarihi: 12.10.2020)
- Benisi GH, Salarijazi M, Ahmadianfar I, Heydari M, Zhang T (2020) Developing a sediment rating curve model using the curve slope. polish journal of environmental studies 29(2): 1151-1159
- Cıgızoğlu HK (2000) Suspended sediment estimation for rivers using artificial neural networks and sediment rating curves. Turkish J. Eng. Env. Sci. 26: 27-36
- Çakmak Ç, Demir T, Aytaç AS (2018) Korkuteli çayı havzasında erozyon materyallerinin taşınım süreçleri. TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara, Türkiye, s. 1110

Demirkıran O (1997) Tarım ve Mühendislik. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası 54: 45-46

Doğan E (2009) Katı madde konsantrasyonunun yapay sinir ağlarını kullanarak tahmin edilmesi. İMO Teknik Dergi 302: 4567-4582

DSİ, Hidroloji Sözlüğü, <http://dsi.gov.tr/dsi-sozlukler> (erişim tarihi: 23.09.2020)

DSİ, <http://www.dsi.gov.tr/docs/mevzuatlar/hidrometrik-olcum-yonergesi.pdf?sfvrsn=2> (erişim tarihi: 23.09.2020)

DSİ, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754> (erişim tarihi: 23.09.2020)

Efsandirai M, Maheshwari BL (2001) Field evaluation of furrow irrigation models, J. Agric. Engng. Res. 79(4): 459-479

Erpul G, Şahin S, Küçümen A, Akdağ MA, Demirtaş İ, Çetin E (2018) Türkiye su erozyonu atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara, s. 28

Falkenmark M, Lundqvist J (1992) Coping with Multi-cause Environmental Challenges-A Water Perspective on Development, International Conference on Water and the Environment, Dublin, s. 8

Ferguson RI (1986) River Loads Underestimated by Rating Curves. Water Resources Research 22: 74-76

Fırat M, Güngör M (2004) Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. İMO Teknik Dergi 219: 3267-3282

George D, Mallery P (2010). SPSS for windows step by step: A simple guide and reference, 18.0 update. Prentice Hall, s. 386

Ghorbani MA, Hosseini SH, Fazelifard MH, Abbasi H (2013) Sediment load estimation by MLR, ANN, NF and Sediment Rating Curve (SRC) in Rio Chama River. Journal of Civil Engineering and Urbanism 3(5): 136-141

Glysson GD (1987) Sediment Transport Curves. U.U. Geological Survey Report, Virginia, s. 87-218

Gottschalk LE (1964) Reservoir Sedimentation. Handbook of Applied Hydrology (Edt. V.T. CHOW), Sect. 17-1 McGraw-Hill Book Company, New York-London-Sydney-Toronto, s. 1440

Gonzalez M, Cordova JR (1997) Sediment Yield Estimation in Small watersheds based on Stream flow and Suspended Sediment Discharge Measurements, Soil Technology 11: 57-65

Grams PE, Buscombe D, Topping DJ, Kaplinski M, Hazel JE (2019) How many measurements are required to construct an accurate sand budget in a large river? Insights from analyses of signal and noise, *Earth Surface Processes and Landforms* 44: 160-178

Güven B, Akdoğan Z (2016) Evaluation of empirical modelling techniques for the estimation of sediment amount in rivers, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering* 2(2): 309-3018

Horowitz AJ (2003) An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological processes* 17(17): 3387-3409

Kao SJ, Lee TY, Millima, JD (2005) Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 16(3): 653

Kişi Ö (2008) Constructing neural network sediment estimation models using a data driven algorithm, *Mathematics and Computers in Simulation* 79: 94–103

Kişi Ö, Özkan C, Akay B (2012a) Modeling discharge–sediment relationship using neural networks with artificial bee colony algorithm, *Journal of Hydrology*, s. 94-103, 428-429

Konukçu F, İstanbulluoğlu A, Kocaman İ, Albut S, Gezer E (2007) Küresel Su Krizi: Bu Günü, Geleceği ve Önlenebilir İmkanları, 22 Mart 2007. Dünya Su Günü Etkinleri, Tekirdağ, s. 24-49

Kostaschuk RA, Villard PV (1996) Flow and sediment transport over large subaqueous dunes: Fraser River, Canada. *Sedimentology* 43: 849–863

Meral R (1997) Türkiye akarsularında sediment taşınım miktarı ve sediment taşınımının belirlenmesinde kullanılan yöntemler. Basılmamış Doktora Semineri, Samsun

Miller CR (1951). Analysis of flow duration sediment rating curve method of computing sediment yield, U.S. Department of The Interior (USDI), Bureau of Reclamation Sedimentation Section, Colorado, s. 3-15

Öztemel E (2006) Yapay Sinir Ağları, 2. Baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul, s. 29

Öztürk F (1996) Suspended sediment yields of rivers in turkey. Global and regional perspectives, proceedings of the exeter symposium. IAHS Publ, s. 236

Raghuwanshi NS, Singh R, Reddy LS (2006) Runoff and Sediment Yield Modeling Using Artificial Neural Networks: Upper Siwane River India. *Journal of Hydrologic Engineering* 11(1): 71–79

Riad S, Mania J, Bouchaou L, Najjar Y (2004) Rainfall-runoff model using an artificial neural network approach. *Mathematical and Computer Modelling* 40(7-8): 839–846

Rodríguez-Blanco ML, Taboada-Castro MM, Taboada-Castro MT (2010) Factors controlling hydro-sedimentary response during runoff events in a rural catchment in the humid Spanish zone. *Catena* 82(3): 206-217

Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4): 591-611

Shiklomanov IA (1990) Global Water Resources. *Nature and Resources* 26(3): 34-43

Simons DB, Şentürk F (1992) Sediment transport technology, Water and Sediment Dynamics, Water Resources Publications, Colorado, USA, s. 281

Seyedian S, Rouhani H (2016) Assessing ANFIS accuracy in estimation of suspended sediments, *Građevinar* 67(12): 1165-1176

Şahin V, Bilgili L, Vardar N (2020) Yolcu gemilerinin atıksularının denizdeki seyrelmelerinin yapay sinir ağları ile incelenmesi. 5. Ulusal Deniz Turizmi Sempozyumu “Dijital Dönüşüm”, İzmir, Türkiye, s. 1-14

Tabachnick BG, Fidell LS (2013). Using multivariate statistics. (6th edition). Boston, Pearson, s. 815

Tayfur G (2002) Artificial neural networks for sheet sediment transport, *Hydrological Sciences Journal* 47(6): 879-892

Terzi Ö, Tahsin B (2012) Akarsulardaki katı madde miktarının yapay sinir ağları ile tahmini: Kızılırmak nehri örneği Sediment estimation for rivers using artificial neuralnetwork: Case study of kızılırmak river. *SDU International Technologic Science* 4(3): 8-14

Thorne PD, Hane DH (2002) A review of acoustic measurement of small-scale sediment processes. *Continental Shelf Research* 22: 603-632

Ulugür ME (1972) Su Mühendisliği. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, s. 357

Ülke A (2010) Ege bölgesi doğal akarsularında katı madde taşınımı için ampirik, regresyon ve yapay zeka yöntemlerinin uygulanması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, s. 243

Ülke A, Tayfur G, Özkul S (2009) Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE* 14(9): 954-965

Van Maanen B, Coco G, Bryan KR, Ruessink BG (2010) The use of artificial neural networks to analyze and predict alongshore sediment transport. *Nonlinear Processes in Geophysics* 17(5): 395-404

Yeşilırmak Havzası Taşkın Yönetim Planı, <https://www.tarimorman.gov.tr> (erişim tarihi: 23.01.2022)

Yang CT, Marsooli R, Aalami MT (2009) Evaluation of total load sediment transport formulas using ANN. *International Journal of Sediment Research* 24(3): 274–286

Yitian L , Gu RR (2003) Modeling flow and sediment transport in a river system using an Artificial Neural Network, *Environmental Management* 31(1): 122–134

Yılmaz B, Aras E (2016) Akarsularda sediment taşınımı tahmininin taşkın kontrolündeki rolü. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Rize, Türkiye, s. 771-782

Zeiringer B, Seliger C, Greimel F, Schmutz S (2018) River Hydrology, Flow Alteration, and Environmental Flow, *Riverine Ecosystem Management*, s. 67-68

Zhu YM, Lu XX , Zhou Y (2007) Suspended sediment flux modeling with artificial neural network; An Example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China. *Geomorphology* 84: 111-125