



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KIZILIRMAK HAVZASINDA YAPAY ZEKÂ
METOTLARI KULLANARAK SEDİMENT
TAŞINIMININ TAHMİNİ**

Ahmet Alperen ACAR

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Alperen ACAR tarafından hazırlanan “**Kızılırmak Havzasında Yapay Zekâ Metotları Kullanarak Sediment Taşınımının Tahmini**” adlı tez çalışması 28/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği /~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

Danışman

Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
LEE Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Ahmet Alperen ACAR

Tarih:28.11.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

KIZILIRMAK HAVZASINDA YAPAY ZEKÂ METOTLARI KULLANARAK SEDİMENT TAŞINIMININ TAHMİNİ

Ahmet Alperen ACAR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

2019, 89 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI**

Baraj rezervuarlarının ekonomik ömürlerinin daha hızlı tükenmesine sebep olmaları nedeniyle sediment miktarının doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Baraj rezervuarlarında ölü hacimlerin ekonomik ömürlerinin azalmasını önlemek ve gelebilecek sedimenti azaltmak için, baraj rezervuarlarının sürdürülebilirliklerini tehdit eden ve akarsular tarafından taşınan sediment birikimlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Sedimenti etkileyen pek çok jeolojik, topoğrafik ve klimatolojik faktör vardır. Bu faktörlerin çokluğu ve birbirleriyle olan ilişkilerinin karmaşık olması nedeniyle, her hangi bir akarsuyun taşıdığı sediment miktarının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi oldukça zordur. Yapay sinir ağları sediment gibi karmaşık problemlerin çözümünde son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada sediment tahmini amacıyla, Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan 4 farklı gözlem istasyonuna ait akım (m^3/sn) ve taşınan sediment miktarı ($ton/gün$) verileri kullanılmıştır. Sediment tahmininde, akım ve sediment verilerinden oluşan 10 farklı girdi kombinasyonu kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağları (YSA) modelleri sonuçları ile sediment anahtar eğrisi yöntemi sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca ayrık dalgacık dönüşümü uygulanarak işlemler tekrarlanmıştır. YSA ve Dalgacık-YSA modellerinin başarısı, Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (E_{Nash}) ve Determinasyon Katsayısı (R^2) performans kriterlerine göre belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Kızılırmak-Söğütluhan İstasyonu hariç tüm istasyonlarda, genel olarak dalgacık-YSA yöntemlerinin, sediment tahmininde diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Kızılırmak Nehri, Sediment, Sediment Anahtar Eğrisi, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

MS THESIS

ESTIMATION OF SEDIMENT TRANSPORT USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE KIZILIRMAK BASIN

Ahmet Alperen ACAR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

2019, 89 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Asst. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI**

Accurate estimation of the amount of sediment is very important, as it leads to faster depletion of the economic life of dam reservoirs. In order to prevent the decrease in the economic life of the dead storage and to reduce the sedimentation in the dam reservoirs, it is necessary to determine the sediment which is threatens reservoirs sustainability, and carried by rivers. There are many geological, topographic and climatologic factors affecting the sediment. Because of the multiplicity of these factors and the complexity of their relationships with each other, it is quite difficult to calculate the amount of sediment carried by any river. Recently, Artificial Neural Networks (ANN) are widely used to solve the complex problems such as sediment.

In this study, the data of flow (m^3/sec) and the amount of transported sediment (ton/day) data of 4 different observation stations that are in the Kızılırmak River Basin is used for the prediction of the sediment. In the sediment estimation, 10 different input combinations consisting of different flow streams and SSL data were used. These neural network methods developed by using those data are compared with the results of the sediment rating curve method. It was also accomplished by applying discrete wavelet transform. The success of ANN and Wavelet-ANN models were determined according to Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (E_{Nash}) and Determination Coefficient (R^2) performance criteria. As a result of the study, it was determined that wavelet-ANN methods were generally more successful than sediment estimation in all stations except Kızılırmak-Söğütlühan Station.

Keywords: Discrete Wavelet Transform, Kızılırmak River, Sediment, Sediment Rating Curve, Artificial Neural Network

ÖNSÖZ

Yüksek lisans derslerimde, tez ve seminer hazırlamamda bilgi ve tecrübesini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ'a lisans hayatımdan itibaren aldığım tüm yardımlar için minnettarım.

Ayrıca manevi destekleri için eşim Derya KİRİŞ ACAR'a, annem Elif ACAR'a, babam Lütfi ACAR'a ve abim Mehmet Alptekin ACAR'a çok teşekkürler.

Ahmet Alperen ACAR
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. SEDİMENT	12
3.1. Sediment Kavramı	12
3.1.1. Sedimentin dane büyüklüğü, biçimi ve granülometrisi	14
3.1.2. Sedimentin yoğunluğu ve porozitesi	16
3.2. Sedimentasyonun Rezervuarların Ekonomik Ömrüne Etkileri	16
3.3. Gözlem İstasyonları	19
4. MATERYAL VE YÖNTEM	20
4.1 Materyal	20
4.2. Araştırma Alanının Tanıtılması	24
4.2.1 Toprak özellikleri ve topoğrafya	25
4.2.1.1 Toprak özellikleri.....	25
4.2.1.2 Topoğrafya.....	26
4.2.2 Genel jeoloji	28
4.2.3 Meca karakteristikleri	28
4.2.4 İklim	29
4.2.5 Erozyon, sediment durumu ve sediment kaynakları	31
4.2.5.1 Erozyon durumu	31
4.2.5.2 Sediment kaynakları	32
4.3 Yöntem.....	32
4.3.1. Sediment anahtar eğrisi	32
4.3.2 Yapay sinir ağları (YSA).....	35
4.3.2.1. Yapay sinir ağlarının yapısı	36
4.3.2.2. Yapay sinir ağlarının özellikleri	37
4.3.2.3. Yapılarına göre ağ çeşitleri	38
4.3.2.4. Öğrenme yöntemine göre ağ çeşitleri	40
4.3.3. Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA)	41
4.3.4. Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA)	42

4.3.5. Dalgacık dönüşümü (DD)	43
4.3.5.1 Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD)	45
4.3.5.2. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD).....	45
4.3.6. Performans değerlendirme kriterleri	48
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	50
5.1. ÇKYSA-GDX Model Uygulaması	51
5.2. RTYSA Model Uygulaması.....	54
5.3. Dalgacık-YSA Model Uygulamaları	57
5.3.1. Dalgacık-ÇKYSA-GDX model uygulaması	59
5.3.2. Dalgacık-RTYSA model uygulaması.....	62
5.4. Yapay Zekâ Metotlarının Sediment Anahtar Eğrisi ile Karşılaştırılması	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	73
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Akarsudaki katı maddelerin hareket türleri (Graf,1998)	12
Şekil 3.2. Sedimentin su derinliğine bağlı dağılımı (Özbek ve Özcan 2001)	13
Şekil 3.3. Küresellik ve yuvarlaklıkların farkları	15
Şekil 3.4. Granülometri eğrisi örneği	15
Şekil 3.5. Bir rezervuarda sediment birikimi (Pekmezci ve Buttanrı, 2011).....	17
Şekil 3.6. Jhimruk hidroelektrik santrali türbin aşınması (Randle ve ark, 2017).....	17
Şekil 3.7. Paonia Barajı'nda yaklaşık 18 metrelik sedimantasyon (Randle ve ark, 2017)	18
Şekil 3.8. USDH-48 ve USD-49 örnek alma aletleri.....	19
Şekil 4.1. Kullanılacak sediment gözlem istasyonlarının Kızılırmak Havzası'ndaki konumları-1.....	21
Şekil 4.2. Kullanılacak sediment gözlem istasyonlarının Kızılırmak Havzası'ndaki konumları-2.....	22
Şekil 4.3. 1517- Karanlıkdere-Şefaati İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi.....	23
Şekil 4.4. 1535- Kızılırmak-Söğütlühan İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi.....	23
Şekil 4.5. 1535- Kızılırmak-Bulakbaşı İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi.....	23
Şekil 4.6. 1545- Gökırmak-Pürtülü İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi.....	24
Şekil 4.7 Kızılırmak Havzası'nın Türkiye'deki konumu	24
Şekil 4.8. Kızılırmak Havzası büyük toprak grupları haritası	26
Şekil 4.9. Kızılırmak Havzası yükseklik haritası	27
Şekil 4.10. Kızılırmak Havzası eğim haritası	28
Şekil 4.11. Kızılırmak Havzası göller ve akarsular haritası	29
Şekil 4.12. Kızılırmak Havzası yıllık ortalama sıcaklık haritası	30
Şekil 4.13. Kızılırmak Havzası ortalama yıllık toplam yağış haritası	31
Şekil 4.14. 1517 Karanlıkdere- Şefaati İstasyonu sediment anahtar eğrisi	33
Şekil 4.15. 1535 Kızılırmak Nehri-Söğütlühan İstasyonu sediment anahtar eğrisi.....	34
Şekil 4.16. 1539 Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu sediment anahtar eğrisi.....	34
Şekil 4.17. 1545 Gökırmak-Purtulu İstasyonu sediment anahtar eğrisi	35
Şekil 4.18. Sinir hücrelerinin bağlantılarının yapısı	36
Şekil 4.19. Yapay sinir ağı modeli (Öztemel, 2003).	37
Şekil 4.20. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı (Afşar, 2008)	38
Şekil 4.21. Çok katmanlı geri beslemeli yapay sinir ağı (Afşar, 2008).....	39
Şekil 4.22. Çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı (Afşar, 2008) ..	39
Şekil 4.23.Öğretmenli eğitim (Önal, 2009)	40
Şekil 4.24. Öğretmensiz eğitim (Önal, 2009).....	40
Şekil 4.25.Yarı öğretmenli eğitim (Önal, 2009).....	41
Şekil 4.26. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli.....	41
Şekil 4.27. Radyal tabanlı yapay sinir ağlarının ağ yapısı (Kaynar ve ark., 2016)	43
Şekil 4.28. Kullanılmakta olan bazı dalgacık modelleri.....	44
Şekil 4.29. Ayrık dalgacık dönüşümünde filtreleme (Misiti ve ark. 1997)	46
Şekil 4.30. Dalgacık ayrıştırma ağacı (Üçüncü seviye).....	46
Şekil 4.31. Dalgacık ayrıştırma ağacı içeriği (Üçüncü seviye)	47
Şekil 4.32. Verilerin iki katına çıkmasını engelleyen filtre yapısı	47

Şekil 5.1. Karanlık Dere – Şefaati İstasyonu’na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları	67
Şekil 5.2. Kızılırmak Nehri- Söğütlühan İstasyonu’na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları.....	68
Şekil 5.3. Kızılırmak Nehri- Bulakbaşı İstasyonu’na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları.....	69
Şekil 5.4. Gökırmak- Purtulu İstasyonu’na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları.....	70
Şekil A.1. Karanlık Dere-Şefaati İstasyonu’na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri	80
Şekil A.1. devam. Karanlık Dere-Şefaati İstasyonu’na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri.....	81
Şekil A.2. Kızılırmak Nehri-Söğütlühan İstasyonu’na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri	82
Şekil A.3. Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu’na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri.	83
Şekil A.4. Gökırmak-Purtulu İstasyonu’na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri.....	84
Şekil B.1. Şefaati İstasyonu’nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değışimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değışimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi.....	85
Şekil B.2. Söğütlühan İstasyonu’nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değışimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değışimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi.....	85
Şekil B.3. Bulakbaşı İstasyonu’nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değışimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değışimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi.....	86
Şekil B.4. Purtulu İstasyonu’nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değışimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değışimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R^2 ve E_{Nash} değışimi.....	86
Şekil C.1. Şefaati İstasyonu’na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri.....	87
Şekil C.2. Söğütlühan İstasyonu’na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri.....	87
Şekil C.3. Bulakbaşı İstasyonu’na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri.....	88
Şekil C.4. Purtulu İstasyonu’na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri.....	88

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Çaplarına göre danelerin belirlenmesi.....	14
Çizelge 3.2. Sediment yığınlarının poroziteleri (Bayazıt ve Avcı,2010)	16
Çizelge 3.3. Rezervuarların sediment durumu (Bayazıt ve Avcı,2010).....	18
Çizelge 4.1. Kullanılacak sediment gözlem istasyonlarının özellikleri.....	20
Çizelge 4.2. Kızılırmak Havzası erozyon durumu	31
Çizelge 4.3. E_{Nash} değerine göre model performans dereceleri (Moriasi ve ark., 2007)	49
Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait sediment gözlem yılları, eğitme ve test veri sayısı.....	50
Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan girdi kombinasyonları.....	51
Çizelge 5.3. ÇKYSA-GDX modeline ait test periyodu sonuçları	53
Çizelge 5.4. RTYSA modeline ait sonuçlar	55
Çizelge 5.5. Dalgacık-ÇKYSA-GDX modeline ait sonuçlar	60
Çizelge 5.6. Dalgacık-RTYSA modeline ait sonuçlar.....	63
Çizelge 5.7. Test verileri için yapay zekâ metotları ve sediment anahtar eğrisi için sonuçlar.....	65

KISALTMALAR

ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AGNPS	: Noktasal Kaynaklı Olmayan Tarımsal Kirlilik
ANFIS	: Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi
AR	: Otoregresif
ARMA	: Otoregresif Hareketli Ortalama
BM	: Bulanık Mantık
Çİ	: Çok iyi
ÇKYSA	: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları
DSİ	: Devlet Su İşleri
DVR	: Destek Vektör Regresyonu
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
E_{Nash}	: Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı
GBYSA	: Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
GDX	: Adaptif Öğrenmeli ve Momentum Özellikli En Dik İniş
İBYSA	: İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
İBGYYSA	: İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları
KNN	: En Yakın Komşuluk Algoritması
KOKH	: Karekök Ortalama Karesel Hata
OKH	: Ortalama Karesel Hata
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
P_{Bias}	: Bias Yüzdesi
PD	: Performans Derecesi
Q_t	: t Anında Ölçülen Nehir Akımı (m ³ /s)
Q_{t-1}	: t-1 Gecikmesinde Nehir Akımı (m ³ /s)
Q_{t-2}	: t-2 Gecikmesinde Ölçülen Nehir Akımı (m ³ /s)
R²	: Determinasyon Katsayısı
RTYSA	: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları
SAE	: Sediment Anahtar Eğrisi
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
SGİ	: Sediment Gözlem İstasyonu
S_t	: t Anında Ölçülen Sediment Miktarı (ton/gün)
S_{t-1}	: t-1 Gecikmesinde Ölçülen Sediment Miktarı (ton/gün)
S_{t-2}	: t-2 Gecikmesinde Ölçülen Sediment Miktarı (ton/gün)
SWAT	: Soil and Water Assesment Tool
USGS	: United States Geological Survey
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan hidrolik potansiyeli kullanabilme oranı, ülkelerin gelişmesinin ve sanayileşmesinin bir göstergesi haline gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde %80'lik hidrolik potansiyelden yararlanma oranı varken, gelişmekte olan ülkelerde, %25-30 hidrolik potansiyel yararlanma oranı vardır (EİE, 2000). Bundan dolayı, hidrolik potansiyeli kullanabilme çalışmalarının ileriki zamanlarda ülkemizin de arasında yer aldığı gelişmekte olan ülkelerde artış göstereceği düşünülmektedir. Bu nedenle, gelişmişlik ile birlikte artacak olan enerji ihtiyacı doğrultusunda hidrolik potansiyeli kullanabilme için gerekli çalışmalar ülkemizde de artış gösterecektir. Ülkemizde bulunan akarsuların üzerinde tarım, endüstri ve içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak için, ayrıca taşkın kontrolü ve enerji üretimi gibi birçok amaçlarla birçok baraj yapılmıştır. Hangi amaçla yapılırsa yapılsın, sedimentasyon bilgisinin az olması ve iyi tahmin edilememesi nedeniyle bu yapıları besleyen kaynaklar ile gelen kum, silt, kil ve çakıl gibi sedimentler rezervuarları doldurmakta ve zamanla depolama kapasitelerinin azalmasına neden olmaktadır (Kişi, 2003).

Barajların planlanma aşamasında bu sediment miktarının doğru hesaplanamaması sonucunda ise barajların ölü hacimleri dolarak, ömürlerinin planlanandan daha kısa sürmesine yol açmaktadır. Sedimentasyonun doğru hesaplanması Türkiye'nin de içinde bulunduğu yarı kurak iklime ve karışık bir topografyaya sahip ülkelerde oldukça önem kazanmaktadır (Kişi, 2003).

Ülkemizde akarsular tarafından taşınan sediment miktarının yılda 450 milyon ton olduğu bilinmekte olup bu durum, ülkemizin tarımsal ekonomisi için oldukça önemli olan toprağın verimli olan üst tabakasının bulunduğu yerden hareket ederek başka yerlere taşınmasına neden olmaktadır. Ülkemizin topraklarında sedimentasyon ve erozyon çevre kirliliği sorunu olmaya başlamıştır. (Kişi, 2003).

Rezervuara giren kaynaklar tarafından taşınan sediment miktarlarının tahmini, öncelikle baraj, bağlama ve mahmuzlar gibi su yapılarının planlanarak boyutlandırılmasında ve ekonomik ömrün istenildiği sürede olması için ölü hacmin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca sediment miktarı, havza bazında erozyon karakteristiklerinin belirlemede de önemli rol oynamaktadır.

Her rezervuara, beslendiği kaynaklardan sediment gelir ve çökeler. Önemli olan rezervuara girecek sedimenti tahmin ederek, yüksek maliyetlerle yapılan projelerden ekonomik ömrü tamamlanana kadar beklenen faydaların sağlanmasıdır. Bunun için planlama aşamasında iyi bir tahminde bulunup, ekonomik ömrü boyunca gelecek olan sedimenti hesaplayarak bir ölü hacim bırakılmalıdır. Sediment miktarı ile ilgili yapılacak tahminin fazla olması durumunda ise gereği olmayan bir maliyet artışı ortaya çıkacaktır. Bu yüzden yapılacak tahminin iyi analiz edilerek, maliyeti artırmaktan veya ekonomik ömrünü bile tamamlayamayan projeler yapılmasından kaçınılmalıdır.

Akarsulardaki sediment, akımın debisine ve sedimentlerin boyutlarına göre askıda ve sürüntü halinde rezervuara giriş yapar. Askıda taşınan sediment miktarı ile toplam sedimentin arasında %75-95'lik bir oran vardır (Yang, 1996).

1950'li yıllardan bu yana, taşınan sediment miktarını tahmin etmek için ampirik yöntemler kullanılmakta olup, ampirik yöntemlerle sediment miktarını tahmin etmek için ihtiyacımız olan havza karakteristiklerini belirlemek zor olduğundan dolayı kolay hesaplanabilir bir yöntem olmamıştır. Türkiye'de sediment miktarının ölçülmesi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmakta iken, artık sadece Devlet Su İşleri tarafından yapılmaktadır. Gözlemler sonucunda bulunan değerlere göre sediment anahtar eğrileri (SAE) çizilmektedir. Genellikle planlama aşamasında bu eğrilerden yararlanılmaktadır.

Sediment miktarının belirlenmesi konusunda sediment gözlem istasyonları (SGİ) en sağlıklı sonucu vermesine karşın oldukça maliyetli ve uzun zamana ihtiyaç duyulan bir yöntemdir. Her ölçümde ölçüm yapılan kesitin yenilenerek olası hataların önüne geçmek gerekmektedir.

Son zamanlarda karmaşık ve lineer olmayan problemlerin çözümünde yapay zekâ yöntemleri oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ yöntemleri elde bulunan verileri kullanarak istenen sonuçları öğrenme yoluyla elde eden tekniklerdir. Bu nedenle havzaya ait karakteristik değerlere ihtiyaç duyulmadan istenilen verilerin sonuçları tahmin edilebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada Kızılırmak Havzası'nda bulunan 1517, 1535, 1539, 1545 numaralı sediment gözlem istasyonlarındaki sediment miktarı, hem ilgili istasyonlara ait sediment anahtar eğrileri ile hem de yapay zekâ yöntemleri ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Katı madde tahmini için ilk yapılan çalışmalarda Laursen (1958) akım şartları ile katı madde debisi arasında bir ilişki olduğunu bir denklem ile ifade etmiştir. Bagnold (1966) akım etkisine bağlı olarak denklem elde etmiş, Engelund ve Hansen (1967) ise bu denklemi geliştirerek katı madde miktarı hesabı için yeni bir denklem elde etmişlerdir. Yang (1972) yaptığı çalışmada ortalama hızın, enerji çizgisi eğiminin ve kayma gerilmesinin katı madde miktarı ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmalardan, aynı denklemin farklı laboratuvar ve saha verileri için farklı doğrulukta sonuçlar verdiği ve ele alınan bir nehirde kullanılabilir en uygun denklemi seçmenin oldukça zor olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu denklemlerin hiç birinin evrensel kabulü de yoktur. Bu denklemlerin kabulünün yalnızca geliştirildikleri şartlar için geçerli olabileceği ileri sürülmüştür (Yang, 1972).

Kumar ve Foufoula (1993) tarafından yapılan çalışmada, yağış verilerinin analizinde dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Yağış verilerini çok çözünürlüklü analiz ile bileşenlerine ayırarak her bileşen analiz edilmiştir.

Abrahat ve White (2001) tarafından yapılan çalışmada, Malawi'deki 1981-1985 su yıllarına ait yağış verilerine karşılık gelen 117 tane akış ve sediment gözlem verisi kullanılmıştır. Yağış, maksimum 30 dakikalık yağış şiddeti, akış ve akış katsayısı girdi değişkenleri olarak kullanılmış olup, veriler eğitilmeden önce logaritmaları alınmıştır. Yapay sinir ağları (YSA) girdi ve çıktı değerleri ile test edilirken, diğer ağlar farklı ağırlıktaki yapay gürültülerle eğitilmiştir. Çalışmada YSA modellerinin yanı sıra Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) metodu da kullanılmış ve sediment tahmini için optimum seviyede yapay gürültü katkılı YSA modelleri ile daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Öztürk ve ark. (2003), Noktasal Kaynaklı Olmayan Tarımsal Kirlilik (Agricultural Non-point Source Pollution-AGNSP) modeli ile sediment miktarı ve yüzey akışı hakkında tahminde bulunmaya çalışmış ve ortaya çıkan akış değerleri ile mevcut ölçüm değerlerini kıyaslamışlardır.

Wang ve Ding (2003) yaptıkları çalışmada, YSA ve dalgacık tekniğini birlikte kullanmışlardır. Orijinal zaman serisi dalgacık dönüşümü ile alt-zaman serilerine ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılmış zaman serileri girdi olarak kullanılıp orijinal zaman serisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ve dalgacık analizinin birleşiminden oluşan bir

modeli, günlük akımı ve yer altı suyu seviyesini tahmin etmek için kullanmışlardır. Sonuçlar Oto-Regresif Hareketli Ortalama (Auto Regressive Moving Average-ARMA) sonuçları ile karşılaştırılmış olup dalgacık-YSA modelinin oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Newham ve ark. (2003) tarafından, Avustralya'da bulunan Yukarı Murrumbidgee Havzası'nda taşınan sediment miktarının hesabı için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Değişkenler teorik ya da ampirik yaklaşımlar sonucu elde edilen değerlerden oluşturmuştur. Araştırma sonucunda yatak yükü, askı maddesi miktarı ve toplam katı madde miktarı değerleri için giriş değişkenleri lokal duyarlılık analizine tabi tutulmuştur.

Kişi (2004) yaptığı çalışmada, Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Quebrada Blanca istasyonu ait 5 yıllık akış ve askıda sediment verilerini kullanarak sediment tahmininde bulunmak amacıyla dokuz farklı bulanık model geliştirmiştir. İki farklı anahtar eğrisi ile bulanık modellerin karşılaştırıldığı çalışma sonucunda, bulanık modellerin her iki anahtar eğrisine göre çok daha başarılı sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Cığızoğlu (2004) yaptığı çalışmada, Philadelphia'daki Schuykill Nehri'nin bulunduğu alt ve üst havzaya ait iki akım gözlem istasyonu (AGİ)'nin günlük akım ve askıda sediment verilerini kullanmıştır. Burada, geçmiş ölçümler kullanılarak YSA ve sediment anahtar eğrisi yöntemleri ile alt havzaya ait sediment miktarı tahmin edilmiştir. Sediment tahminleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Alt havzanın sediment miktarının tahmini için ilk aşamada, alt havzanın ve üst havzanın geçmiş yıllara ait sediment değerleri ayrı ayrı girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. İkinci aşamada ise alt havzanın sediment tahmini için girdi değişkeni olarak, yine alt ve üst havzanın geçmiş yıllara ait akım verileri girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Sediment tahmini için Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA), geleneksel oto-regresif (AR) modeller ve regresyon modelleri kullanılmış, sonuçlar ayrıca sediment anahtar eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sediment anahtar eğrisi, sedimenti, toplamda ölçüm değerlerinden %74 daha az, YSA ise %10 daha fazla tahmin etmiştir.

Kişi (2005), Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Quebrada Blanca ve Rio Valenciano istasyonlarının verilerini kullanarak sediment tahmini yapmıştır. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFİS), YSA, ÇLR ve sediment anahtar eğrilerinin sediment tahminindeki başarısı karşılaştırılmış olup, ANFİS modellerinin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Özger ve Kabataş (2015), Doğu Karadeniz Havzası ve Çoruh Havzası'nda bulunan dört istasyona ait aylık sediment taşınım yükü verilerini kullandıkları çalışmada; dalgacık ve bulanık mantık tekniklerinin bir kombinasyonu olan model ile sediment taşınım yükünü tahmin etmeye çalışmışlardır. Dört istasyonun verilerine ayrıca klasik bulanık mantık modelleri uygulanmış ve kullanılan modellerin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, dalgacık-bulanık mantık hibrit modelinin sediment yükünün tahmininde, klasik bulanık mantık yaklaşımına göre kayda değer bir başarıya sahip olduğunu göstermektedir.

Sarangi ve Bhattacharya (2005), Hindistan'da Jharkhand'da bulunan Chhotnagpur Platosu'ndaki Chatra Bölgesi'nin Itkhorı bloğundaki Banha Havzası'na ait 1985 – 1989 yılları arası sediment miktarı verilerini kullanarak, jeomorfoloji tabanlı ve jeomorfoloji tabanlı olmayan YSA geliştirmişlerdir. Yapılan araştırma sonuçları havza için geçmiş zamanlarda geliştirilen regresyon model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Jeomorfolojik olmayan YSA'larda veri olarak sadece akım değeri bulunurken, jeomorfolojik olanda akış oranı, rölatif çatallaşma, şekil faktörü ve drenaj faktörü gibi havzanın karakteristiğini belirleyen veriler ilave edilmiştir. Sonuç olarak jeomorfolojik tabanlı YSA'ların daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Kişi ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Quebrada Blanca İstasyonu'na ait 5 yıllık akış ve askıda sediment verilerini kullanmıştır. Bulanık mantık modellerini sediment miktarı tahmininde kullanarak, sonuçları anahtar eğrisi denkleminin kullanılması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmış ve bulanık mantık modellerinin daha başarılı sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Fırat ve Güngör (2004), Büyük Menderes Havzası'nda bulunan 706 numaralı AGİ verilerini, akarsuda taşınan sediment miktarı ve konsantrasyonunun tahmini için YSA ve regresyon modellerinde kullanmışlardır. Yapılan çalışmada ayrıca istasyona ait EİE tarafından geliştirilen sediment anahtar eğrisi de kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı YSA modelinde, en başarılı sonucu elde etmek için gizli katman sayısı ve gizli katmanlardaki nöron sayıları, öğrenme oranı ve momentum katsayısı deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda; sediment tahmininde, YSA'ların regresyon analizinden daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Agarwal ve ark. (2006) tarafından, Hindistan'daki Vamsadhara Nehri Havzası'nda bulunan 6 adet istasyona ait günlük, haftalık, on günlük ve aylık akım ve

sediment verileri ile tek girişli ve çok girişli YSA modelleri kullanılarak sediment miktarı tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda çok giriş değerli sinir ağ yapılarının her zaman tek giriş değerli sinir ağ yapılarına göre iyi sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında bazı istasyonlardan alınan yağış verilerinin sediment miktarı üzerinde etkili olmadığı ve zaman aralığının tahminler arasındaki ilişkiyi nasıl etkilediği gözlemlenmiştir.

Partal ve Kişi (2007) yapmış oldukları çalışmada, Dalgacık-Nöro-Bulanık modellerini kullanarak yeni bir yağış tahmini yöntemi önermişlerdir. Türkiye'deki üç istasyonda ölçülen günlük yağış verilerine Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) uygulanmış olup dönüşümden çıkan veriler nöro-bulanık modelleri için girdi olarak kullanılmıştır. Sonuçlar klasik nöro-bulanık mantık modeli ile karşılaştırılmıştır. Dalgacık yöntemi ile birlikte kullanılan modelin önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Zhu ve ark. (2007), Çin'de bulunan Yukarı Yangtze Havzası'ndaki Longchuanjiang Nehri için aylık sediment miktarını tahmin etmişlerdir. Yapılan çalışmada, sediment değerlerinin tahmininde, yağış, sıcaklık ve yağış şiddeti gibi iklim değişkenleri kullanılmıştır. Kullanılan değişkenler ile sediment miktarı arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda buharlaşma ve nem miktarının sediment miktarı üzerinde etkisinin oldukça az olması sebebiyle bu değişkenler kullanılmaktan vazgeçilmiştir. YSA modellerinin, uygun değişkenler ve bunların gecikme zaman adımları girdi olarak kullanıldığı zaman aylık sediment miktarını iyi bir doğrulukta modelleyebildiği gösterilmiştir. Ayrıca ÇLR ve güç ilişkisi modelleri ile karşılaştırıldığında, YSA modellerinin aynı veri gereksinimi altında daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Alp ve Cıgızoğlu (2007), ABD'de bulunan Junita Nehrine ait günlük toplam akış ve askıda sediment miktarı verilerini kullandıkları çalışmada, toplam askıda taşınan sediment miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Yapılan tahmin için 3 veri seti (sadece yağış, sadece akış, hem yağış hem akış) kullanılmış olup araştırmada ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları (İBGYYSA) ve radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA) olmak üzere iki adet YSA algoritması kullanılmış ve sonuçlar lineer regresyon modeline ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak yağış değerlerinin, sediment tahmin modelinde etkili bir değişken olmadığı görülmüştür. Giriş değişkenlerine daha önceki günlere ait akım değerleri eklenmesi durumunda daha

başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Tahmin metotları değerlendirildiğinde ise yapay zekâ yöntemlerinin daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Partal ve Cigizoglu (2008) çalışmasında, dalgacık modeli ile YSA'yı birleştirerek askıda sediment miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Gözlem istasyonlarında ölçülen veriler ADD yoluyla dalgacık bileşenlerine ayrılmış ve seçilen dalgacık bileşenlerinin toplamından oluşan yeni dalgacık serisi, YSA modeli için girdi olarak kullanılmıştır. Dalgacık-YSA modelinin, test dönemi için gözlemlenen verilere iyi bir uyum sağladığı belirlenmiştir. Bu çalışmanın ilk kısmında, geçmiş sediment verileri kullanılarak, ikinci kısmında ise, günlük nehir akım verileri kullanılarak sediment yükünün tahmini çalışılmıştır. Sonuçlar, geleneksel YSA modeli ve SAE yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Dalgacık-YSA model tahminlerinin, performans değerlendirme kriterleri açısından, klasik YSA modeli ve SAE modelinden elde edilenlerden önemli ölçüde üstün olduğu gösterilmiştir.

Rajae ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Little Black River ve Salt River ölçüm istasyonlarına ait günlük nehir akımı ve sediment konsantrasyonu verileri kullanılarak, YSA, nöro-bulanık, ÇLR ve SAE modelleri ile sediment konsantrasyonunun zaman serisi modellemesi yapılmıştır. YSA ve nöro-bulanık modeller için sırasıyla İBGY yöntemi ve Sugeno çıkarım sistemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, YSA ve nöro-bulanık modellerinin sonuçlarının, ÇLR ve SAE yöntemlerine göre gözlenen sediment konsantrasyonu değerleriyle daha uyumlu olduğunu göstermektedir.

Kişi ve ark. (2009), Türkiye'de Kızılırmak Havzası'ndaki Kuylus ve Salur Köprüsü istasyonlarına ait aylık akım ve sediment verilerini kullanarak sediment tahmininde nöro-bulanık hesaplama tekniğinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Elde edilen tahmin sonuçları, YSA ve SAE ile karşılaştırılmıştır. Modellerin performanslarının değerlendirilmesinde, ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak hata (OMH) ve korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, nöro-bulanık modellerin aylık sediment tahmininde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Lohani ve ark. (2009), Hindistan'da bulunan Narmada havzasında sediment miktarı tahmini için anahtar eğrisi, sinir ağları ve bulanık kural tabanlı modellerin performansını araştırmış olup, bulanık kural tabanlı modelin sediment miktarını tahmin etmede daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Fırat ve Güngör (2010) tarafından yapılan çalışmada, aylık sediment tahmini için Büyük Menderes Havzası'nda bulunan üç istasyonun verileri kullanılmış ve sediment tahmininde ANFIS yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. ANFIS modelleri ayrıca, YSA ve ÇLR yöntemleri ile de karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ANFIS modelinin aylık toplam sediment tahmini için yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağladığı gözlenmiştir.

Mirbagheri ve ark. (2010), askıdaki sediment konsantrasyon tahmini çalışmasında, YSA, nöro-bulanık model, dalgacık analizi ve nöro-bulanık (WNF) modelinin birleşimi ve SAE olmak üzere dört model kullanmışlardır. ABD jeolojik etüt ölçüm istasyonundan alınan verileri kullanarak oluşturulan modellerde, WNF modelinin daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca önerilen WNF modeli, ekstrem değerler için makul tahminler üretmiştir. Genel olarak, sonuçlar nöro-bulanık modelinin YSA ve SAE modellerinden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Mianaei ve Keshavarzi (2010), USGS tarafından işletilen ve Michigan Gölü kıyısında bulunan Escanaba Nehri üzerindeki 040590345 nolu istasyonun günlük sediment ve nehir akımı ölçüm verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada, nehir akımı ve sediment arasındaki ilişkiyi modellemek için bulanık mantık algoritmalarını kullanmışlardır. Üç farklı girdi konfigürasyonunun kullanıldığı çalışmada, elde edilen sonuçlar, ayrıca SAE kullanılarak elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bulanık mantık algoritmasının daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ülke ve ark. (2011), Gediz Nehrinde taşınan sediment miktarını ampirik formüller ile tahmin etmek amacıyla, havzanın ve akarsuyun karakteristik parametrelerini belirledikten sonra literatürde bulunan 4 adet sediment hesap bağıntısını uyguladıkları çalışmada, Brooks metodunun daha başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Brooks metodunun, Gediz Nehri için daha kullanılır hale getirilmesi için gerekli düzeltme katsayısı genetik algoritma kullanılarak hesaplanmış, sonuçlar ayrıca esnek hesaplama yöntemlerinden olan YSA ve ANFIS metotları ile de karşılaştırılmıştır. Brooks metodunun YSA ve ANFIS modelleri kadar iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bayram (2011), 3280 km² drenaj alanı ile, Doğu Karadeniz Havzası'nın en büyük alt havzası olan Harşit Çayı'nda ana kol üzerinde bulunan 10 adet gözlem istasyonunda, on beş gün aralıklarla (2009 Mart ile 2010 Şubat periyodunda) su kalitesini araştırmış olup, bulanıklık, toplam krom ve toplam demir parametrelerine dayalı askıda katı madde konsantrasyonu tahmininde ise regresyon analizleri ve YSA

kullanılmıştır. Askıda katı madde konsantrasyonu tahmininde regresyon analizlerine göre YSA modellerinin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gündüz (2011) yaptığı çalışmada, 1968-2006 günlük akım verilerini kullanarak Fırat-Dicle Havzası'ndaki nehir akım tahmini için YSA ve dalgacık dönüşümünü kullanmıştır. YSA ve dalgacık dönüşümü ile yapılan tahminler, çoklu doğrusal regresyon tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların performansı Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), OMH, Determinasyon Katsayısı (R^2) performans değerlendirme yöntemleri ile test edilmiş ve nehir akımlarını tahmin etmede, yapay zekâ tekniklerinin oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir.

Baltacı (2012), ABD'nin Kaliforniya eyaletinde bulunan ve United States Geological Survey (USGS) tarafından işletilen Sacramento Nehri üzerindeki 11447650 nolu Freeport İstasyonu'nun günlük ortalama sıcaklık, nehir akımı ve katı madde konsantrasyonu verilerini kullanarak yaptığı çalışmada, sediment anahtar eğrisi, çoklu lineer regresyon ve bulanık mantık yöntemlerinin tahmin performanslarını karşılaştırmış ve sonuç olarak katı madde konsantrasyonu tahmininde bulanık mantık modellemesinin daha başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Azamathulla ve ark. (2012), kanalizasyon boru sistemlerinde sediment taşınımının fonksiyonel ilişkilerini öngörmeye alternatif bir yaklaşım olarak nöral ağ ile bulanık mantığın bir kombinasyonu olan ANFİS metodunu kullandıkları çalışmada, $R^2=0.98$ ve $KOKH=0.002431$ değerleri ile ANFİS metodunun sediment tahmininde oldukça başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Terzi ve Baykal (2012) tarafından, Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan Yamula istasyonuna ait 1973-2003 gözlem periyodundaki akım ve katı madde verileri kullanılarak, farklı YSA modelleri ile katı madde tahmini yapılan çalışmada, YSA yönteminin katı madde tahmininde kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca YSA yöntemiyle, herhangi bir nedenle ölçümün aksaması ya da ölçülen verilerin herhangi bir nedenle kullanılamaması durumlarında ihtiyaç olan verilerin tamamlanabileceği öngörülmüştür.

Fedakar (2012) tarafından yapılan çalışmada, bulanık genetik yaklaşımı ile USGS tarafından işletilen 06088300 ve 06088500 nolu istasyonların günlük debi ve askı maddesi konsantrasyonu kullanılarak, askı maddesi konsantrasyonunun tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bulanık genetik yaklaşımının sonuçları ayrıca ANFİS, ÇKYSA ve SAE yöntemlerinin sonuçları ile de karşılaştırılmış ve bulanık genetik yaklaşımının askı

malzemesi konsantrasyonunu tahmin etmede diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Kabataş (2014) yaptığı çalışmada, sediment tahmininde bulunmak için Doğu Karadeniz Havzası'na ve Çoruh Havzası'na ait 12 istasyonun 1999-2005 yılları arasında ölçülen askıda sediment değerlerini kullanmıştır. Yapılan tahminlerde sediment anahtar eğrisi, bulanık mantık ve bulanık mantık-dalgacık dönüşümü kombinasyonu modellerine ait sonuçlar karşılaştırılmış olup en başarılı sonucu bulanık mantık-dalgacık dönüşümü kombinasyonunun verdiği tespit edilmiştir.

Olyae ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, ABD'de iki ölçüm istasyonunda askıda katı madde miktarını tahmin etmek üzere, YSA, ANFİS ve Dalgacık-YSA olmak üzere üç farklı esnek hesaplama yöntemi kullanmışlar, sonuçları ayrıca SAE sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen modeller sonucunda, esnek hesaplama yöntemlerinin sonuçlarının, gözlemlenen askıda katı madde miktarının değerleriyle iyi bir uyum içinde olduğunu ve SAE SRC yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Dalgacık-YSA modelinin de ANFİS ve klasik YSA modelinden daha başarılı olduğunu bulmuşlardır.

Kişi ve Zounemat-Kermani (2016), ABD'de Muddy Nehri üzerinde bulunan 2 istasyonda sediment miktarını tahmin etmek için yaptıkları çalışmada, günlük akım debisi ve sediment miktarı verilerini kullanmış olup, YSA, ANFİS, SAE ve ANFİS-K-means Kümeleme modellerini karşılaştırmışlardır. ANFİS-K-means Kümeleme modelinin nehirlerde sediment tahmininde daha başarılı tahminler verdiğini görmüşlerdir.

Taşar (2016) tarafından, ABD'de bulunan Skunk Nehri üzerindeki Augusta istasyonunda ölçülen 2005-2009 periyodundaki beş yıllık veriler (günlük gerçek zaman debisi, ortalama sıcaklık ve katı madde konsantrasyonu) kullanılarak SAE, ÇLR ve BM modelleriyle katı madde konsantrasyonu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, BM modelinin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Büyükyıldız ve Kumcu (2017), Türkiye'deki Çoruh Havzası'nda bulunan 2316 nolu İspir Köprüsü istasyonunun akım ve sediment verilerini kullanarak sediment miktarını tahmin etmişlerdir. Bu amaçla akım ve sediment verilerinin farklı gecikme derecelerinden oluşan parametreleri içeren altı farklı girdi kombinasyonundan oluşan veriler ile üç farklı YSA algoritması, Destek Vektör Regresyonu (DVR) ve ANFİS modelleri kullanılarak günlük sediment miktarı tahmin edilmeye çalışılmış, sonuçlar ayrıca ilgili istasyona ait sediment anahtar eğrisi denkleminin sonuçları ile de

karşılaştırılmıştır. Kullanılan modeller arasında Q_t , Q_{t-1} , S_{t-1} verilerinin girdi olarak kullanıldığı S4 girdi kombinasyonu ile ε -SVR modeli sediment tahminindeki en başarılı model olmuştur.

Başakın (2018) yaptığı çalışmada, Erzincan'da bulunan Karasu Nehri üzerindeki Demirkapı istasyonuna ait 456 adet aylık ortalama debi değerlerini kullanarak akım tahmini yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan veriler, eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılmış ve 270 adet veri ile eğitilen modeller 186 adet veri ile test edilmiştir. Akım modelleri oluşturulurken YSA, ANFİS, bulanık zaman serileri ve en yakın komşuluk algoritması (KNN) yöntemleri kullanılmış olup ayrıca tüm modellere dalgacık dönüşümü uygulanarak performanslarının artması hedeflenmiştir.

Baltacı (2019) tarafından Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli ile İnebolu Havzası için 4 adet akım (İnebolu, Küçükçay, İkiçay ve Salman) ve 3 adet meteoroloji (İnebolu, Yolüstü ve Kar) gözlem istasyonuna ait 2015-2018 periyodundaki günlük veriler yardımıyla oluşturulan hidrolojik model ile yüzeysel akış ve sediment tahmini yapılmıştır. Oluşturulan SWAT modelinin sonuçlarının değerlendirilmesinde; Determinasyon Katsayısı (R^2), Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (E_{Nash}) ve Bias Yüzdesi (P_{Bias}) kullanılmıştır. Oluşturulan SWAT modelinin yüzeysel akış ve sediment miktarını tahmin etmede yeterli doğrulukta bir başarıya ulaştığı belirlenmiştir.

3. SEDİMENT

3.1. Sediment Kavramı

Sediment, oluştuğu yerden yer çekimi etkisiyle çökelene kadar su ile taşınan katı maddelere verilen ad olup tabanda sürüntü veya akışta asılı olarak taşınan malzemeleri kapsar (Şekil 3.1).

a) Kaynağa göre sınıflandırma

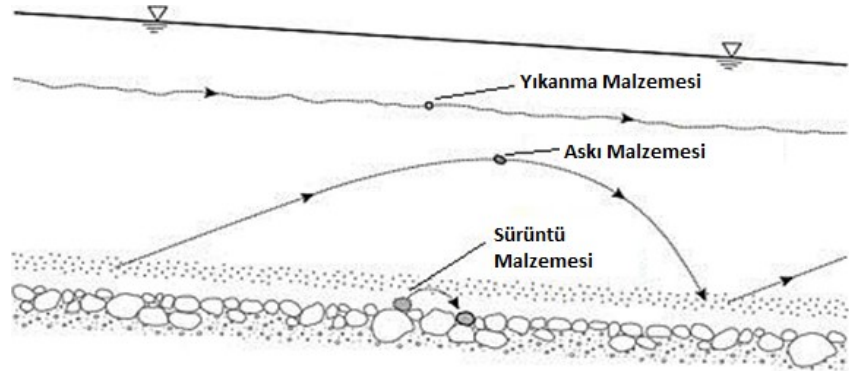
- Yıkanmış malzeme
- Yatak malzemesi

Yatak malzemesi; akımın gücüyle harekete geçen akarsuyun tabanındaki malzemelerden oluşurken, yıkanmış malzeme; erozyon ile gelen havza topraklarından oluşmaktadır. Yıkanmış malzeme, yatak malzemesine göre daha ince bir yapıya sahip olan malzemeden oluşmaktadır.

b) Taşınma şekline göre sınıflandırma

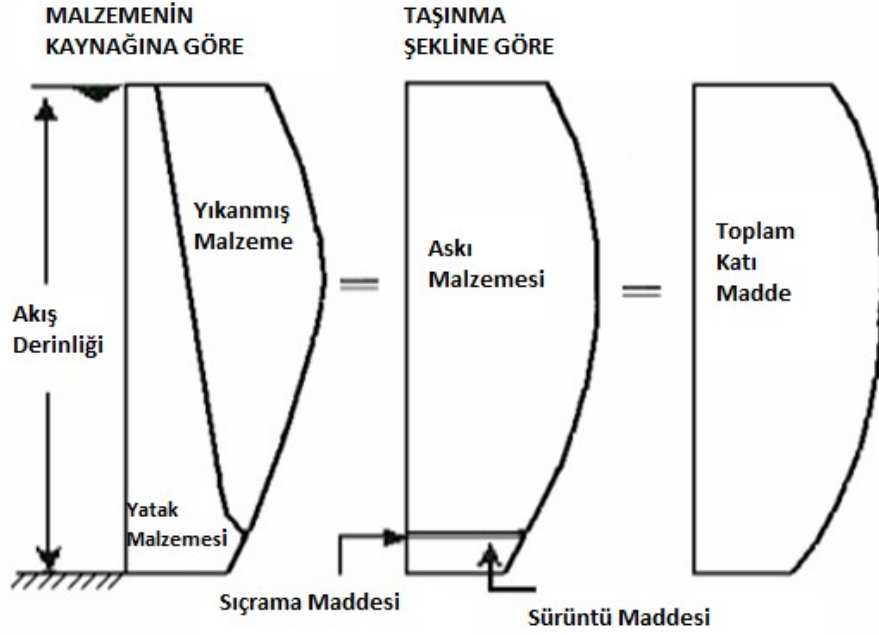
Sürüntü maddesi: Rezervuarı besleyen kaynağın akış hızının artması tabandaki sedimente etkiyen kayma gerilmesinin de büyümesine yol açacağından tanelerden bu gerilmeye dayanamayanların harekete geçtikleri görülür. Düşük hızlarla tanelerin taban üzerinde kayması ve yuvarlanması şeklinde olan bu harekete sürüntü hareketi denir.

Askı hareketi: Kaynağın hızının artması ile birlikte sedimentin hareketi daha da artar, tanelerden bazıları kayma gerilmesine dayanamayarak tabandan uzakta hareketlerine devam ederler. Buna askı hareketi denilir.



Şekil 3.1. Akarsudaki katı maddelerin hareket türleri (Graf,1998)

Akarsudaki askıda taşınan sediment, sürüntü ile taşınan sedimente göre daha ince dane çapına sahiptir. Fakat bunları birbirinden ayıran kesin bir sınır yoktur. Çünkü sediment hareketi dane çapı ile birlikte akarsuyun hızına da bağlıdır. Aynı akarsu içinde akımın hızlı olduğu bölgede askı halinde olan sediment, akım hızının düştüğü yerlerde sürüntü haline geçebilir. Sedimentin su derinliğine bağlı dağılımları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sedimentin su derinliğine bağlı dağılımı (Özbek ve Özcan 2001)

Su tarafından taşınan sedimentlerin yer çekimi etkisiyle veya hareketinin durmasına yol açan bir engelle karşılaşarak çökerek birikmesine sedimentasyon denir.

Akarsuların yatağında bulunan farklı boyutlardaki sediment taneleri su akımı ile harekete geçirebilir. Harekete geçen sediment miktarı, akım hızı ve sedimentin özelliklerine bağlı olarak değişir. Tanelerin hareketi akımı etkilediği için sıvıdan ve katıdan oluşan bu çift fazlı hareketin incelenmesi rijit (sabit) yataklı bir kanaldaki akıma göre daha zor olmaktadır. Yataktaki tanelerin üniform şekilde dağılmaması, akarsu kesitinin üç boyutlu olması, çeşitli yapıların etkisi ve akımın durmadan değişen karakteri olayın incelenmesini daha da zorlaştırır (Bayazıt, 1971).

Sediment taneleri tanımlanırken ortalama tane çapı, yoğunluğu, granülometrisi gibi özelliklerin incelenmesi gerekmektedir. Çökme hızı ile tüm özellikleri yansıtan tane tanımlaması yapılabilmektedir (Bayazıt ve Avcı, 2010).

3.1.1. Sedimentin dane büyüklüğü, biçimi ve granülometrisi

Akarsulardan rezervuarlara gelen taneler kusursuz küreler olmadıkları için bu tanelerin boyutlarını belirlemek için bir çap kullanmak gerekmektedir. Bu çaplar farklı şekillerde belirlenebilir.

Elek çapı: Eleme işlemi uygulanan malzemenin geçtiği en küçük elek aralığına denir.

Stokes çapı (Çökelme çapı): Sıvı içinde tanenin çökmesi ile belirlenen tanenin yaklaşık çapıdır. Bu yöntem genellikle kil ve silt gibi ince tanelerde kullanılmaktadır.

Nominal çap (Anma çapı): Parçacığın hacmine eşit olan kürenin çapı olarak adlandırılmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Çaplarına göre danelerin belirlenmesi

Adı	Dane çapı (mm)
Kaya	>200
İri taş	60-200
Çakıl	2-60
İri kum	0.6-2
Orta kum	0.2-0.6
İnce kum	0.06-0.2
Silt	0.002-0.06
Kil	<0.002

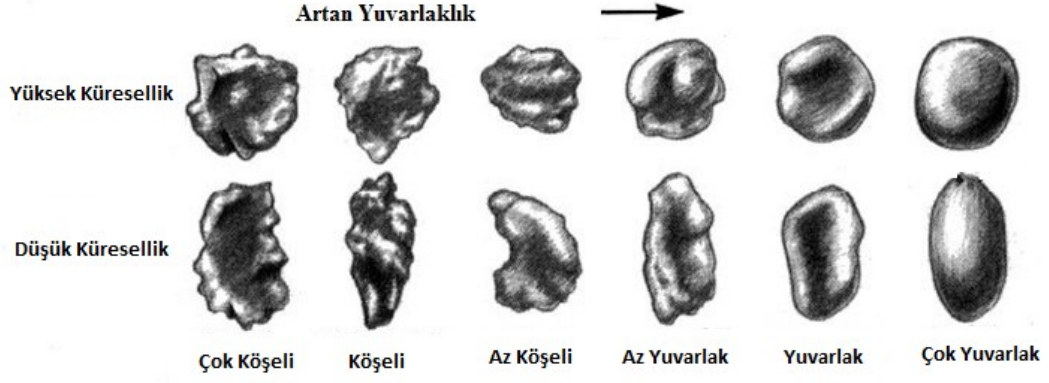
Dane biçimi çökelme hızını, hareket etmesini ve yığınların boşluk oranını belirlemektedir.

Küresellik: Parçacığın hacmine eşit bir kürenin yüzey alanının, parçacığın yüzey alanına oranı olarak tanımlanmaktadır.

Yuvarlaklık: Parçacığın ortalama eğrilik yarıçapının, parçacığın iz düşüm alanı içine çizilen bir dairenin yarıçapına oranı olarak tanımlanmaktadır.

Küresellik ve yuvarlaklık aynı kavramlar değildir (Şekil 3.3).

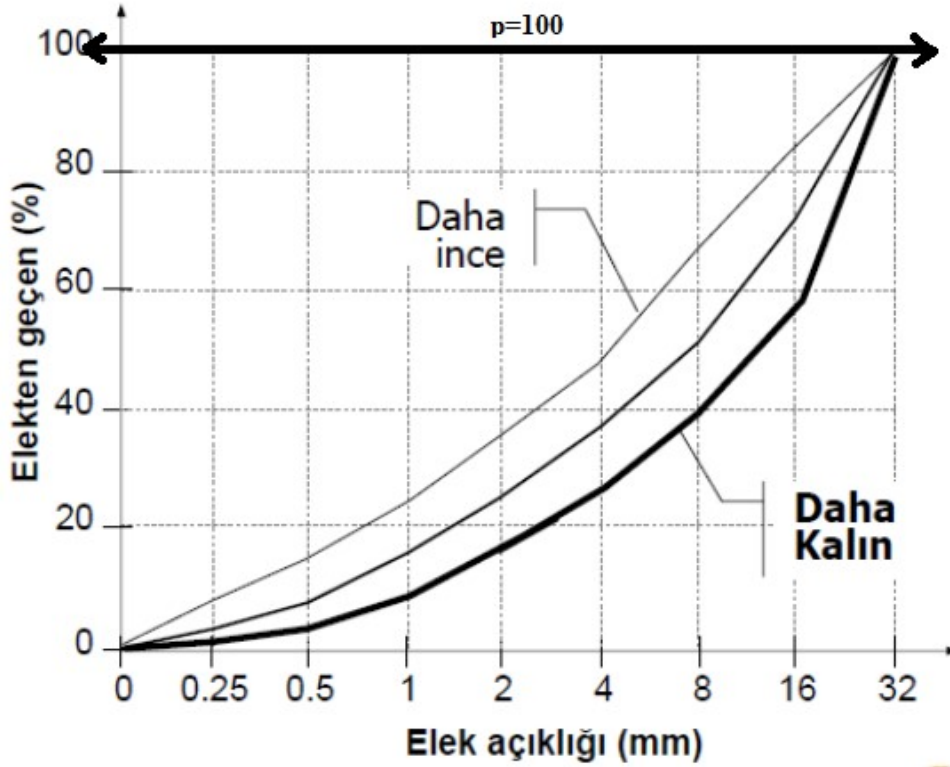
Bir sedimentin yuvarlaklığı ve küreselliği danenin ne kadar sürede taşındığının işaretidir.



Şekil 3.3. Küresellik ve yuvarlaklıkların farkları

Granülometri eğrisi, sedimantasyona uğramış sedimentin içinde bulunan danelerin boyut dağılımını değerlendirmek için çizilir. Granülometri eğrisi $p=100$ doğrusuna yaklaşmış ise sedimentin oransal olarak fazlaca ince dane içerdiği anlaşılır. Eğrinin $p=0$ (yatay eksen) doğrusuna yaklaşması durumunda ise sedimentin oransal olarak iri dane içerdiği anlaşılır. (Şekil 3.4).

Yatak malzemesinin granülometrisi, şiddetli bir akım olmadığı sürece sürüntü ve askı maddesinin granülometrisine göre farklılık gösterir.



Şekil 3.4. Granülometri eğrisi örneği

3.1.2. Sedimentin yoğunluğu ve porozitesi

Sediment, kaynakları olan kayalar içinde bulunan minerallere bağlı olarak farklı yoğunluklara sahiplerdir. Bu yüzden sedimentlerin yoğunluğu değişkenlik göstermektedir. Genelde $2.1 - 2.8 \text{ g/cm}^3$ arasında değişkenlik gösterir.

Çökelmiş sedimentler içeriğinde bulunan danelerin yuvarlaklık ve küreselliği gibi özellikleri nedeniyle boşluksuz olarak yerleşemez. Çökelmiş sedimentte bulunan tanelerin hacminin, oluşturduğu yığının hacmine bölünmesi ile porozite (boşluk oranı) bulunur. İnce daneler düzgün ve az boşluk bırakarak yerleşeceği için poroziteleri 1'e daha yakındır (Çizelge3.2).

Çizelge 3.2. Sediment yığınlarının poroziteleri (Bayazıt ve Avcı,2010)

Sediment Sınıfı	Porozite(%)
Kaba kum	39-41
Orta kum	41-48
İnce kum	44-49
Kumlu lem	50-54

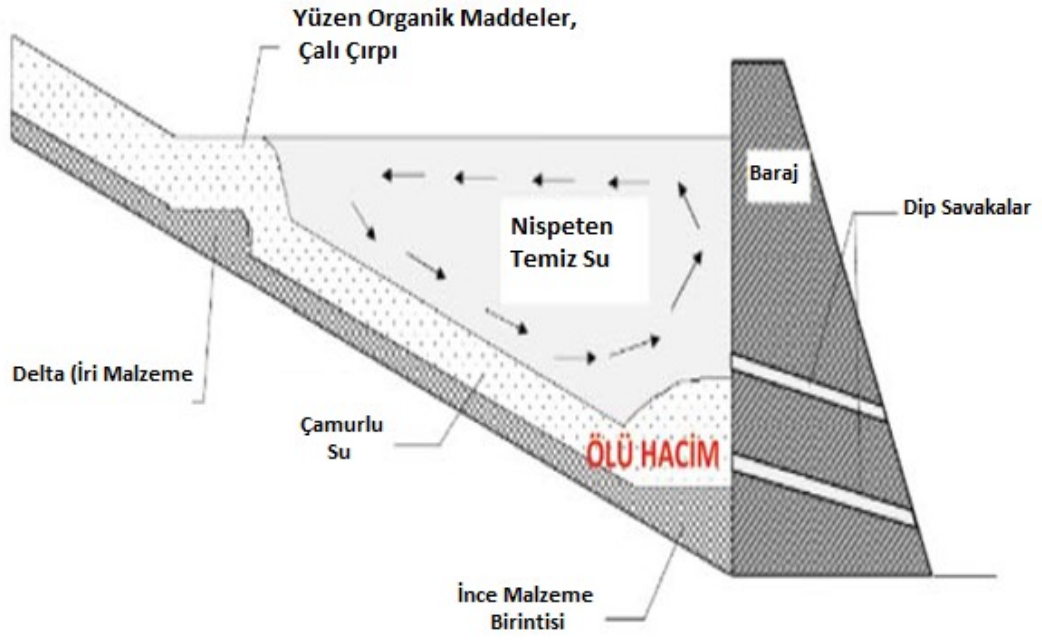
Bir katı maddenin durgun suda yer çekimi etkisiyle artarak limite ulaşan hızına çökme hızı denir.

Çökme hızı danenin özgül ağırlığı, suyun özgül ağırlığı, danenin direnç katsayısına ve suyun viskozitesine bağlı olarak değişir.

3.2. Sedimentasyonun Rezervuarların Ekonomik Ömrüne Etkileri

Yapılan her depolama yapısının rezervuarında bir miktar sediment ile karşılaşılır. Sedimentin rezervuar alanında birikmesi sonucunda rezervuarların kullanılabilir kapasitesi giderek azalır. Rezervuar haznelerinde birikmesi tahmin edilen sediment miktarına ölü hacim denir (Şekil 3.5).

Türkiye yüksek ve eğimli bir topoğrafyaya sahip olduğu için akarsularda taşınan sediment miktarı oldukça fazladır. Bu taşınan sedimentler rezervuarda çökerek rezervuarların kapasitesinde ve ekonomik ömürlerinde azalmaya neden olur. Aynı zamanda hidroelektrik santrallerin türbinlerini akışla gelen sedimentler aşındırabilir (Şekil 3.6). Bu yüzden yapılan rezervuarların tasarımında ölü hacmin belirlenmesi ve ekonomik ömürlerinin göz önüne alınması çok önemlidir (Şekil 3.7).



Şekil 3.5. Bir rezervuarda sediment birikimi (Pekmezci ve Buttanrı, 2011)



Şekil 3.6. Jhimruk hidroelekrik santrali türbin aşınması (Randle ve ark, 2017)



Şekil 3.7. Paonia Barajı'nda yaklaşık 18 metrelik sedimantasyon (Randle ve ark, 2017)

Bayazıt ve Avcı (2010) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda Çizelge 3.3'te verilen rezervuar hacimlerinin sediment ile dolduğu bilgisi verilmiştir.

Çizelge 3.3. Rezervuarların sediment durumu (Bayazıt ve Avcı,2010)

Rezervuar adı	İşletmede olduğu yıl	Kaybedilen hacim
Çubuk-I Barajı	54	%70
Seyhan Barajı	37	%40
Kartalkaya Barajı	25	%30
Altınapa Göleti	18	%30
Güvenç Göleti	8	%30

Sedimantasyonun barajlara olan etkilerinden bazıları aşağıdadır.

- Baraj rezervuarlarının depolama kapasitesinin azalması
- Barajların su alma yapılarının gömülmesi
- Rekreasyon için kullanılacak yüzey alanında daralma
- Hesap dışı yüklerden ve oluşabilecek oyulmalardan dolayı risklerin artması

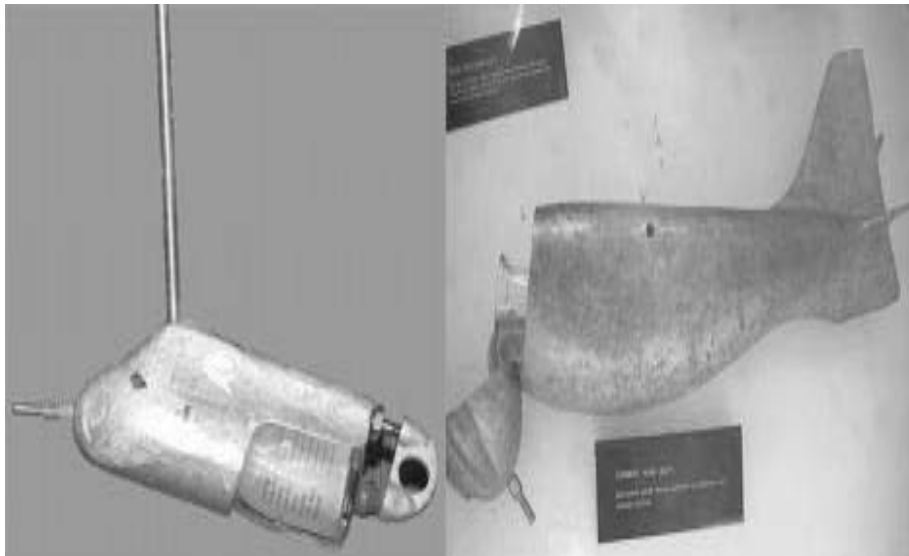
- Sedimentasyon baraj güvenliğini artırabilir veya azaltabilir. Beton barajlarda tortu birikmesi gövde üzerinde ek bir yük çıkarabilirken, dolgu barajlarda barajın desteklenmesine yardım edebilir.

- Tahliye edebilme imkânını azaltabilir ya da tamamen ortadan kaldırabilir.

3.3. Gözlem İstasyonları

Akarsular üzerine, su seviyesi gözlemlerinin yapılarak debi ölçümlerinin yapılmasını sağlayacak şekilde gözlem istasyonları kurulmuştur. Kurulan gözlem istasyonları akarsu hakkında veriler toplayarak yapılacak yapıların tasarlanmasında dikkate alınması gereken verileri edinmemize yardım etmektedir. Bir gözlem istasyonunun asıl amacı istasyonun bulunduğu kesitten geçen su miktarını tespit etmektir. Aynı zamanda, bazı gözlem istasyonlarında sediment miktarı ve su kalitesi parametrelerinin ölçümleri de gerçekleştirilmektedir.

Akarsularda muline vasıtasıyla hız ölçümleri yapılarak debi hesaplanmakta olup hesabın daha doğru sonuç vermesi için belirli zaman aralıklarında istasyonun bulunduğu kesit ölçümlerinin güncellenmesi gerekmektedir. Diğer bir yandan limnigraf ile aralıksız su yüzeyi derinliği ölçülmektedir. Ölçülen bu değerler kullanılarak çizilen anahtar eğrileri farklı durumlardaki debi hesaplanmasına yardım etmektedir. Sediment ölçümleri ise nehirlerde düşük su seviyesinin olduğu zamanlarda USDH-48 ile suyun içinde, yüksek su seviyesinin olduğu zamanlarda ise USD-49 ile teleferikten suya girmeden gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. USDH-48 ve USD-49 örnek alma aletleri

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

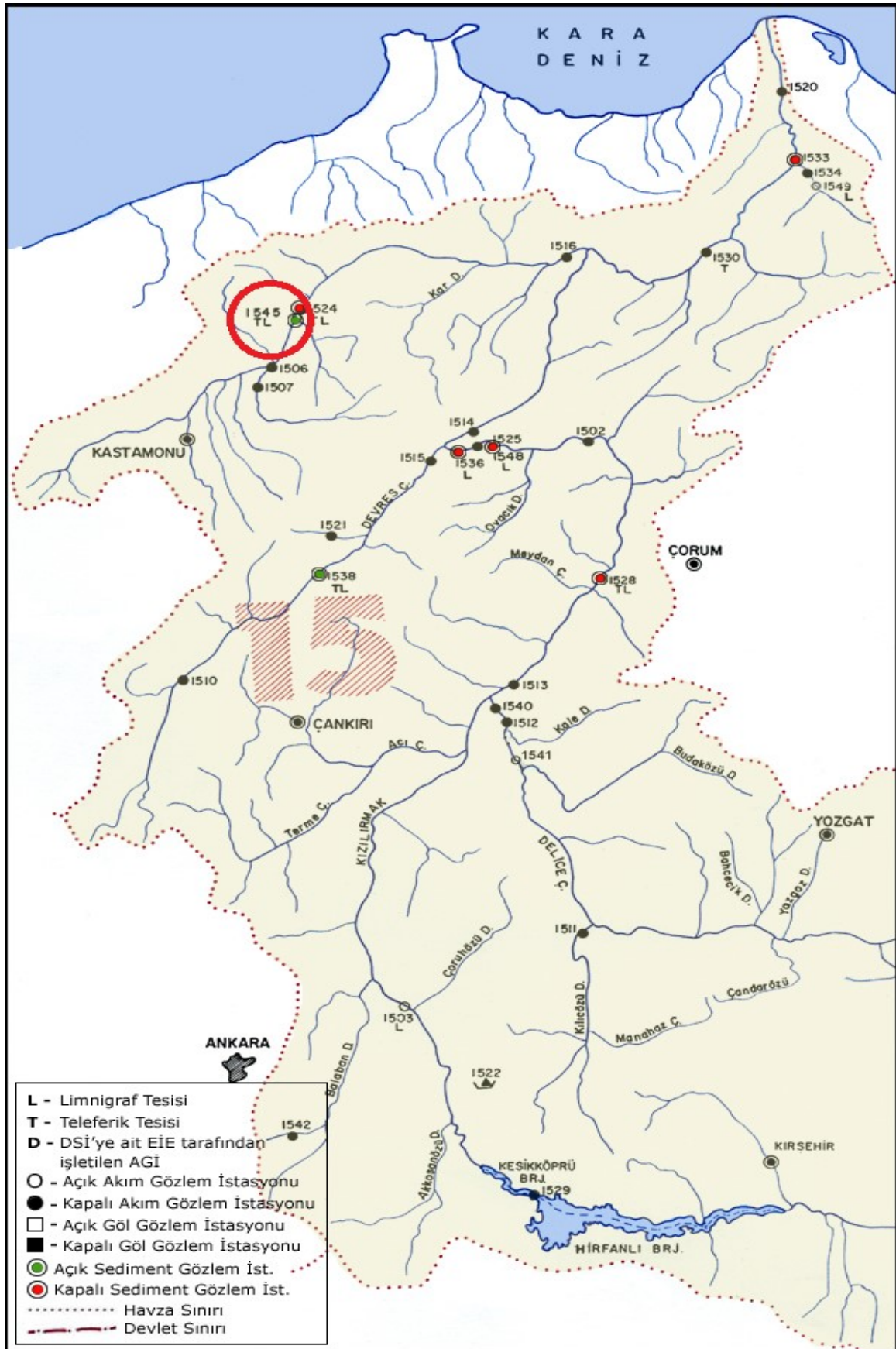
Bu çalışmada, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemlerini içeren yapay zekâ metotları kullanılarak sediment tahmini yapılmıştır. Kızılırmak Havzasında yer alan 4 adet sediment gözlem istasyonuna ait akım ve sediment verileri kullanılarak oluşturulan çeşitli girdi kombinasyonları ile bu çalışma kapsamında MATLAB 2014a programında modeller oluşturulmuştur.

Oluşturulan modellerin sediment tahminindeki etkinlik ve uygulanabilirlik performansının değerlendirilmesinde tahmin hatalarının ortalaması önemli olup performans değerlendirmelerinde en çok kullanılan istatistiki yöntemlerden olan determinasyon katsayısı (R^2), Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (E_{Nash}), karekök ortalama karesel hata (KOKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) kullanılmıştır.

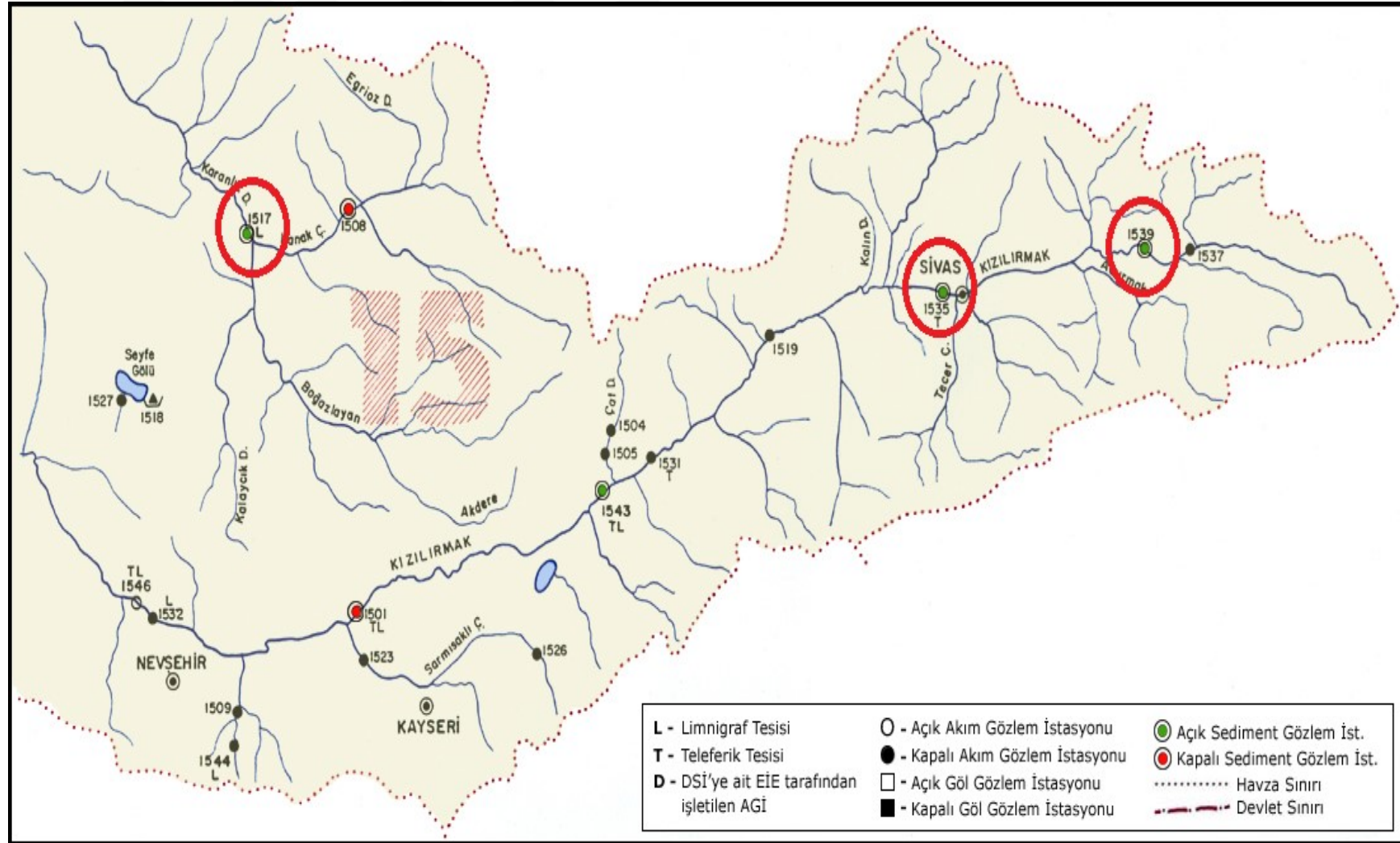
Bu çalışmada sediment miktarını tahmin etmek amacıyla verileri kullanılan sediment gözlem istasyonlarının sahip oldukları bazı özellikler Çizelge 4.1’de, istasyonlarının Türkiye’deki konumları ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 ’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılacak sediment gözlem istasyonlarının özellikleri

İstasyon No	İstasyon Adı	Yükseltisi (m)	Konumu	Sediment Yağış Alanı (km ²)	Sediment Gözlem Yılları
1517	Karanlık Dere-Şefaati	895	34° 44' 42" D 39° 30' 11" K	5095.3	1994-2012
1535	Kızılırmak Nehri-Söğütlühan	1243	36° 50' 34" D 39° 43' 02" K	6472.4	1994-2011
1539	Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı	1298	37° 33' 47" D 39° 52' 41" K	1642.0	1973-2011
1545	Gökırmak-Purtulu	510	34° 15' 52" D 41° 33' 58" K	3654.0	1999-2011

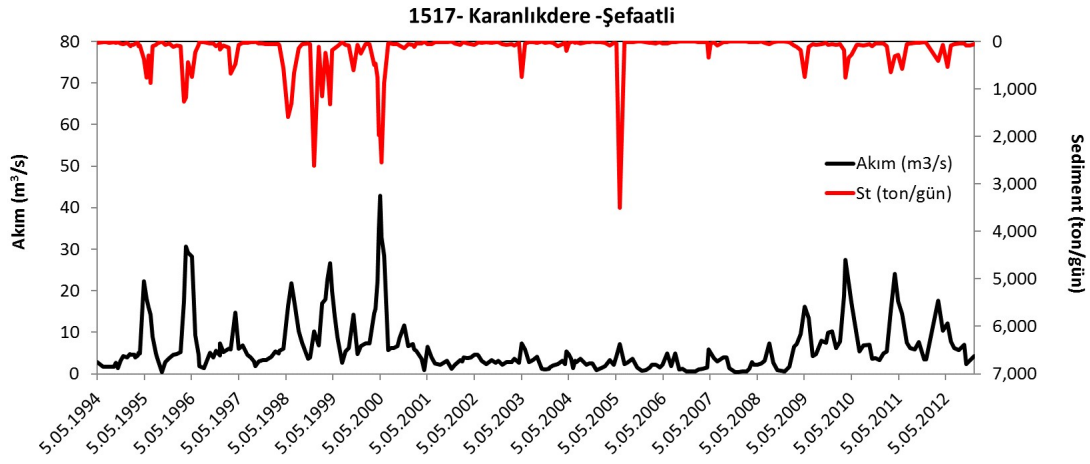


Şekil 4.1. Kullanılacak sediment gözlem istasyonlarının Kızılırmak Havzası'ndaki konumları-1

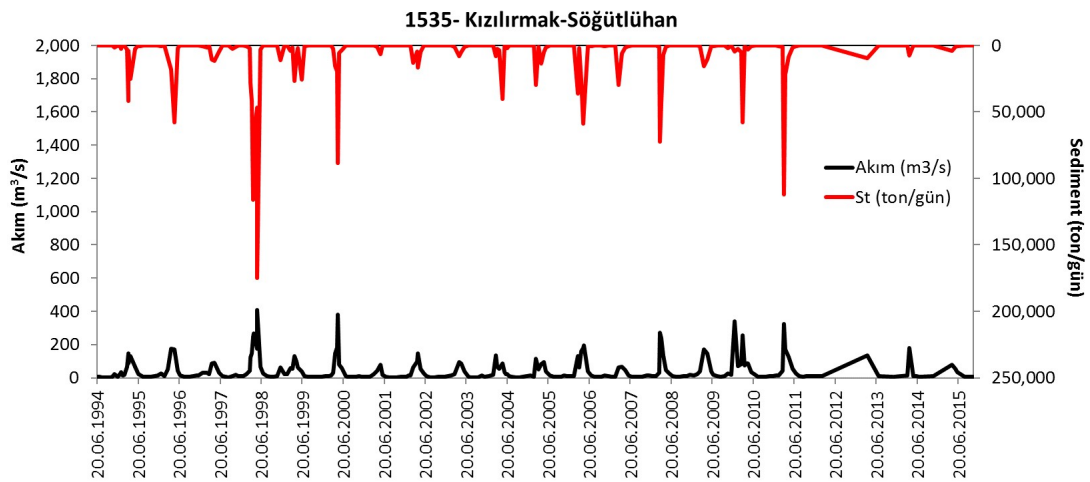


Şekil 4.2. Kullanılacak sediment gözlem istasyonlarının Kızılırmak Havzası'ndaki konumları-2

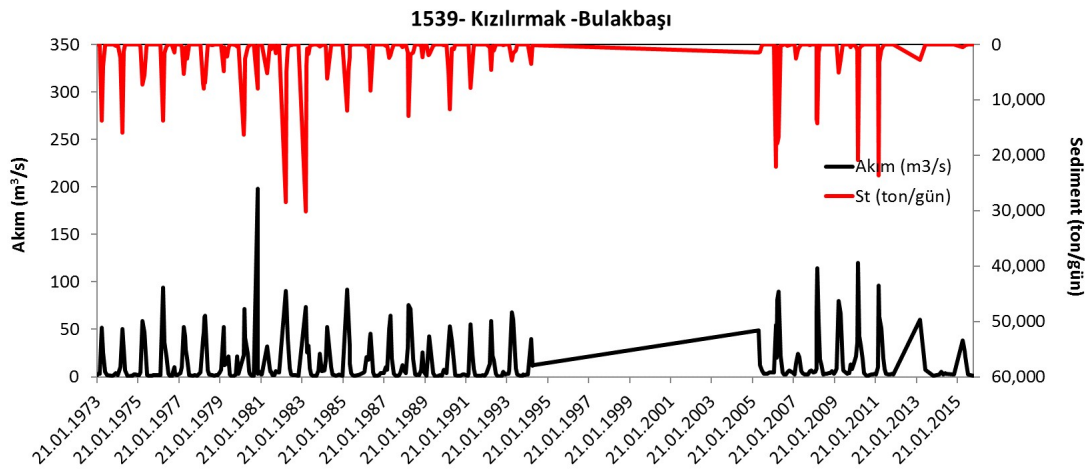
Çalışmada kullanılan dört istasyona ait akım ve sediment miktarlarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ da gösterilmiştir.



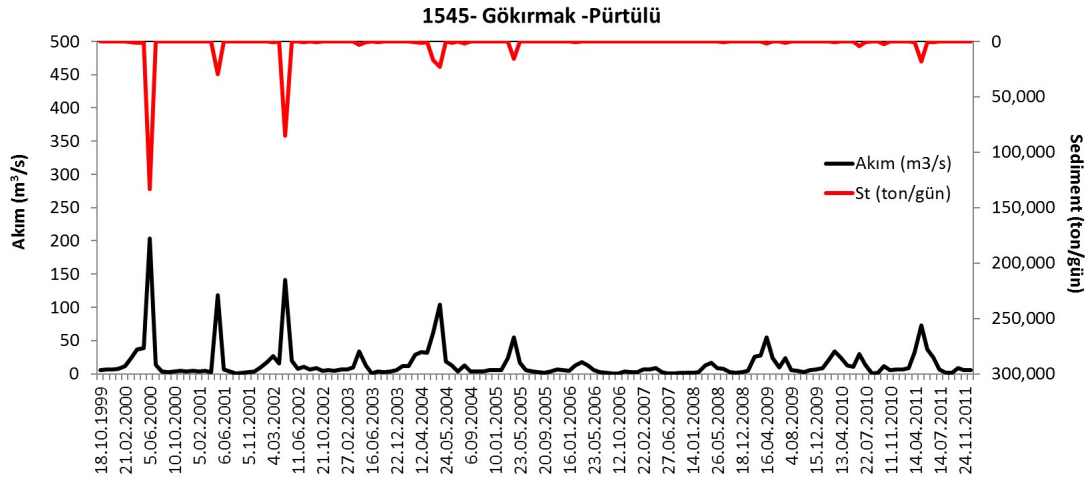
Şekil 4.3. 1517- Karanlıkdere-Şefaati İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.4. 1535- Kızılırmak-Söğütlühan İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi



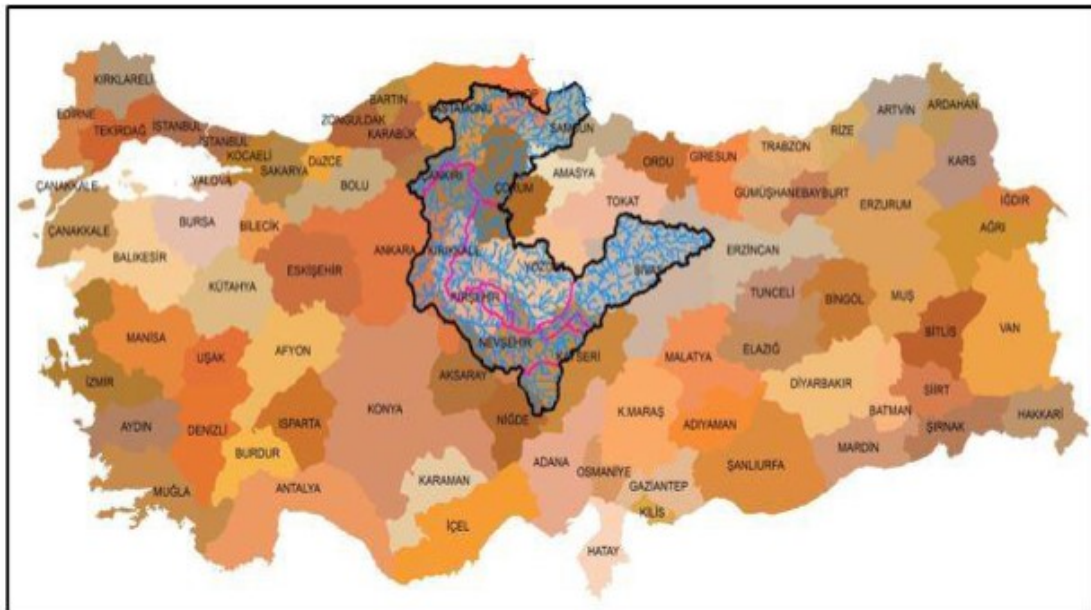
Şekil 4.5. 1539- Kızılırmak-Bulakbaşı İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.6. 1545- Gökırmak-Pürtülü İstasyonu'na ait akım ve sedimentin zamana bağlı değişimi

4.2. Araştırma Alanının Tanıtılması

Kızılırmak Havzası, 41° - 44° ve 38° - 25° kuzey enlemleri ile 32° - 48° ve 38° - 25° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye yüzölçümünün %10.49'unu oluşturan Kızılırmak Havzası, Türkiye'nin 15 nolu havzasıdır. Ankara, Çankırı, Yozgat, Çorum, Kırıkkale, Kırşehir, Nevşehir, Kayseri, Sivas, Samsun, Sinop, Kastamonu, Aksaray, Niğde, Tokat, Erzincan, Amasya ve Konya illerinin bazı bölümleri Kızılırmak Havzası'nı oluşturmaktadır. Toplam havza alanı 82181 km^2 ve çevre uzunluğu 3546.1 km 'dir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Kızılırmak Havzası'nın Türkiye'deki konumu

Kızılırmak Havzası; kuzeyinde Yeşilirmak Havzası, doğusunda Fırat-Dicle Havzası, güneyinde Seyhan Havzası, güneybatısında Konya Kapalı Havzası, batısında Sakarya Havzası ve kuzey batısında ise Batı Karadeniz Havzası ile komşudur.

Kızılırmak Havzası'nın büyük bir bölümü İç Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle genellikle karasal iklim tipi görülmektedir. Havzanın büyük bir alana yayılmış olması farklı iklimsel özelliklerin gözlenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, sıcaklık ve yağış ölçümleri yapılan istasyonlardaki değerler arasında sıcaklık ve yağış farkları bulunmaktadır.

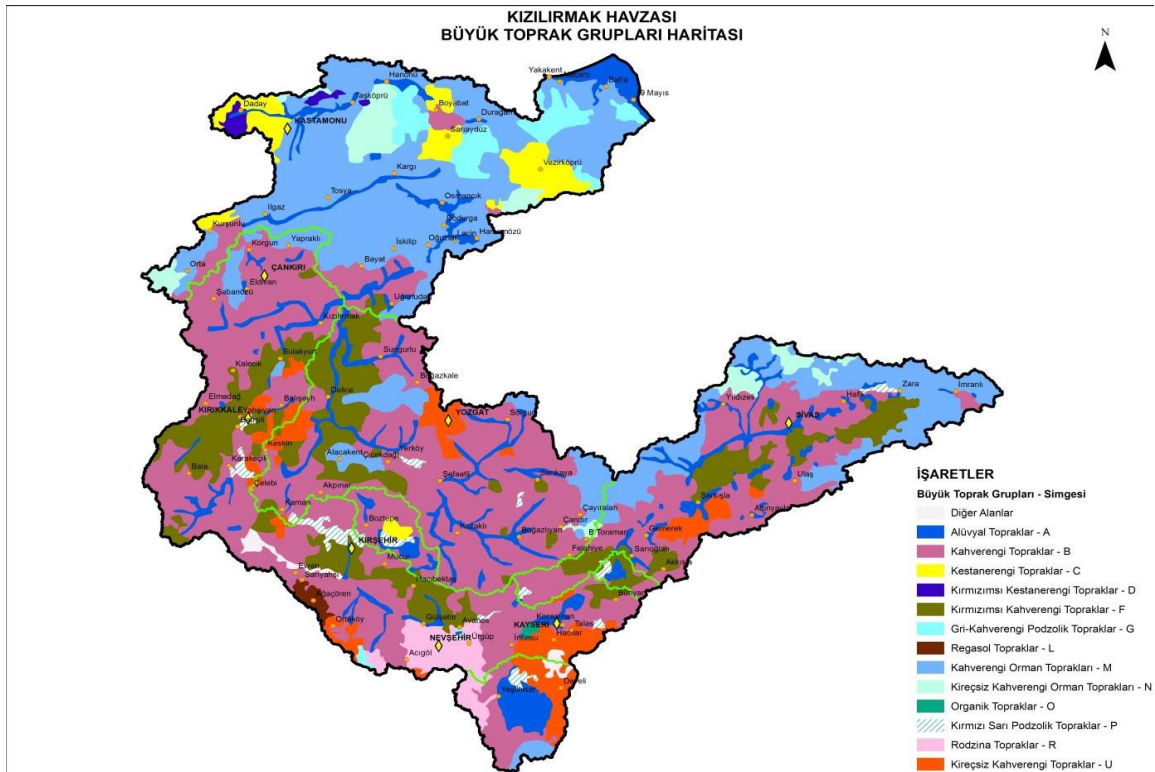
Kızılırmak Havzası eş yağış eğrileri incelendiğinde; ortalama yağışların havzanın kuzeyine doğru gidildikçe (Karadeniz Bölgesi yönüne) arttığı görülmekte olup ortalama yağış değeri 442.5 mm ve ortalama sıcaklık 10.5°C olarak verilmiştir.

4.2.1 Toprak özellikleri ve topoğrafya

4.2.1.1 Toprak özellikleri

Canlılar için hayati bir öneme sahip olan ve yeryüzünün örtüsü olan toprak, bitki örtüsünün beslendiği bütün kaynakların ana deposudur. Ayrıca toprak; tarımsal, endüstriyel ve ekonomik olarak oldukça önemlidir. Kızılırmak Havzası'nda kireçsiz kahverengi orman toprakları, alüvyal topraklar, kahverengi orman toprakları, kahverengi topraklar, kırmızımsı kahverengi topraklar, kireçsiz kahverengi topraklar, kırmızı-sarı podzolik topraklar, podzol topraklar, kestane renkli topraklar, kırmızımsı kahverengi topraklar, regosol topraklar, rendzina topraklar gibi toprak türleri bulunmaktadır (DSİ, 2016).

Havza sınırları içerisindeki büyük toprak grupları ve özellikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 4.8).



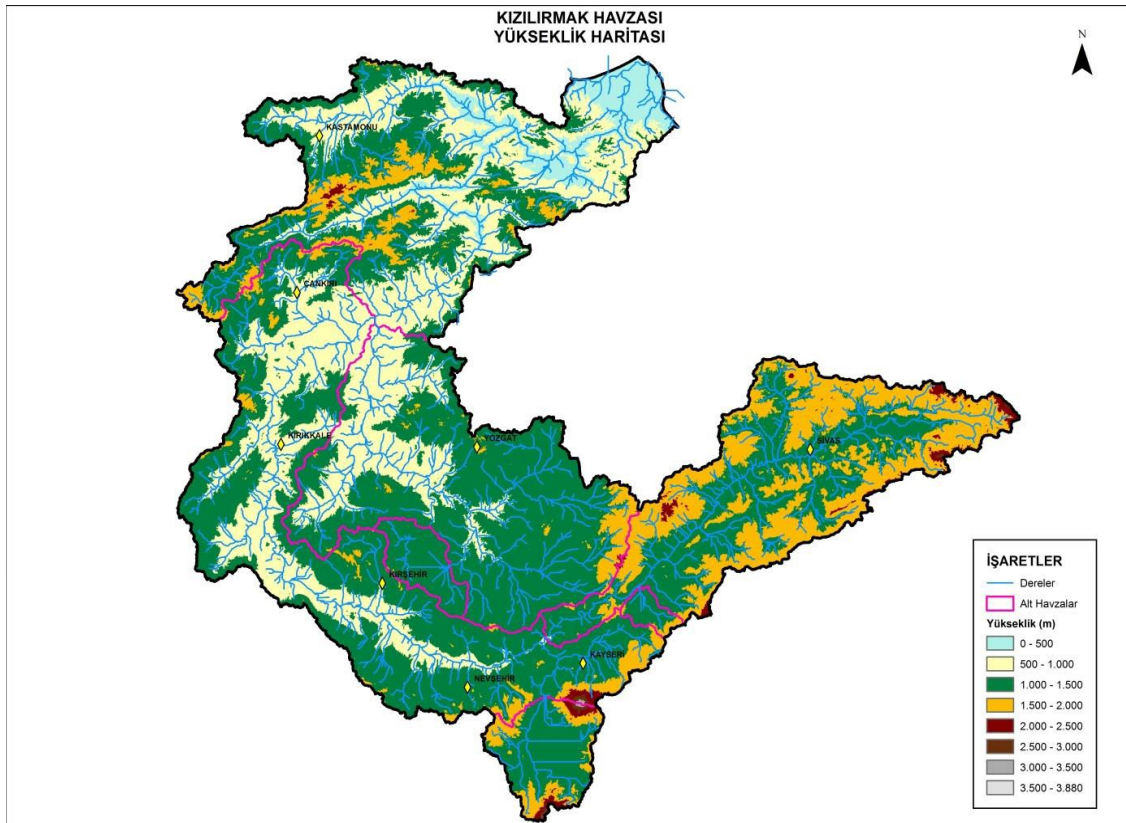
Şekil 4.8. Kızılırmak Havzası büyük toprak grupları haritası

4.2.1.2 Topoğrafya

Havza içerisinde dağların sayısı oldukça fazladır. Kızılırmak Havzası'nın Sivas ili dahilinde kuzey sınırını Giresun Dağları'nın güneybatı uzantısı oluşturur. Bu dağlık alandan Çoruh-Kelkit Vadisi ile ayrılan iç sıradağlar doğudan batıya doğru sıra ile Kızıldağ (3025 m), Köseadağı (2800 m), Tekeli Dağı (2600 m), Asmalı Dağı (2400 m) ve Yıldız Dağı (2550 m) şeklinde izlenir. Sivas ilinin orta kesimlerinde Tecer Dağları, Fırat-Dicle Havzası ile sınır oluşturur. Bu sıradağlardan Gürlevik Dağı (2650 m) ve Beydağı (2700 m) önemli dağlardır. Batıya doğru ise İncebel Dağları ve Yozgat ile sınır oluşturan ve yüksekliği Karababa Dağı'nda 2235 m'ye ulaşan Akdağlar yer alır. Kıvrımlı sıradağlar halinde uzanan Akdağlar, Kızılırmak'ın akış yönünü belirlemiştir. Kayseri sınırındaki Akdağların devamı olan Gevencik (1607 m) ve Keklice (1369 m) dağları havza içerisinde yer alan dağlardır.

Kızılırmak Havzası'nın yükseklik haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 4.9). Buna göre:

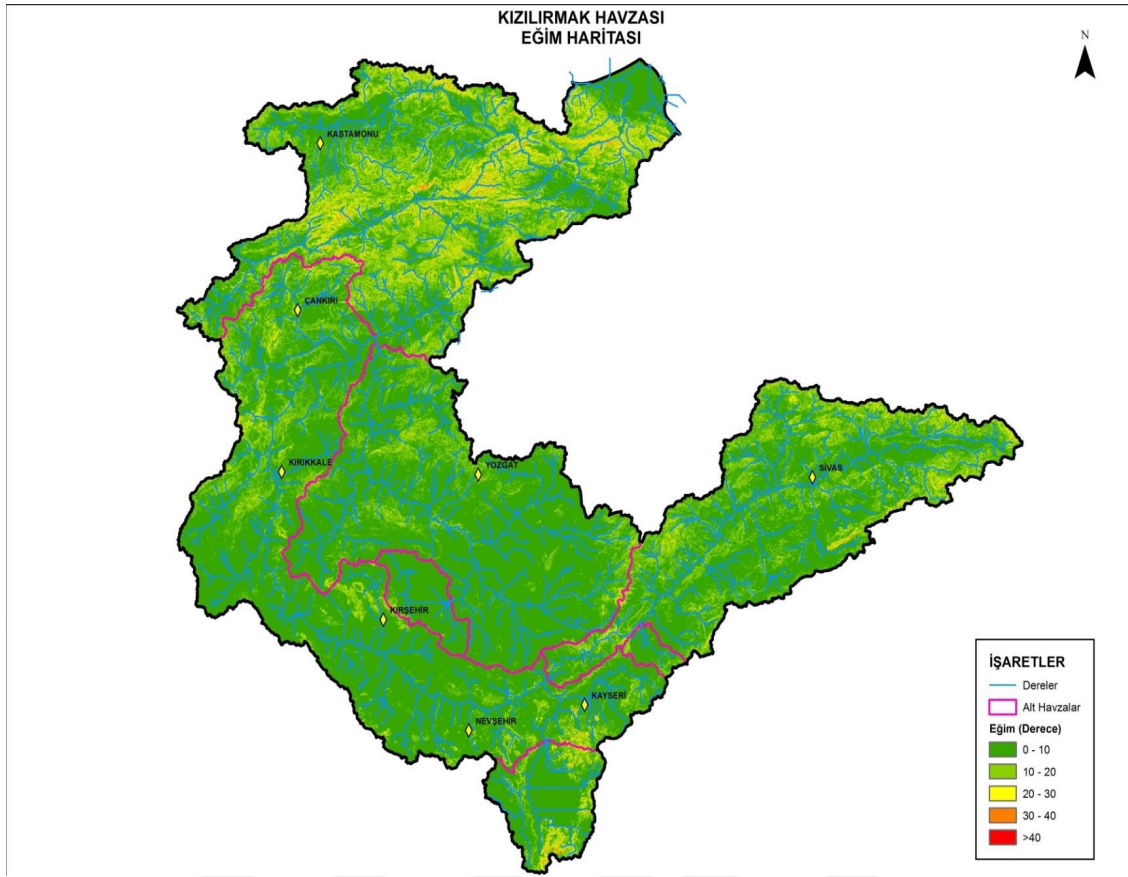
- Minimum yükseklik: 0 metre
- Maksimum yükseklik: 3895 metre
- Ortalama yükseklik: 1148 metre'dir.



Şekil 4.9. Kızılırmak Havzası yükseklik haritası

Kızılırmak Havzası'nın eğim haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 4.10). Havzanın ortalama eğimi %10 olarak belirlenmiştir.

- % 0-10 arasındaki eğim gruplarının oluşturduğu toplam alan %74
- % 10-20 arasındaki eğim gruplarının oluşturduğu toplam alan %20
- % 20-30 arasındaki eğim gruplarının oluşturduğu toplam alan %5
- % 30-40 arasındaki eğim gruplarının oluşturduğu toplam alan %1
- >% 40 arasındaki eğim gruplarının oluşturduğu toplam alan % 0



Şekil 4.10. Kızılırmak Havzası eğim haritası

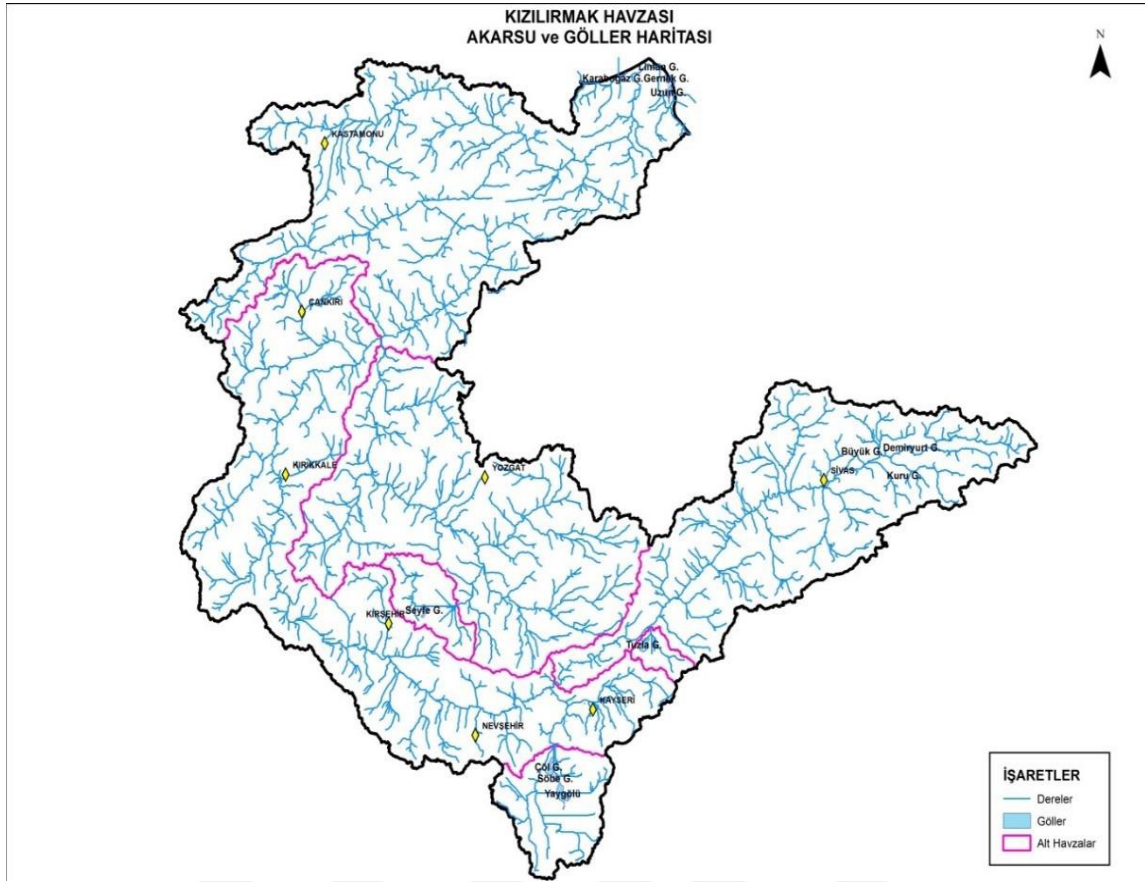
4.2.2 Genel jeoloji

Kızılırmak Havzası'nda Paleozoikten günümüze kadar oluşmuş tortul, magmatik ve metamorfik kayalar mevcuttur. Kızılırmak Havzası'nda Paleozoik yaşlı birimler yaşlıdan gence doğru; metamorfik seriler ve mermerler olarak görülürler.

4.2.3 Mecra karakteristikleri

8 milyon hektardan fazla bir alana sahip olan Kızılırmak Havzası aldığı yağışların büyük bölümünü akarsular vasıtasıyla Karadeniz'e boşaltmakta olup havzada küçük ve büyük birçok akarsu bulunmaktadır (Şekil 4.11).

Tamamı Türkiye sınırları içinde olan akarsulardan en uzun olan ve havzaya da adını veren Kızılırmak Nehri, 1151 km uzunluğu ile 82181.00 km²'lik alanın sularını Karadeniz'e boşaltmaktadır.

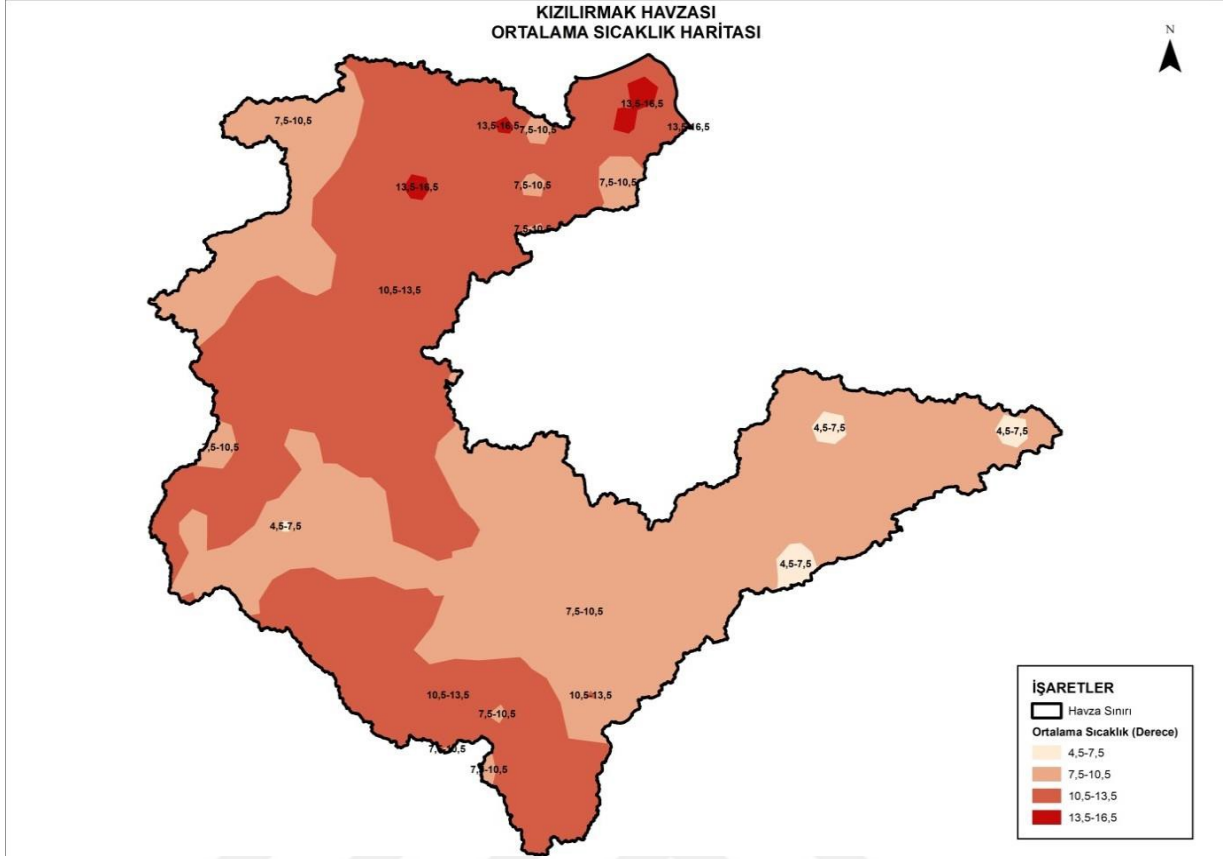


Şekil 4.11. Kızılırmak Havzası göller ve akarsular haritası

4.2.4 İklim

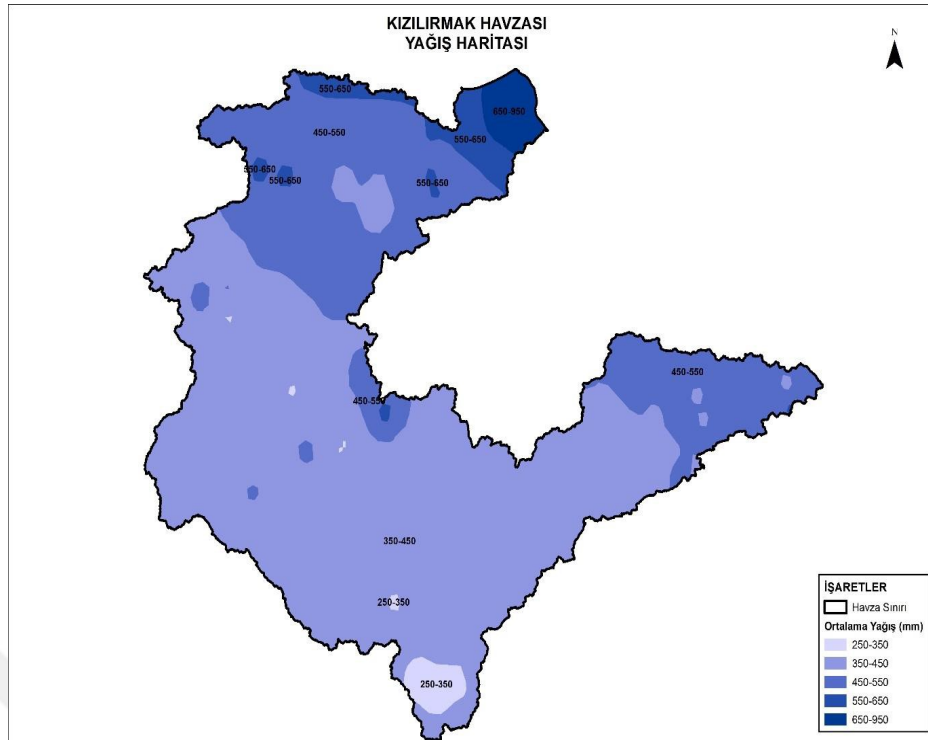
Kızılırmak Havzası geniş bir alana yayılmaktadır. Bu nedenle havza içerisinde farklı iklim tipleri görülmektedir. Karadeniz'e kıyısı olan bölümlerde Karadeniz iklimi, İç Anadolu Bölgesi içerisinde kalan kısımlarında ise karasal iklim hâkimdir. Karadeniz ikliminin hâkim olduğu yerlerde her mevsim yağışlıdır. Yazlar serin, kışları kıyılarda ılık, yükseklerde soğuk ve kar yağışlı olup yağış yıla dağılmış bir şekilde görülmektedir.

İklim elemanları arasında en önemlisi sıcaklıktır. Kızılırmak Havzası'nda iç kesimlerine karasal iklim hâkimdir. Yaz mevsimi sıcak, kışlar soğuk geçer. Kızılırmak Havzası yıllık sıcaklık ortalaması 10.5 °C'dir. Havza genelinde Ocak ayı ortalamasının 0 °C'nin altına düştüğü görülür. Bazı istasyonlarda Aralık ve Şubat ayı ortalamaları da 0°C'nin altına düşmektedir. En sıcak aylar ise ortalama sıcaklıkların 20 °C'nin üstüne çıktığı Temmuz ve Ağustos'tur. Kızılırmak Havzası ortalama sıcaklık haritası Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Kızılırmak Havzası yıllık ortalama sıcaklık haritası

İnceleme alanında yıllık ortalama yağışın 442.5 mm olduğu görülmektedir. Maksimum yağış Nisan ve Mayıs aylarında, minimumu da havanın sıcak ve stabil olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında düşer. Havzadaki yıllık ortalama yağış, güneyde İç Anadolu'dan kuzeye Karadeniz'e doğru belirgin bir şekilde artmaktadır. Kızılırmak Havzası'nın iç kesimlerinde görülen karasal iklim tipinde yıllık yağış ortalaması 400-500 mm civarında, Karadeniz ikliminin görüldüğü kesimlerde ise 650-950 mm aralığındadır (Şekil 4.13)



Şekil 4.13. Kızılırmak Havzası ortalama yıllık toplam yağış haritası

4.2.5 Erozyon, sediment durumu ve sediment kaynakları

4.2.5.1 Erozyon durumu

Kızılırmak Havzası'nın 65566.644 km²'lik kısmında, yani %79.8'inde normal erozyon görülmektedir. Normal erozyon görülen alanlar özellikle eğimin düşük olduğu tarım ve mera arazileri ile iyi nitelikli orman arazileridir. Eğimin yüksek olduğu yamaç tarım ve mera alanlarında az şiddetli erozyon hüküm sürmektedir. Az şiddetli erozyonun genel alana oranı ise %14'dür. Kızılırmak Havzası erozyon durumu Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kızılırmak Havzası erozyon durumu

Erozyon Durumu	Alan (km ²)	Genel Alana Oranı (%)
Kayalık Alan	48.134	-
Normal Erozyon	65566.644	79.8
Az Şiddetli Erozyon	11530.307	14.0
Şiddetli Erozyon	1625.619	2.1
Çok Şiddetli Erozyon	2263.15	2.8
Yerleşim Alanı	610.41	0.7
Rüsubat	79.871	0.1
Su Yüzeyi/Sulak Alan	446.815	0.5
Ocak	8.981	-
Tesis	1.059	-
Toplam	82180.99	100

4.2.5.2 Sediment kaynakları

Kızılırmak Nehri akarsu havzası incelendiğinde genel olarak rüsubatın ana kaynağını yamaç arazilerdeki yüzey erozyonunun oluşturduğu görülmektedir. Yüzey erozyonu kaynaklı rüsubat da bozuk orman ve mera arazileri, yamaç arazilerdeki tarım alanları ile çıplak sahalardan kaynaklanmaktadır. Kızılırmak akarsu havzasında problem oluşturan rüsubatın diğer kaynaklarını ise;

- Kayalık alanlardan dere yataklarına ulaşan fiziksel ayrışma ürünü materyal,
- Dik yamaçlardaki taşlık alanlardan yuvarlanma ve akmalar,
- Dik yamaçlardaki gevşek yamaç molozlarında oyuntu erozyonu,
- Akarsulardaki taban ve kıyı oyulmaları ile bu oyulmalara bağlı gelişen yamaç kaymaları ve heyelanlar,
- Dik yamaçlarda açılan yollardaki kazı ve dolgu şevleri,
- Akarsu yataklarına bırakılan evsel ve endüstriyel atıklar oluşturmaktadır.

Söz konusu rüsubat kaynakları, arazinin jeolojik, topoğrafik, iklim, toprak özellikleri vb. çeşitli etkenlere göre alt havza bazında çeşitli oranlarda farklılıklar gösterebilmektedir. Tuzla, Develi ve Seyfe kapalı alt havzalarında; yamaç arazilerdeki yüzey erozyonu, akarsulardaki taban ve kıyı oyulmaları ile bu oyulmalara bağlı gelişen yamaç kaymaları ile dik yamaçlarda açılan yollardaki kazı ve dolgu şevleri sediment kaynakları olarak daha çok görülmektedir. Diğer alt havzalarda ise yüzey erozyonu, akarsulardaki taban ve kıyı oyulmaları, yol kazılarından kaynaklı materyalin yanı sıra heyelanlar ve yamaç akmaları, kayalık alanlardaki fiziksel ayrışmalar, dik yamaçlardaki gevşek yamaç molozlarında oyuntu erozyonu gibi faktörler de akarsularla taşınan sediment kaynaklarını oluşturmaktadır (DSİ, 2016).

4.3 Yöntem

4.3.1. Sediment anahtar eğrisi

Akarsuyun ölçüm yapılan kesitine ait debi ile sediment miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren Sediment Anahtar Eğrisi denkleminin genel ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Q_s = a Q^b \quad (4.1)$$

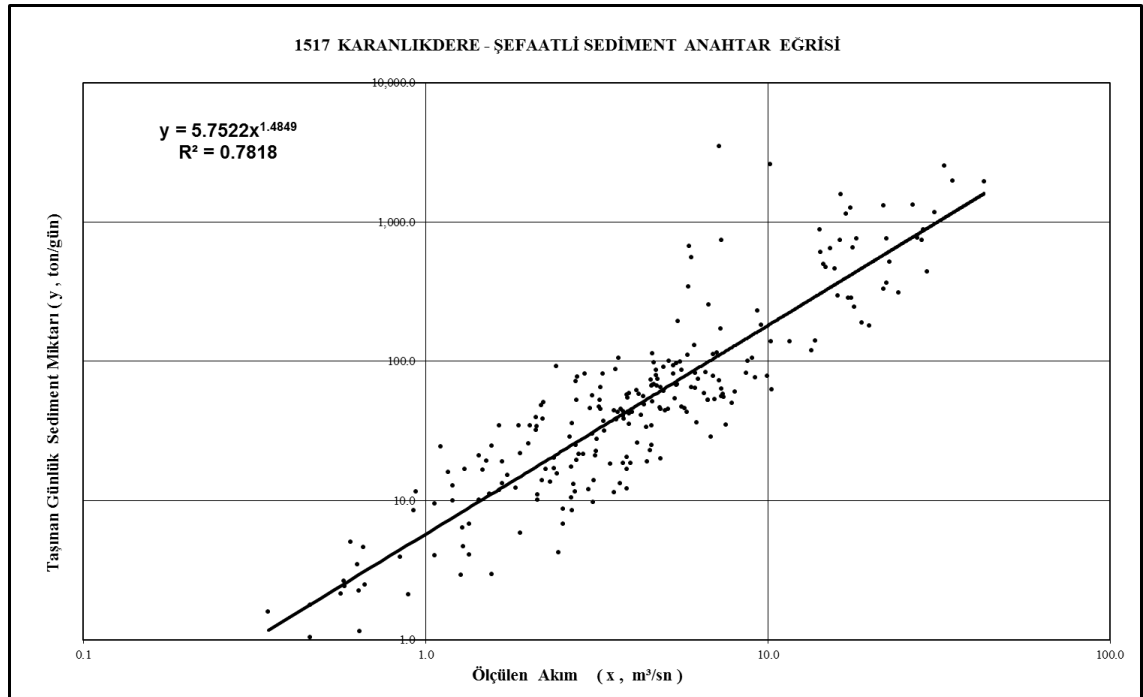
Q: Akarsu akış debisi; Qs: Sediment miktarı; a,b: Akarsu karakteristiğine bağlı katsayılar

Karakteristik katsayılar genellikle debi ve akıdaki sediment miktarının logaritmik dönüşümü ile belirlenmektedir. EİE bu yöntemi aynı havza içinde bulunan ve sediment hakkında verilere sahip olmayan istasyonlardaki sediment miktarını belirlemede kullanmış olup hidrolojik ölçüm yapma görevini 2013 yılında DSİ'ye devretmesi ile ölçüm ve yöntemler artık DSİ tarafından yapılmaktadır.

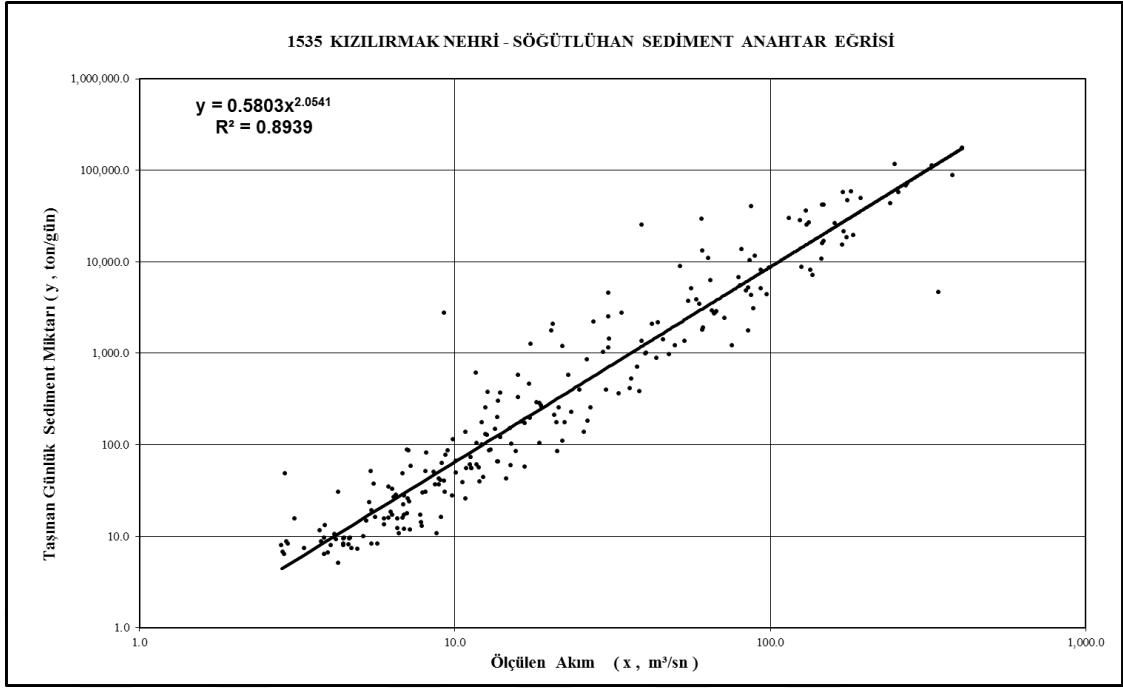
Bu yöntem, genellikle en büyük yüklerin olduğundan daha az ve en küçük yüklerin ise olduğundan çok daha fazla tahmin edilmesine yol açmaktadır (Ülke ve ark., 2009).

Sediment anahtar eğrisinden yararlanarak, istasyonların temsil ettiği havzaya ait birim alana gelen sediment verimi değerleri ton/yıl/km² olarak hesaplanır. Havzada yapılacak olan mühendislik yapılarında, hesaplanan verimin kullanılması ile bulunan sediment olumsuz etkileri göz önüne alınarak planlama yapılması sağlanır. Aynı zamanda sediment verimi kullanılarak havzanın erozyon derecesi hesaplanabilmektedir.

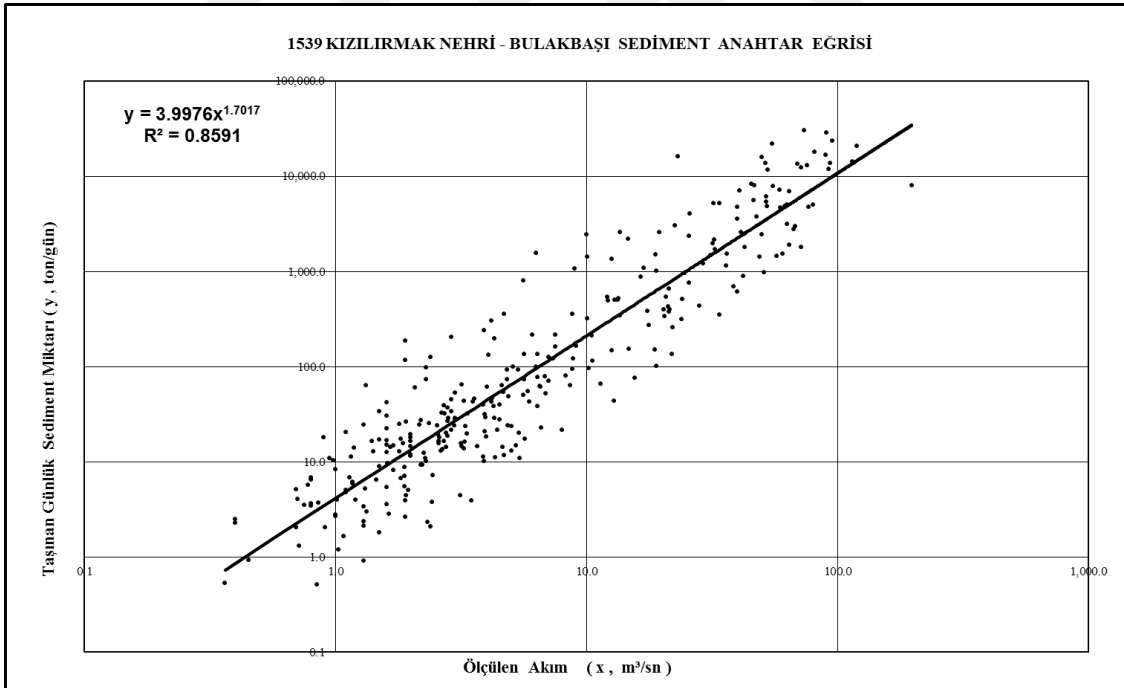
Çalışmada kullanılan istasyonlara ait sediment anahtar eğrileri Şekil 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17'de verilmiştir.



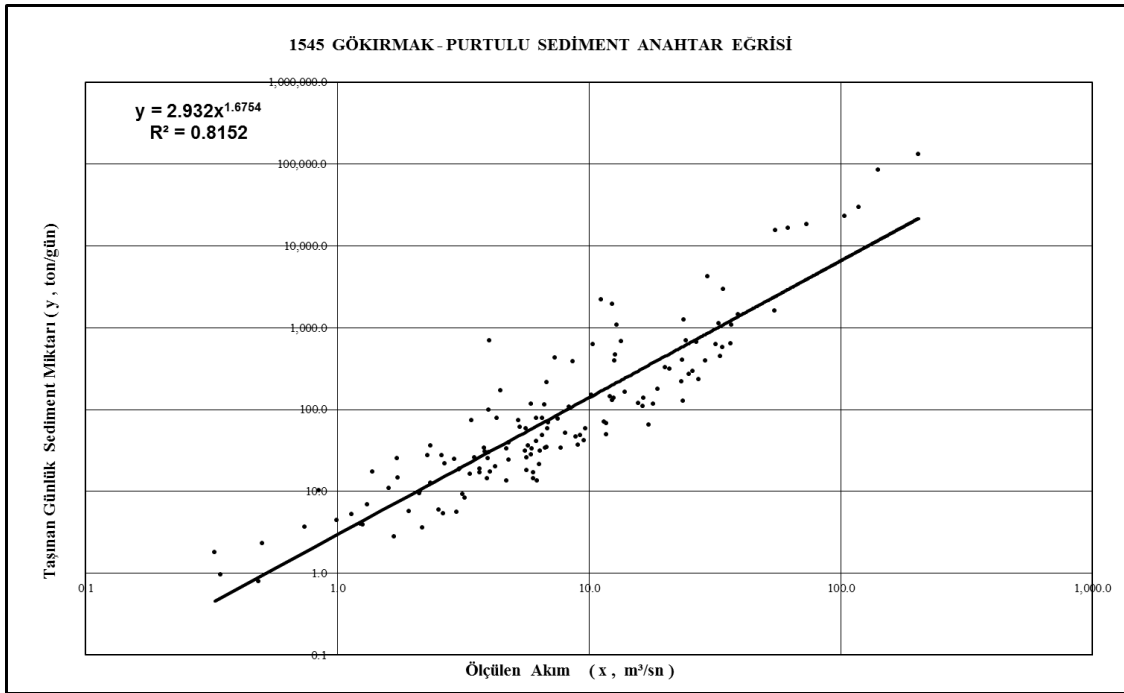
Şekil 4.14. 1517 Karanlıkdere- Şefaatli İstasyonu sediment anahtar eğrisi



Şekil 4.15. 1535 Kızılırmak Nehri-Söğütlühan İstasyonu sediment anahtar eğrisi



Şekil 4.16. 1539 Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu sediment anahtar eğrisi



Şekil 4.17. 1545 Gökırmak-Purtulu İstasyonu sediment anahtar eğrisi

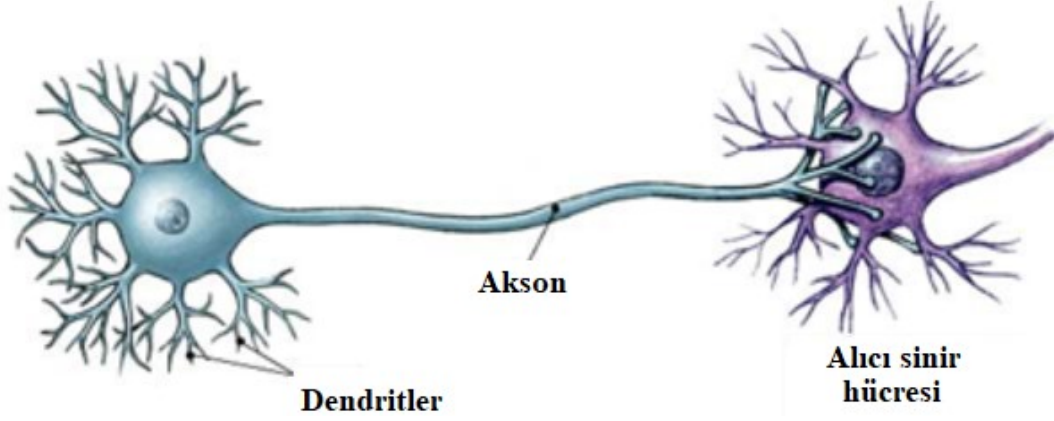
4.3.2 Yapay sinir ağları (YSA)

Biyolojik sinir sisteminin çalışma biçimini simule ederek zor problemleri çözmek için tasarlanan programlara YSA denir. Bu ağlar aynı sinir sistemleri gibi hafızaya alma, veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma öğrenme kapasitesine sahip oldukları için bu ismi almışlardır.

Başka bir ifade ile YSA insana özgü olan düşünme, gözlemlene gibi yetenekleri gerektiren problemlere çözüm üretme kapasitesine sahiptir. YSA aynı insanlar gibi problemleri çözüme kavuşturmak için kendisine verilen veriler ile kendini eğiterek problemleri çözmek için bir sistem geliştirir. YSA, girdilere karşı çıktılar üreten bir kara kutu olarak düşünülebilir. Biyolojik sistemlerde öğrenme, sinir hücrelerinin arasındaki bağlantılar vasıtası ile olur (Şekil 4.18).

Uygulama alanları için bir sınırlama olmayan YSA, hayatın birçok yerinde karşılaşılan problemleri başarılı şekilde çözerek geniş bir uygulama alanına sahip olmuşlardır.

Uygulama alanları için bir sınır yoktur fakat öngörü, modelleme ve sınıflandırma gibi bazı alanlarda ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.18. Sinir hücrelerinin bağlantılarının yapısı

1950'li yıllarda ortaya çıkan ve 1980'li yılların ortalarında genel amaçlı kullanım için yeterli seviyeye gelen YSA özellikle verinin trendi veya yapıyı (pattern) en iyi tanımlayan yöntemlerden biri olması nedeniyle tahmin (prediction) ve öngörü işlemleri için oldukça uygunlardır.

YSA'nın yaygın olarak kullanıldığı alanlara, kredi derecelendirme, laboratuvar araştırmaları, tıbbi alanda data değerlendirme ve tanı konulması, petrol ve gaz arama, mühendislik alanlarında veri tahmini, iflas tahmini, işlem modelleme ve yönetimi, finansal ve ekonomik öngörü, kalite kontrol v.b. örnekler verilebilir.

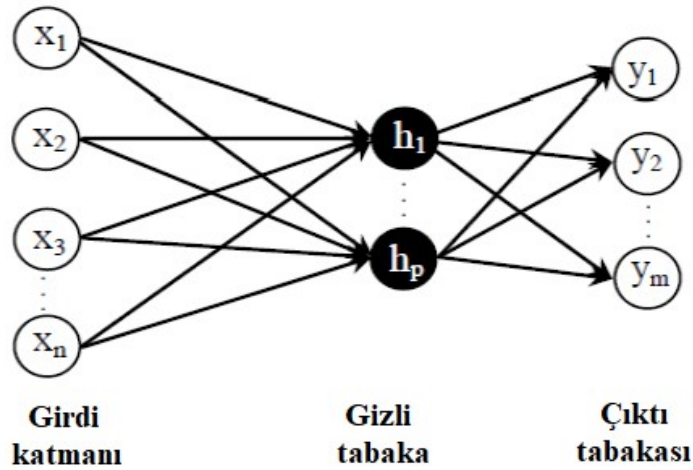
4.3.2.1. Yapay sinir ağlarının yapısı

YSA genel olarak girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere farklı katmandan oluşan bir yapıdır. Her birim, ağırlık kümeleri adı verilen katmanları birbirine bağlaması ile oluşmakta olup bağlanma şekli ve birimlerdeki sinir hücresi sayıları birbirinden farklı olabilmektedir. Aynı birimde bulunan hücreler arasında herhangi bir iletişim yoktur. Hücreler ise girdiyi, ara bağlantılar ile ya da başlangıç girdilerinden almaktadırlar (Cıgızoğlu, 2001) (Şekil 4.19).

Girdi Katmanı: Bu katman çalışma verilerini ara katmanlar iletir.

Gizli Katman: Girdi katmanından alınan verilerin işlendiği yer olan bu katmanda işlenen veriler çıktı katmanına iletilir.

Çıktı Katmanı: Girdi katmanından gelen işlenmesi istenen veriyi gizli katmandan alarak sonuç verilerini üretir.



Şekil 4.19. Yapay sinir ağı modeli (Öztemel, 2003).

4.3.2.2. Yapay sinir ağlarının özellikleri

YSA'nın modellere göre farklılık gösteren karakteristik özellikleri olmasına karşın bu karakteristik özelliklerin bazı ortak noktaları vardır (Malkoç, 2007).

- **Hata Toleransı:** YSA'da sistemin toplamsal işlevinin yapısal olarak dağılımı ve paralelliği karşımıza çıkmaktadır (Haykin, 1994). YSA; nöronların bir araya gelmesi ile oluşmakta olup, nöronlar karmaşık problemleri birlikte çalışarak çözüme kavuşturmaktadır. Bu problemler çözülürken nöronlardan birinin görevini yerine getirememesi durumunda sistem çalışmasını güvenli bir şekilde sürdürmektedir (Efe ve Kaynak, 2004).

- **Genelleme:** YSA, genelleme özelliği vasıtasıyla eğitim esnasında daha önce hiç karşılaşmadığı test örnekleri için sonuçlar üretebilmekte olup, eğitim süreci boyunca karşılaşmadığı giriş verilerinin sistemin bütünü ile benzer davranış göstermesi YSA'nın genelleme özelliğinden kaynaklanmaktadır (Turhan, 2012).

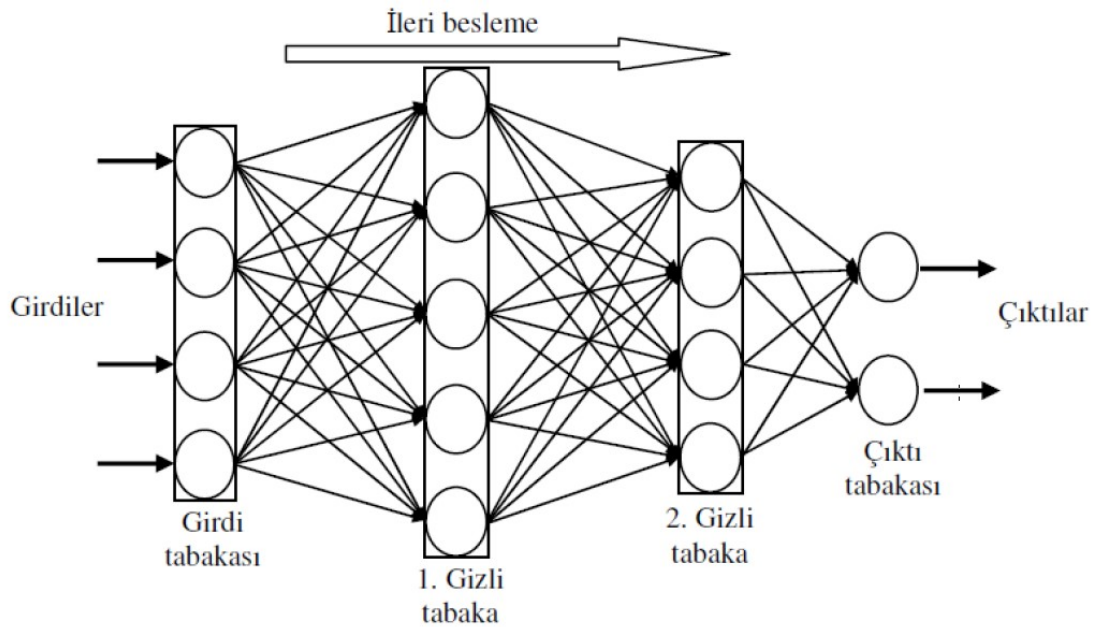
- **Uygulanabilirlik:** Yapay sinir ağları, ele aldığı problemlerde bir değişiklik olması halinde oluşan değişikliğe göre kendini ayarlayabilmekte olup bu özelliği sayesinde koşulların değişmesi durumunda da eğitime devam edilebilmektedir (Turhan, 2012).

- **Donanım ve Hız:** YSA, paralel bir yapıda olması nedeniyle büyük ölçekli entegre devre teknolojisi olarak teşkil edilmekte olup, bu özellik YSA'nın bilgi işleme yeteneğini hızlandırmaktadır (Turhan, 2012).

4.3.2.3. Yapılarına göre ağ çeşitleri

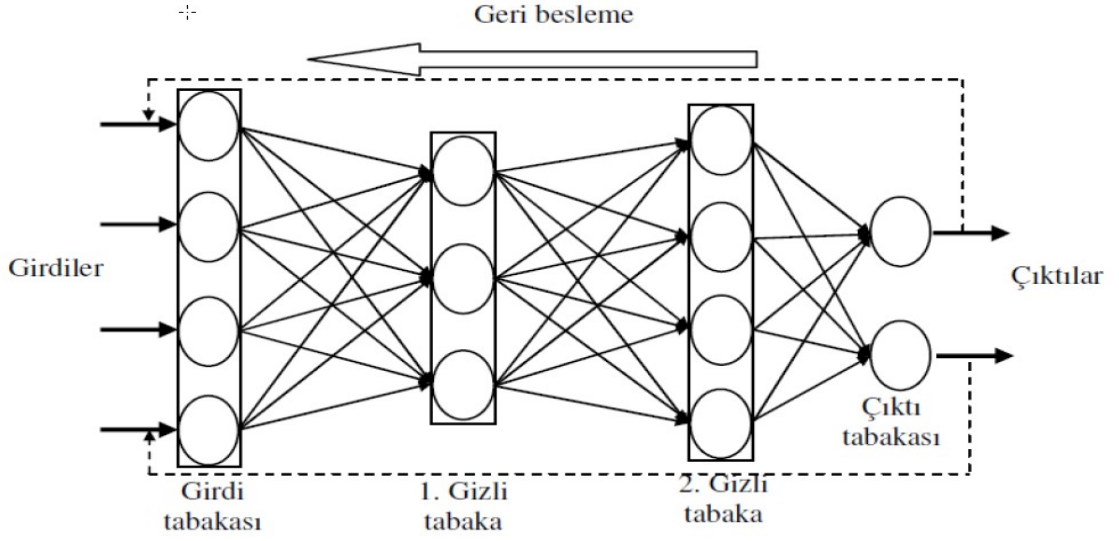
İleri Beslemeli Ağlar (Feedforward): İleri beslemeli yapay sinir ağları (İBYSA), YSA arasında en çok tercih edilen yöntemlerden olup katmanlar halinde bulunan hücrelerin çıkışları başka bir hücre katmanına ağırlıklar yardımıyla giriş verisi halinde iletilmektedir.

İBYSA'da giriş katmanında bilgiler üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan gizli katmana iletilerek gizli katmanına iletilen bilgi önce bulunduğu katmanda, sonra da çıkış katmanında işlenerek ağın çıkışına sonuç verisi olarak iletilmektedir (Turhan, 2012) (Şekil 4.20).



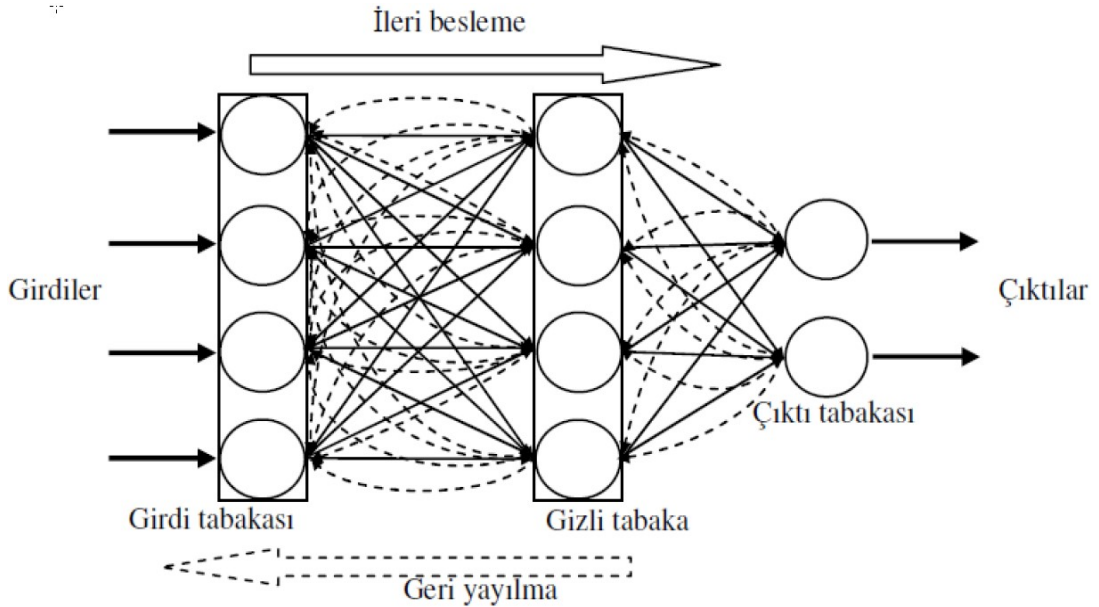
Şekil 4.20. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı (Afşar, 2008)

Geri Beslemeli Ağlar (Feedback veya Backpropagation): En az bir hücreye sahip olan geri beslemeli yapay sinir ağları (GBYSA), hücrenin çıkış verilerini kendi veya başka hücrelere giriş verisi olarak iletmekte olup, yaptığı geri besleme sadece belirli bir katmanda sınırlı kalmadan tüm katmanlarda bulunan hücreler arasında gerçekleşmektedir (Turhan, 2012) (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Çok katmanlı geri beslemeli yapay sinir ağı (Afşar, 2008)

İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağlar: 1970'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanan ileri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağlarının (İBGYYSA) şu an kullanılan hale gelmesi Rumelhart ve ark. (1986) tarafından sağlanmış olup özellikle lineer olmayan problemleri çözmede etkili olması sebebiyle yoğun olarak kullanılmaktadır (Afşar, 2008) (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağı (Afşar, 2008)

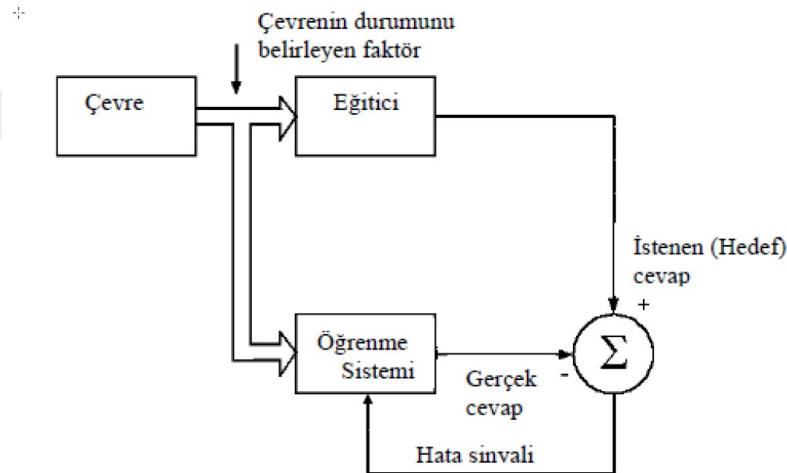
4.3.2.4. Öğrenme yöntemine göre ağ çeşitleri

Öğretmenli Eğitim: Öğretmenli eğitimde, model yardımcı eğitici ile öğrenmekte olup, öğretilmesi istenen olay ile ilgili tüm veri setleri (girdi/çıktı) sisteme eğitici tarafından verilmektedir. Girdileri, eğiticinin belirlediği çıktılara haritalamak sistemin görevidir (Önal, 2009) (Şekil 4.23).

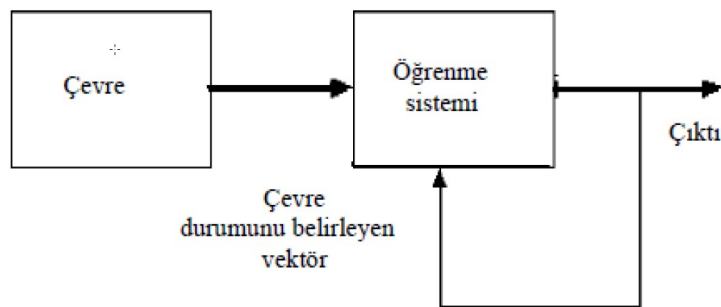
Öğretmenli eğitimin en önemli özelliği kullanılan veri setinin gerçek değerler kullanılarak oluşturulmasıdır (Şen, 2004).

Öğretmensiz Eğitim: Öğretmensiz eğitimde, modele öğrenme işleminde yardımcı olacak bir eğitici bulunmamakta olup, sistemin girdi değerlerine göre veriler arasında bulunan ilişkiyi yardım almadan kendi kendine öğrenmesi istenmektedir.

Genelde sınıflandırma problemlerinin çözümü için kullanılan bu yöntem bazı YSA modellerinde uygulanmaktadır (Önal, 2009) (Şekil 4.24).

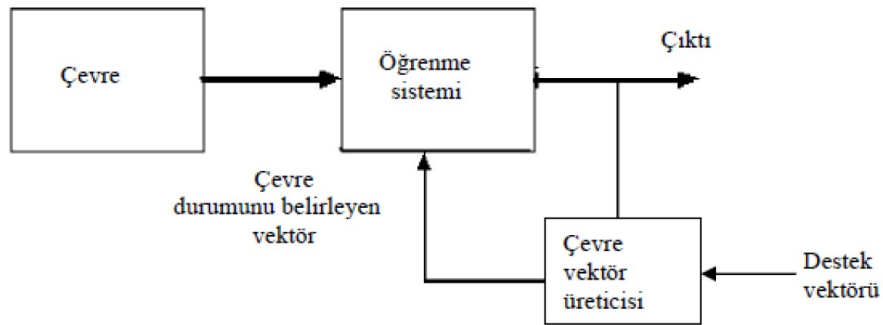


Şekil 4.23. Öğretmenli eğitim (Önal, 2009)



Şekil 4.24. Öğretmensiz eğitim (Önal, 2009)

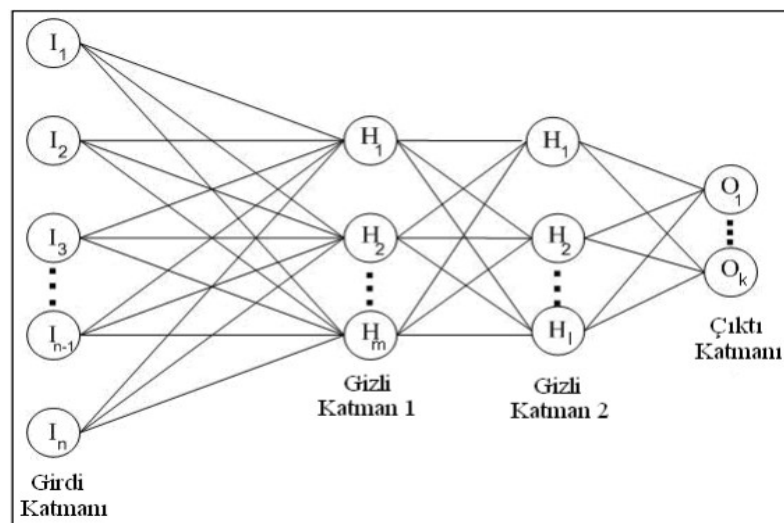
Yarı Öğretmenli Eğitim (Destekleyici Eğitim): Yarı öğretmenli eğitimde, sonuç çıktısı oluştururken bir öğretici olmamasına karşın öğreticinin yerine girdi verisine karşılık oluşan sonuç verisini değerlendiren bir ölçüt kullanılmakta olduğundan sistem kısmen yönlendirilmektedir. Sistemden var-yok ya da doğru-yanlış gibi sınıflandırmaların yapılması durumunda faydalanılmaktadır (Şen, 2004) (Şekil4.25).



Şekil 4.25. Yarı öğretmenli eğitim (Önal, 2009)

4.3.3. Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA)

Genellikle doğrusal olmayan problemlerin çözülmesi için tercih edilen YSA modeli olan ÇKYSA'nı klasik yapay sinir ağlarından ayıran özellik giriş ve çıkış katmanının dışında birden fazla gizli katmandan oluşmasıdır. Problemlerin durumuna bağlı olarak giriş veri sayısı, çıkış veri sayısı, gizli katman sayısı, gizli katmanda bulunan hücre sayısı modelleyici tarafından belirlenmektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli

Tek katmanlı YSA'da çözülmesi zor veya mümkün olmayan problemler ÇKYSA'da kolaylıkla çözülebilmektedir (Terzi, 2004). Katmanlar ve bu katmanlarda bulunan hücre sayılarının probleme uygun şekilde seçilmemesi durumunda yapay sinir ağlarından istenilen başarı elde edilememektedir (Arık, 2014).

Eğitilmiş öğrenme ile çalışan ÇKYSA'da ağı öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı olan Delta Öğrenme Kuralının genelleştirilmiş halidir. Ağın öğrenilmesi için eğitim seti adı verilen ve örneklerden oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Ağın öğrenilmesi için gerekli olan örneklerden oluşan eğitim seti içinde her örnek için girdiler ve girdiler için üretmesi istenen çıktılar belirlenmiştir (Terzi, 2004).

ÇKYSA'nın tahmin performansında; gizli katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, öğrenme oranı, momentum katsayısı, iterasyon sayısı ve aktivasyon sayısı etkili olmaktadır.

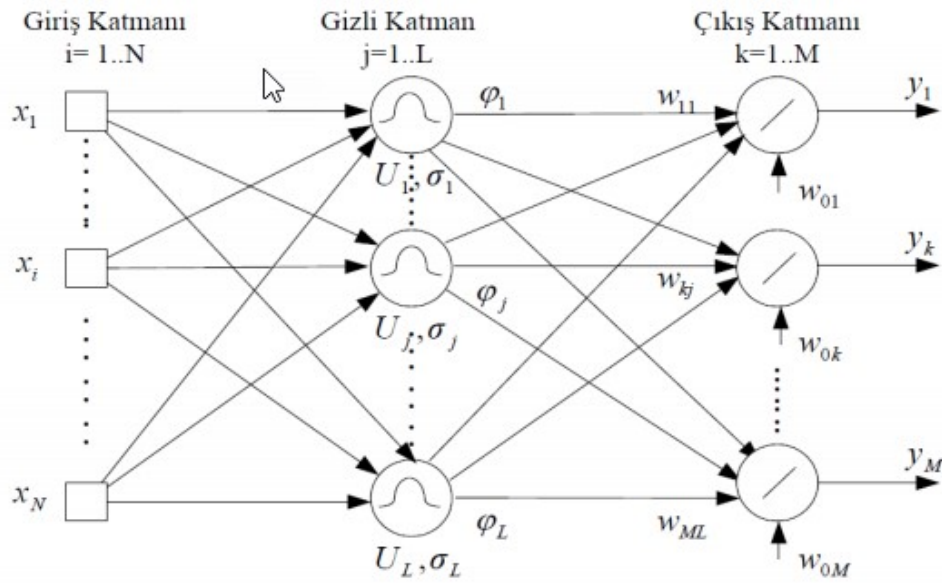
4.3.4. Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA)

Broomhead ve Lowe (1988) tarafından geliştirilen ve insanın sinir hücrelerindeki nöronlarını temel alarak oluşturulmuş bir YSA modeli olan RTYSA filtreleme problemine uygulanarak YSA tarihine girmiştir.

Çok katmanlı ileri beslemeli ağların özel bir hali olan RTYSA'nın tek bir gizli katman bulundurması ve gizli katman nöronlarında aktivasyon fonksiyonu olarak radyal tabanlı fonksiyonların kullanılması olmak üzere iki karakteristik özelliği vardır. Bir başka önemli özelliği de girdi katmanından gizli katmana bilginin değiştirilmeden aktarılması olan RTYSA'da klasik yapay sinir ağlarında olduğu gibi aktivasyon fonksiyonlarında radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılmaktadır (Akbiğiç, 2011).

Klasik yapay sinir ağları yapısı gibi girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olarak tanımlanan RTYSA modelleri, klasik yapay sinir ağlarından girdi katmanından gizli katmana geçişte radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları kullanılması ve doğrusal olmayan bir kümeleme (cluster) analizi kullanılması konusunda farklılaşmaktadır (Şekil 4.27). Klasik YSA'da olduğu gibi girdi ve çıktı arasında eğitim gerçekleşmektedir (Okkan ve Dalkılıç, 2012).

RTYSA'da modelleyici tarafından belirlenmesi gereken parametrelerin az olması nedeniyle hızlı çözümler üretilebilmektedir.



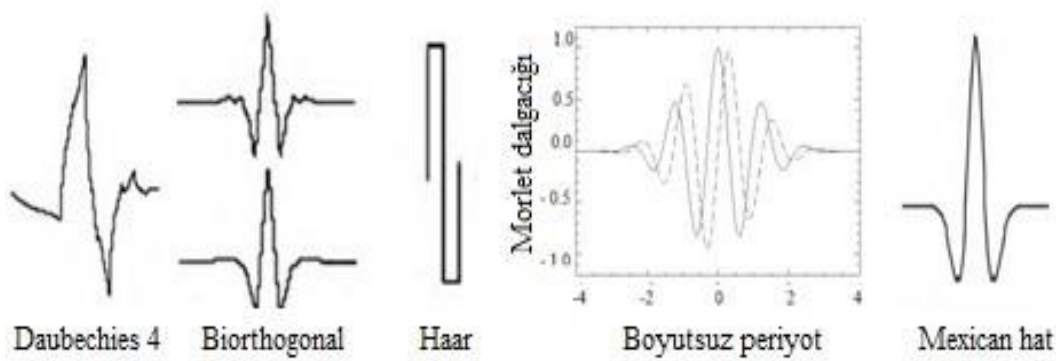
Şekil 4.27. Radyal tabanlı yapay sinir ağlarının ağ yapısı (Kaynar ve ark., 2016)

4.3.5. Dalgacık dönüşümü (DD)

İlk defa 1909 yılında Alfred Haar tarafından ortaya atılan Dalgacık Analizi değişken büyüklüğünde pencereleme ile işaret işleme yöntemlerine yeni bir yaklaşım getirerek düşük frekanslarda uzun zaman aralıklı, yüksek frekanslarda ise kısa zaman aralıklı pencereleme yapılmasını sağlar. Dalgacık dönüşümünde kullanılan dalgaanın adı olan dalgacık, sınırlı süreklilikte ortalama değeri sıfır olan bir dalga şeklindedir. Zaman-frekans bölgesi yerine zaman-ölçek bölgesini kullanan dalgacık dönüşümünün, işaretin lokal olarak analizine imkan sağlaması en önemli avantajdır.

Verilerin periyodunun belirlenmesinde oldukça iyi sonuçlar veren, bu yüzden de tahmin çalışmalarında oldukça başarılı olan dalgacık yöntemi, belirli zaman aralıkları ile ölçülmüş yağış, akış, sıcaklık ve sediment gibi hidrolojik verilerinin periyodik ve karakteristik yapılarının belirlenmesinde oldukça sık kullanılmaktadır.

Dalgacık analizinde en çok kullanılan ana dalgacıklar Morlet, Haar, Bior 3.1, Meksika şapka tipi, Daubechies dalgacıklarıdır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Kullanılmakta olan bazı dalgacık modelleri.

Haar Dalgacığı: Alfred Haar tarafından geliştirilen, kare dalga şeklinde ve bilinen en basit dalgacık modeli olan Haar dalgacığı, veri serisinin değişimini tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Süreksiz ve simetrik olan bu modelin analizi ortogondur. Sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümünde kullanılması için uygundur.

Daubechies Dalgacıkları: Bir dalgacık aile olan model, Haar dalgacığındaki gibi açık matematiksel ifadeye sahip değildir. Simetrik olmayan bu modelin analizi ortogondur. Sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümünde kullanılması için uygundur.

Biortogonal Dalgacıklar: Açık ifadeye sahip olmayan Biortogonal dalgacıkları simetrik bir dalgacıktır. Sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümünde kullanılması için uygundur (Doğru, 2015).

Morlet dalgacığı: En iyi bilinen sürekli dalgacıklardan olan, simetrik ve ortogonal olmayan Morlet dalgacıklarının ölçek fonksiyonu bulunmadığı için ayrık dalgacık dönüşümü yapılamaz.

Meksika Şapkası Dalgacığı: Gauss fonksiyonunun ikinci türevi olan sürekli bir dalgacık olan Meksika Şapkası dalgacık dönüşümü adını Meksika şapkasına benzemesinden ötürü almıştır.

Dalgacık analizinin optimal gerçekleştirilebilmesi için uygulamaya uygun doğru dalgacık ve dönüşüm türünün kullanılması gerekir (Watson ve ark., 2000).

Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) ve ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) olmak üzere 2'ye ayrılan dalgacık dönüşümlerinde matematiksel kuram olarak fark bulunmamasının yanında SDD'nde hesap yükü çok fazladır. Bu yükü azaltmak için ADD kullanılır. ADD'de öteleme ve ölçeklerin ikili kuvvetleri alınır. Bu işleme ikili dalgacık (dyadic) dönüşümü denir (Erdoğan ve Pekçakar, 2009).

4.3.5.1 Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD)

SDD, pencerelenmiş Fourier dönüşümüne benzer olup aralarındaki fark sürekli dalgacık dönüşümünde zaman-frekans boyutunu ve yüksek ya da alçak frekans bileşenlerini düzgün bir şekilde analiz edebilecek şekilde farklı büyüklükteki pencerelere ayrılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

SDD’nde genişliği değiştirilebilen ve zamanda ötelenen bir fonksiyon olan dalgacık, işarette çarpılarak kademe kademe ötelenme sağlanıp her adım için kat sayılar elde edilmektedir (Partal ve Kişi., 2007). Ötelenmiş ve ölçeklenmiş dalgacık fonksiyonu, inceleme konusu işleme uygulandığında daha basit bileşenlere parçalanmış olup bu uygulamaya işlemin analiz edilmesi ya da ayrıştırılması demektir.

SDD’nde ölçek ve konum parametrelerinde sürekli bir değişim olduğu için her bir ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcı olabilmektedir.

4.3.5.2. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD)

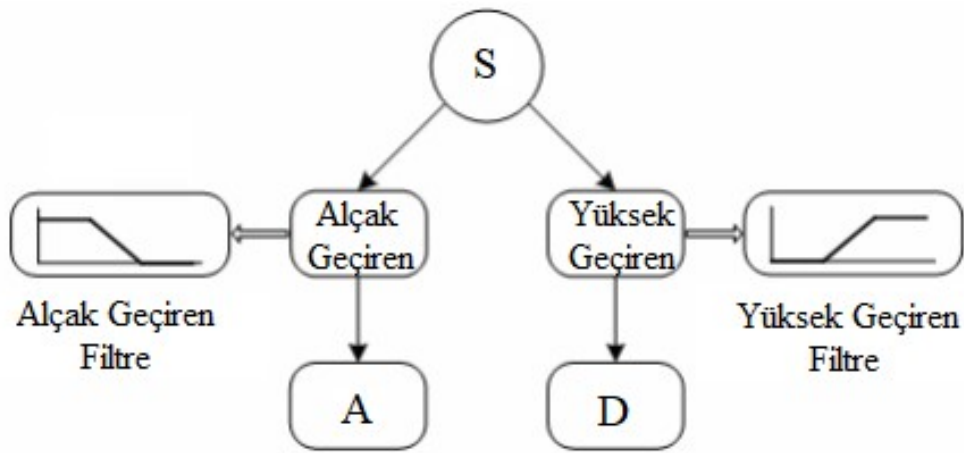
SDD her olasılık için hesaplama yaptığı için çok fazla işlem yaparak aşırı miktarda sonuç verisi yığınları oluşmasına neden olmaktadır. İşaretin öteleme ve ölçekleme parametreleri belli bir basamağa göre seçilerek uygulanan ve belirlenmiş zaman aralıklarında oluşturulan verilerin dönüşümünün yapılması olan ADD ise, bu problemleri ortadan kaldırarak birçok avantaj sağlar. Bu yöntem kullanılarak daha az sayıda olmasına rağmen işaretin frekans-ölçek bilgisinin zaman ile değişimini veren katsayıların getirdiği zaman serileri çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Matematiksel kuram olarak SDD’den farkı olmayan ADD’de genellikle pratik ve kullanışlı olması sebebiyle ölçek ve konum değerleri 2’nin kuvvetleri olarak seçilmektedir.

ADD’nde, ikili ölçek ve zaman adımı kullanılmakta olup elde edilen bileşenler iki ve ikinin katları olacak şekilde ölçek değerlerine ait zaman serilerini ya da dalgacık katsayılarını verirler (Terzi ve Barak, 2015).

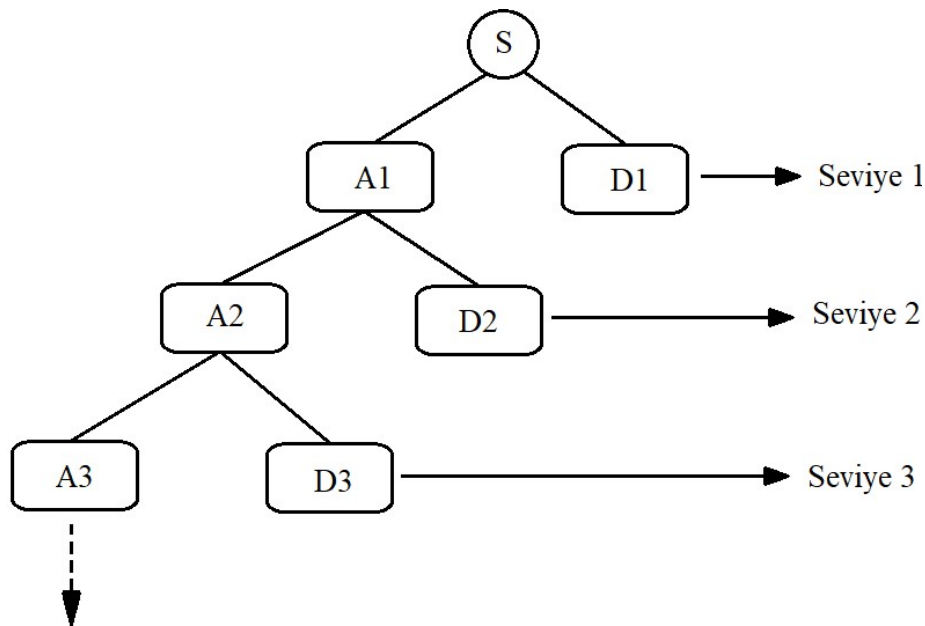
Birçok işaret için en önemli kısmı olan düşük frekanslı içeriği, işaretler için genellikle tanıma özelliğine sahiptir. İşaretin kendisiyle düşük frekanslı kısım arasında oluşan farkı yüksek frekanslı bileşenler oluştururlar. İnsan sesi örnek olarak alınırsa, insan sesinin yüksek frekanslı bileşenlerinin çıkartılması durumunda ses farklılaşır ama

hala söylenilen şeyler anlaşılabilir. Fakat düşük frekanslı bileşenler çıkarılacak olursa söylenilen sözler anlaşılabilir. Bunların hepsi ele alındığında ADD için detay katsayılarından ve yaklaşık katsayılarından bahsedilir. Dalgacık dönüşümünde yüksek ölçekli ve düşük frekanslı bileşenler yaklaşıklar olup düşük ölçekli ve yüksek frekanslı bileşenler ise detaylardır. (Berdibek,2009)

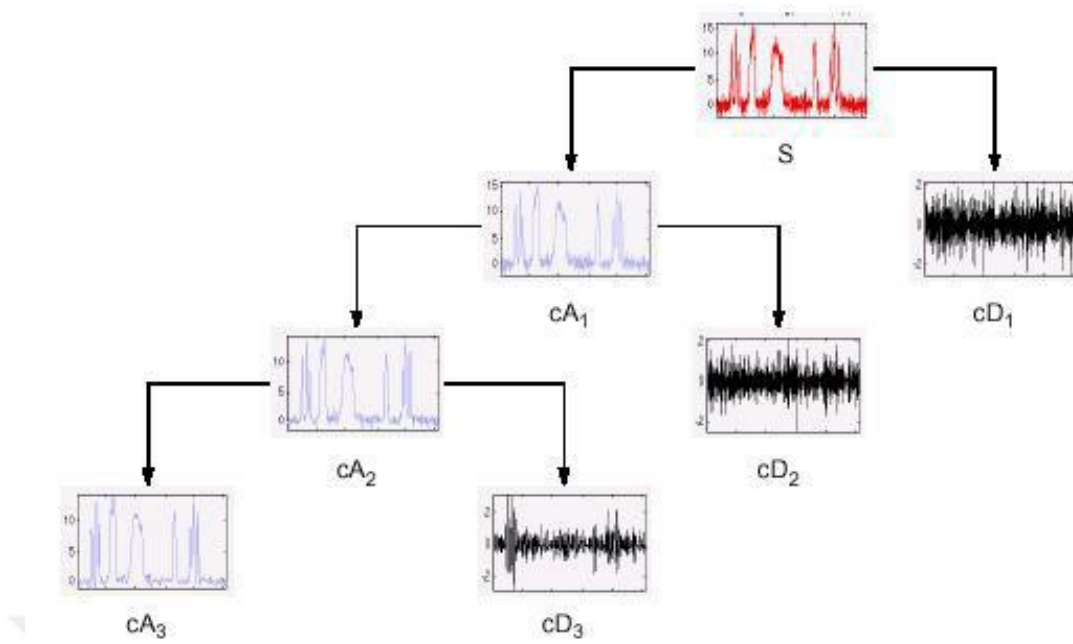
Sonuç olarak Şekil 4.29’da görüldüğü gibi birbirini tamamlayan alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilen alçak (A) ve yüksek (D) frekanslı bileşenlerine ayrıştırılır. Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de ise ADD’de işaretin çeşitli kademelerde ayrıştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Ayrık dalgacık dönüşümünde filtreleme (Misiti ve ark. 1997)

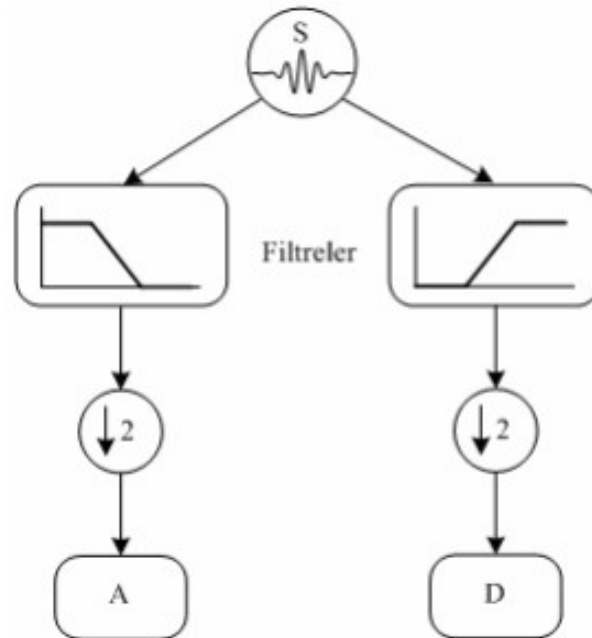


Şekil 4.30. Dalgacık ayrıştırma ağacı (Üçüncü seviye)



Şekil 4.31. Dalgacık ayrıştırma ağacı içeriği (Üçüncü seviye)

Bu işlem yapılırken başlangıç işaretinin örnek sayısının yaklaşık iki katı veri ortaya çıkmasını önlemek için her filtre çıkışında, örnekleme oranının frekansı yarıya düşürülmelidir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Verilerin iki katına çıkmasını engelleyen filtre yapısı

4.3.6. Performans değerlendirme kriterleri

Bu çalışmada modellerin performansının değerlendirilmesinde determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (OMH), karekök ortalama karesel hata (KOKH) ve Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (E_{Nash}) kullanılmıştır.

Karekök ortalama karesel hata (KOKH): Gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmakta olan ve Denklem 4.2 ile verilen eşitliğin 0'a yaklaşması tahmin performansının başarılı olduğu anlamına gelmektedir.

$$OMKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlem}} - Y_{i_{tahmin}})^2} \quad (4.2)$$

Ortalama Mutlak Hata (OMH): Kolay yorumlanabilir olduğu için oldukça sık kullanılan ortalama mutlak hata (OMH) yönlerini dikkate almadan tahminlerin hatalarının ortalamasını ölçen ve tüm hataların ortalamada eşit olarak değerlendirildiği performans ölçme yöntemidir. Denklem 4.3 ile hesaplanan OMH'nın değeri 0'dan ∞ 'a kadar değişmekte olup, düşük sonuçlar veren modellerin başarılı performans gösterdiği anlamına gelmektedir.

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_{i_{gözlem}} - Y_{i_{tahmin}}| \quad (4.3)$$

Determinasyon katsayısı (R^2): Hesap değerleri ile model tahminleri arasında doğrusal bir ilişkinin derecesini gösteren ve Denklem 4.4 ile verilen eşitlik sonucu 0 ve 1 arasında değişmekte olup, 1'e yakınlık model tahminlerinin performansının başarılı olduğunu göstermektedir.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlem}} - \bar{Y}_{gözlem})(Y_{i_{tahmin}} - \bar{Y}_{tahmin}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlem}} - \bar{Y}_{gözlem})^2 \sum_{i=1}^N (Y_{i_{tahmin}} - \bar{Y}_{tahmin})^2} \quad (4.4)$$

Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (E_{Nash}): Hidrolojik modellerin tahmin kabiliyetini belirlemek amacıyla kullanılan E_{Nash} değeri Denklem 4.5'de verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır. E_{Nash} değeri $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. Sonucun 1'e

yaklaşması tahmin performansının başarılı olduğu anlamına gelmektedir (Moriasi ve ark., 2007).

$$E_{Nash} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlem}} - Y_{i_{tahmin}})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlem}} - \bar{Y}_{gözlem})^2} \quad (4.5)$$

Moriasi ve ark., (2007) tarafından, sediment tahmininde kullanılan modellerin performansının E_{Nash} değerlerine göre değerlendirilmesinde kullanılacak performans dereceleri Çizelge 4.3'deki gibi önerilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen model sonuçlarının başarılarının değerlendirilmesinde Çizelge 4.3'de verilen ölçütler de dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.3. E_{Nash} değerine göre model performans dereceleri (Moriasi ve ark., 2007)

Performans Derecesi (PD)	E_{Nash}
Çok iyi	$0.75 < E_{Nash} \leq 1.00$
İyi	$0.65 < E_{Nash} \leq 0.75$
Yeterli	$0.50 < E_{Nash} \leq 0.65$
Yetersiz	$E_{Nash} \leq 0.50$

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Kızılırmak Havzası'nda bulunan 1517, 1535, 1539, 1545 numaralı sediment gözlem istasyonlarında ölçülen günlük sediment miktarlarını tahmin etmek üzere yapay zekâ yöntemleri olarak, ÇKYSA tekniğinden adaptif öğrenmeli ve momentum özellikli en dik iniş (Gradient descent with momentum and adaptive learning rule backpropagation algorithm-GDX) öğrenme algoritması, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA), ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış ÇKYSA-GDX (Dalgacık-ÇKYSA-GDX) ve ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış RTYSA (Dalgacık-RTYSA) kullanılmıştır. Bu modellerden elde edilen sonuçlar ayrıca 4 istasyona ait sediment anahtar eğrisi (SAE) denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Yapay zekâ metotları ile tahmin yapılmadan önce, girdi ve çıktı katmanında kullanılan parametrelerdeki birim farklılığını ortadan kaldırmak amacıyla, logaritmaları alınmış veriler aşağıdaki eşitlik kullanılarak 0 ile 1 arasında boyutsuz hale getirilmiştir.

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (5.1)$$

Bu denklemde X_{norm} : Normalize edilmiş değeri; X_{min} : Minimum değeri; X_i : Gözlenmiş değeri ve X_{max} : Maksimum değeri ifade etmektedir.

Sediment tahmini yapmak üzere kullanılan istasyonlara ait verilerin %70'i eğitime, %30'u ise test periyodunda kullanılmıştır. Her istasyona ait gözlem periyotları ile eğitime ve test aşamasında kullanılan veri sayısı Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait sediment gözlem yılları, eğitime ve test veri sayısı

İstasyon No	İstasyon Adı	Sediment Gözlem Yılları	Eğitim veri sayısı	Test veri sayısı
1517	Karanlık Dere-Şefaati	1994-2012 (254 veri)	182 (%70)	72 (%30)
1535	Kızılırmak Nehri-Söğütlühan	1994-2011 (256 veri)	178 veri (%70)	78 veri (%30)
1539	Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı	1973-2011 (334 veri)	230 (%70)	104 (%30)
1545	Gökırmak-Purtulu	1999-2011 (140 veri)	96 (%70)	44 (%30)

Bu çalışmada günlük sediment miktarını tahmin etmek için, günlük akım (Q_t) ve sediment (S_t) verilerine ait farklı gecikme zaman serilerinden oluşan değişkenler

girdi olarak, S_t ise çıktı olarak kullanılmıştır. Sediment miktarı tahmininde dört istasyonda ölçülen günlük nehir akımı (m^3/s) ve sediment (ton/gün) verileri kullanılmıştır. Nehirlerde herhangi bir anda ölçülen sediment miktarı, sadece ölçüm anındaki şartlara değil, etkili olan hidrolojik parametrelerin geciken etkilerine de bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada da 10 farklı girdi kombinasyonunda kullanılan değişkenler belirlenirken t anındaki ölçümlerle birlikte, $t-1$ ve $t-2$ olmak üzere t anındaki ölçümden bir önceki ve iki önceki ölçüm sonuçlarının sediment üzerindeki gecikme etkileri de girdi olarak kullanılmıştır. Bu doğrultuda oluşturulan 10 farklı girdi kombinasyonu Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan girdi kombinasyonları

Model Adı	Girdi	Çıktı
M1	Q_t	
M2	S_{t-1}	
M3	S_{t-1}, Q_t	
M4	S_{t-1}, S_{t-2}	
M5	S_{t-1}, S_{t-2}, Q_t	
M6	$S_{t-1}, S_{t-2}, Q_t, Q_{t-1}$	S_t
M7	S_{t-1}, Q_{t-1}	
M8	S_{t-1}, Q_t, Q_{t-1}	
M9	$S_{t-1}, S_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$	
M10	$S_{t-1}, S_{t-2}, Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}$	

5.1. ÇKYSA-GDX Model Uygulaması

Çalışma için seçilmiş olan dört istasyonun ölçülen verileri için on farklı girdi kombinasyonu kullanılarak oluşturulan ÇKYSA-GDX modelleri; girdi, iki gizli katman ve çıktı olmak üzere dört katmanlı olarak tasarlanmıştır. Gizli katmanlarda ve çıkış katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak sırası ile tanjant sigmoid ve logaritmik sigmoid fonksiyonları kullanılmıştır. Sediment tahminindeki en başarılı sonucu veren girdi kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla, oluşturulan ÇKYSA-GDX modellerinde gizli katmanlardaki nöron sayısı 1-20 aralığında birer arttırılmış ve öğrenme oranı (η) 0.1-1 aralığında 0.1 arttırılmış olup deneme yanılma yöntemi ile en başarılı sonuç belirlenmiştir. Model parametrelerinden olan iterasyon sayısı 1000 ve momentum katsayısı (mc) ise 0.8 olarak alınmıştır. On farklı girdi kombinasyonuna göre

oluşturulan modeller sonucunda test verilerine ait en büyük E_{Nash} değerine göre en başarılı modele karar verilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3’de verilen model yapılarında parantez içinde verilen değerler sırası ile girdi sayısı, birinci gizli katmandaki nöron sayısı, ikinci gizli katmandaki nöron sayısı ve çıktı sayılarını belirtmektedir. Oluşturulan ÇKYSA-GDX modellerinin sonuçlarına göre; Şefaati İstasyonu’nda S_{t-1} , S_{t-2} , Q_t , Q_{t-1} girdileri ile M6, Söğütluhan, Bulakbaşı ve Purtulu istasyonlarında ise S_{t-1} , Q_t , Q_{t-1} girdileri ile M8 modelleri en yüksek E_{Nash} değerlerine sahip olup, sediment tahmininde en başarılı sonuçları vermişlerdir.

Şefaati İstasyonu için M6 modeli, birinci gizli katmanda 1, ikinci gizli katmanda 12 nöron ve öğrenme oranı (lr)=0,1 olması durumunda, en yüksek $R^2=0.819$ ve $E_{Nash}=0.789$, en düşük $OMH=0.563$ ve $KOKH=0.688$ değerlerini göstererek sediment tahminindeki en başarılı model olmuştur. Bununla birlikte Şefaati İstasyonu’nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen ÇKYSA-GDX modellerinde E_{Nash} kriterine göre %50’nin üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

Söğütluhan İstasyonu için M8 modeli birinci gizli katmanında 3, ikinci gizli katmanında 14 nöron ve $lr=0.9$ olması durumunda $R^2=0.924$ ve $E_{Nash}=0.907$ değerlerini vererek en başarılı model olmuştur. Bu istasyon için M8 modelinde OMH ve $KOKH$ değerleri de sırasıyla 0.595 ve 0.744 olarak belirlenmiştir. Bu değerler söz konusu istasyonda diğer girdi kombinasyonları için elde edilen OMH ve $KOKH$ değerlerinden daha küçük olup, R^2 ve E_{Nash} değerleri ile elde edilen en başarılı model olma halini desteklemektedir.

Bulakbaşı İstasyonu için M8 modelinde, birinci gizli katmanda 6, ikinci gizli katmanda 13 nöron ve $lr=0.9$ olması durumunda $R^2=0.876$ ve $E_{Nash}=0.838$ değerleri elde edilerek sediment tahmini için en başarılı sonuç olmuştur. İlgili istasyonda S_{t-1} , Q_t , Q_{t-1} girdilerinin kullanılması sonucu elde edilen M8 modeli, diğer kullanılan performans kriterleri açısından da en düşük değerlere sahip olarak ($OMH=0.749$ ve $KOKH=0.921$) diğer kombinasyonların kullanıldığı modellerden daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Purtulu İstasyonu için, birinci gizli katmanda 8, ikinci gizli katmanında 12 nöron ve $lr=0.7$ değerleri ile M8 modeli en başarılı sediment tahmin modeli olmuştur. Bu istasyon için en başarılı model olan M8 modelinde $R^2=0.874$, $E_{Nash}=0.861$, $OMH=0.573$ ve $KOKH=0.710$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.3. ÇKYSA-GDX modeline ait test periyodu sonuçları

İstasyon Adı	Model Adı	Model Yapısı	Öğrenme oranı (lr)	Performans Kriterleri			
				OMH	KOKH	R ²	E _{Nash}
1517 - Karanlık Dere- Şefaatli	M1	(1,13,8,1)	0.5	0.617	0.738	0.816	0.758
	M2	(1,1,4,1)	0.8	0.805	1.057	0.507	0.503
	M3	(2,2,14,1)	0.5	0.613	0.740	0.791	0.756
	M4	(2,14,6,1)	0.6	0.731	1.021	0.538	0.535
	M5	(3,1,17,1)	0.6	0.668	0.781	0.791	0.728
	M6	(4,1,12,1)	0.1	0.563	0.688	0.819	0.789
	M7	(2,3,17,1)	0.1	0.809	1.004	0.561	0.551
	M8	(3,1,10,1)	0.5	0.577	0.703	0.815	0.780
	M9	(4,19,13,1)	0.3	0.786	0.986	0.572	0.567
	M10	(5,1,13,1)	0.1	0.578	0.712	0.806	0.774
1535 - Kızılırmak Nehri- Sögütluhan	M1	(1,1,5,1)	0.9	0.672	0.833	0.912	0.883
	M2	(1,6,15,1)	1	1.438	1.960	0.360	0.352
	M3	(2,9,13,1)	0.1	0.667	0.801	0.922	0.892
	M4	(2,3,3,1)	0.1	1.428	1.904	0.390	0.389
	M5	(3,2,11,1)	0.6	0.680	0.807	0.919	0.890
	M6	(4,2,14,1)	1	0.662	0.821	0.907	0.886
	M7	(2,3,16,1)	0.1	1.515	1.970	0.369	0.345
	M8	(3,3,14,1)	0.9	0.595	0.744	0.924	0.907
	M9	(4,9,13,1)	0.3	1.383	1.784	0.479	0.463
	M10	(5,5,12,1)	0.5	0.667	0.841	0.903	0.881
1545 - Kızılırmak Nehri- Bulakbaşı	M1	(1,19,15,1)	0.3	0.896	1.091	0.863	0.773
	M2	(1,1,2,1)	0.5	1.449	1.948	0.278	0.277
	M3	(2,12,9,1)	0.9	0.879	1.061	0.867	0.786
	M4	(2,1,3,1)	0.1	1.483	1.967	0.263	0.263
	M5	(3,2,12,1)	0.9	0.907	1.115	0.842	0.763
	M6	(4,4,9,1)	0.2	0.815	0.981	0.859	0.817
	M7	(2,2,5,1)	0.2	1.525	1.945	0.288	0.279
	M8	(3,6,13,1)	0.9	0.749	0.921	0.876	0.838
	M9	(4,3,7,1)	0.9	1.463	1.926	0.302	0.293
	M10	(5,3,19,1)	0.7	0.771	0.937	0.861	0.833
1549 - Gökırmak- Purtulu	M1	(1,20,17,1)	0.7	0.614	0.805	0.830	0.821
	M2	(1,1,10,1)	1	1.287	1.745	0.172	0.161
	M3	(2,3,11,1)	0.2	0.564	0.737	0.858	0.850
	M4	(2,1,5,1)	0.9	1.375	1.883	0.105	0.023
	M5	(3,12,16,1)	0.3	0.581	0.772	0.847	0.836
	M6	(4,2,10,1)	0.2	0.553	0.715	0.868	0.859
	M7	(2,2,10,1)	1	1.236	1.633	0.303	0.265
	M8	(3,8,12,1)	0.7	0.573	0.710	0.874	0.861
	M9	(4,1,13,1)	1	1.229	1.635	0.294	0.264
	M10	(5,10,15,1)	0.3	0.561	0.725	0.871	0.855

Çizelge 5.3'e göre; ÇKYSA-GDX modellerinde her istasyon için sediment tahmininde en düşük başarıyı gösteren girdi kombinasyonları ise en düşük E_{Nash} değerlerine göre, Şefaati istasyonu için $E_{Nash}=0.503$ değeri ile S_{t-1} değişkeninin girdi olarak kullanıldığı M2, Söğütlühan İstasyonu için $E_{Nash}=0.345$ değeri ile S_{t-1} , Q_{t-1} değişkenlerinin girdi olarak kullanıldığı M7, Bulakbaşı ve Purtulu istasyonları için ise sırasıyla $E_{Nash}=0.263$, $E_{Nash}=0.023$ değerlerinin elde edildiği ve S_{t-1} , S_{t-2} değişkenlerinin girdi olarak kullanıldığı M4 modellerinde elde edilmiştir.

Şefaati, Söğütlühan, Bulakbaşı ve Purtulu istasyonlarına ait oluşturulan ÇKYSA-GDX modellerinde elde edilen sonuçlarda görülen dikkat çekici bir durum ise, 10 farklı girdi kombinasyonu arasından M2, M4, M7 ve M9 modellerinin performansının diğer modellerin performansına göre, özellikle Şefaati istasyonu hariç diğer istasyonlarda oldukça düşük kaldığıdır. Kullanılan 4 istasyonda da diğer 6 girdi kombinasyonunun (M1, M3, M5, M6, M8 ve M10) performanslarının ise hemen hemen birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sediment tahminindeki başarılı ve başarısız modellerin girdi değişkenleri incelendiğinde, başarıyı artırmada akım verilerinin oldukça etkili olduğu, farklı gecikme değerine sahip sediment değişkenlerinin ise tahmin başarısında fazla etkili olmadığı şeklinde bir çıkarım yapmak mümkündür.

5.2. RTYSA Model Uygulaması

Kızılırmak Havzası'nda buluna 4 adet sediment gözlem istasyonunda 10 farklı girdi kombinasyonu kullanılarak oluşturulan RTYSA modelleri, bir girdi katmanı, bir gizli katman ve 1 çıktı katmanı olmak üzere üç katmanlı olarak tasarlanmıştır. Kurulan RTYSA modellerinde en başarılı sonucun bulunması amacıyla gizli katmandaki nöron sayısı 1-20 aralığında 1'er, dağılım parametresi (σ) sayısı ise 0.01-5 aralığında 0.01 artırılmış ve deneme yanılma yöntemi ile en başarılı sonuç belirlenmiştir. On farklı girdi kombinasyonuna göre oluşturulan RTYSA modellerinde test verilerine ait en büyük E_{Nash} değeri ile en başarılı model belirlenmiş ve 4 istasyon için test verilerine ait en başarılı ağ yapılarının sonuçları ise Çizelge 5.4'de verilmiştir. Çizelge 5.4'de verilen model yapılarında parantez içindeki dört değer sırası ile, girdi sayısı, dağılım parametresi değeri, gizli katmandaki nöron sayısı ve çıktı sayılarını belirtmektedir. Test verileri üzerinde yapılan denemeler sonucunda; elde edilen RTYSA modellerinde, Şefaati İstasyonu için S_{t-1} , Q_t , Q_{t-1} girdi değişkenleri ile M8, Söğütlühan İstasyonu için S_{t-1} , Q_t değişkenleri ile M3, Bulakbaşı İstasyonu için S_{t-1} , S_{t-2} , Q_t , Q_{t-1} , Q_{t-2} değişkenleri

ile M10 ve Purtulu İstasyonu için S_{t-1} , Q_t , Q_{t-1} değişkenleri ile M8 modelleri en başarılı sonuçları vermişlerdir.

Çizelge 5.4. RTYSA modeline ait sonuçlar

İstasyon Adı	Model Adı	Model Yapısı	Performans Kriterleri			
			OMH	KOKH	R^2	E_{Nash}
1517 - Karanlık Dere-Şefaati	M1	(1,5,3,1)	0.628	0.741	0.807	0.756
	M2	(1,0.3,2,1)	0.795	0.991	0.570	0.563
	M3	(2,5,2,1)	0.635	0.747	0.805	0.751
	M4	(2,0.76,6,1)	0.786	1.018	0.539	0.539
	M5	(3,5,2,1)	0.640	0.759	0.790	0.743
	M6	(4,3.12,10,1)	0.564	0.694	0.812	0.785
	M7	(2,0.82,19,1)	0.792	1.008	0.553	0.548
	M8	(3,1.46,19,1)	0.539	0.683	0.821	0.792
	M9	(4,0.33,17,1)	0.782	1.003	0.559	0.551
	M10	(5,2.84,9,1)	0.566	0.693	0.811	0.786
1535 - Kızıllırmak Nehri-Söğütühan	M1	(1,0.35,3,1)	0.663	0.826	0.912	0.885
	M2	(1,0.1,5,1)	1.469	1.977	0.353	0.341
	M3	(2,1.24,14,1)	0.628	0.758	0.922	0.903
	M4	(2,0.96,10,1)	1.541	1.944	0.367	0.363
	M5	(3,0.64,17,1)	0.676	0.827	0.907	0.885
	M6	(4,0.52,10,1)	0.687	0.825	0.900	0.885
	M7	(2,0.25,4,1)	1.490	1.945	0.378	0.362
	M8	(3,0.41,5,1)	0.611	0.760	0.918	0.903
	M9	(4,0.32,10,1)	1.510	1.901	0.410	0.391
	M10	(5,0.48,18,1)	0.693	0.849	0.896	0.878
1545 - Kızıllırmak Nehri-Bulakbaşı	M1	(1,0.18,3,1)	0.846	1.085	0.832	0.776
	M2	(1,0.17,2,1)	1.426	1.921	0.299	0.297
	M3	(2,0.23,20,1)	0.896	1.095	0.866	0.772
	M4	(2,1.63,7,1)	1.466	1.926	0.295	0.293
	M5	(3,1,4,1)	0.911	1.127	0.854	0.758
	M6	(4,0.65,7,1)	0.814	0.985	0.852	0.815
	M7	(2,0.23,3,1)	1.437	1.897	0.317	0.315
	M8	(3,0.75,6,1)	0.773	0.959	0.871	0.825
	M9	(4,2.48,2,1)	1.431	1.922	0.299	0.296
	M10	(5,0.91,4,1)	0.760	0.938	0.858	0.833
1549 - Gökırmak-Purtulu	M1	(1,0.15,3,1)	0.542	0.785	0.832	0.830
	M2	(1,0.15,2,1)	1.322	1.782	0.143	0.125
	M3	(2,0.18,19,1)	0.595	0.739	0.855	0.849
	M4	(2,0.22,2,1)	1.432	1.821	0.127	0.087
	M5	(3,5,4,1)	0.696	0.861	0.802	0.796
	M6	(4,2.15,7,1)	0.610	0.825	0.813	0.812
	M7	(2,5,3,1)	1.250	1.620	0.290	0.277
	M8	(3,0.41,16,1)	0.563	0.694	0.871	0.867
	M9	(4,2.64,4,1)	1.301	1.692	0.262	0.211
	M10	(5,4.91,4,1)	0.700	0.840	0.810	0.806

Şefaati İstasyonu için M8 modelinde dağılım parametresi değeri olarak 1.46, gizli katmandaki nöron sayısı olarak ise 19 nöron olması durumunda $R^2=0.821$ ve $E_{Nash}=0.792$ değerleri ile en başarılı sonuç elde edilmiştir. En düşük OMH ve KOKH değerlerine sahip modelin sediment tahminindeki en başarılı model olacağı düşünüldüğünde, Şefaati İstasyonu'na ait M8 modelinin OMH=0.539 ve KOKH=0.683 değerleri ile söz konusu istasyona ait diğer kombinasyonlarda elde edilen değerlerden daha küçük olduğu, dolayısıyla en başarılı RTYSA modelinin hem OMH ve KOKH, hem de R^2 ve E_{Nash} değerleri açısından M8 modelinde olduğu görülmektedir.

Söğütlühan İstasyonu'nda en başarılı RTYSA modeli, (2, 1.24, 14, 1) model yapısı ile M3 modelinde elde edilmiştir. St-1,Qt parametrelerinin kullanıldığı RTYSA-M3 modelinde dağılım parametresi değeri 1.24, gizli katmandaki nöron sayısı ise 14 olarak belirlenmiştir. $R^2=0.922$ ve $E_{Nash}=0.903$ maksimum değerleri ile RTYSA-M3 en başarılı sediment tahmin modelini verirken, $R^2=0.353$ ve $E_{Nash}=0.341$ minimum değerlerine veren RTYSA-M2 modeli Söğütlühan İstasyonu için en başarısız sediment tahmin modeli olmuştur. Çizelge 5.4'deki sonuçlar incelendiğinde Söğütlühan İstasyonu için M8 modeline ait sonuçların, M3 modeli sonuçlarına oldukça yakın olduğu dolayısıyla sediment tahmininde bu modele ait ağ yapısının da kullanılabileceği düşünülebilir.

En başarılı RTYSA modeli Bulakbaşı İstasyonu'nda, S_{t-1} , S_{t-2} , Q_t , Q_{t-1} , Q_{t-2} girdi değişkenlerine sahip M10 modelinde OMH=0.760, KOKH=0.938, $R^2=0.858$ ve $E_{Nash}=0.833$ değerleri ile elde edilirken, bu model yapısında dağılım parametresi değeri 0.91, gizli katmanındaki nöron sayısı ise 4 olarak tespit edilmiştir.

Purtulu İstasyonu'nda ise M8 modeli dağılım parametresi değeri olarak 0.41, gizli katmanındaki nöron sayısı olarak 16 değerleri ile en başarılı sediment tahmin sonucunu veren model olmuştur. Bu istasyonda RTYSA-M8 modelinde $R^2=0.871$ ve $E_{Nash}=0.867$ değerleri en yüksek değerlere sahiptir. M1, M3, M5, M6, M8 ve M10 kombinasyonlarının hemen hemen hepsinde yaklaşık %80'in üzerinde başarı elde edilirken diğer kombinasyonlarda Söğütlühan ve Bulakbaşı istasyonlarında olduğu gibi tahmin başarısı oldukça düşük kalmıştır. Özellikle $E_{Nash}=0.087$ değeriyle RTYSA-M4 modeli en düşük tahmin başarısına sahip model olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan 4 istasyona ait RTYSA modellerinde en düşük performanslar ÇKYSA-GDX modellerinde olduğu gibi, M2, M4, M7 ve M9 modellerinde elde edilmiştir. Şefaati İstasyonu'nda sediment tahminindeki en düşük performansı gösteren RTYSA modeli ise, $R^2=E_{Nash}=0.539$ minimum ve KOKH=1.018

maksimum değerlerine sahip M4 modeli olmuştur. Bu modelde kullanılan girdi değişkenleri ise S_{t-1} , S_{t-2} parametreleridir. Şefaati İstasyonu'nda RTYSA-M4 modeline ait $OMH=0.786$ değeri en küçük değere sahip olmasa da, diğer performans kriterleri dikkate alındığında sediment tahminindeki en başarısız model olarak değerlendirmek mümkündür.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa Şefaati İstasyonu için sediment tahmin başarısının, tüm girdi kombinasyonlarında E_{Nash} değerlerine göre yaklaşık %55'in üstünde kaldığı elde edilen sonuçlardan görülmektedir. Söğütlühan İstasyonu'nda RTYSA-M2 modeli $E_{Nash}=0.341$, Bulakbaşı ve Purtulu İstasyonlarında ise sırasıyla $E_{Nash}=0.293$, $E_{Nash}=0.087$ değerleri ile S_{t-1} , S_{t-2} girdi değişkenlerinin kullanıldığı RTYSA-M4 modelleri en düşük başarıyı göstermektedir. Tüm İstasyonlar için en düşük başarıların elde edildiği model kombinasyonlarında sadece sedimente dayalı değişkenlerin girdi olarak kullanıldığı, dolayısıyla tahmin başarısını artırmada akım verilerinin etkili olduğu, ÇKYSA-GDX modellerinde olduğu gibi RTYSA modellerinde de görülmektedir.

5.3. Dalgacık-YSA Model Uygulamaları

Çalışmanın bu aşamasında, Kızılırmak Havzası'nda bulunan 4 adet sediment gözlem İstasyonu için 10 farklı girdi kombinasyonunda kullanılan verilere (S_{t-1} , S_{t-2} , Q_t , Q_{t-1} , Q_{t-2}), Daubechies-4 (Db-4) dalgacığı kullanılarak 10. derece ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) uygulanmıştır. ADD uygulanması sonucu elde edilen 10 adet detay (D) ve 1 adet yaklaşık (Y) bileşenin orijinal sediment (S_t) verileri ile korelasyonu belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.5'de verilmiştir. Her İstasyon için elde edilen detay bileşenleri incelendiğinde Karanlıkdere-Şefaati İstasyonu için D9 ve D10 detay bileşenlerinin hepsinin sediment verisi ile negatif korelasyon gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle bu İstasyonda Dalgacık-YSA modelleri oluşturulurken sediment verisi ile negatif korelasyona sahip olan D9 ve D10 detay bileşenleri hiçbir parametrede hesaba dahil edilmemiştir.

Şefaati İstasyonunda ayrıca; S_{t-2} için D1, Q_t için D2 ve Q_{t-2} için D1 detay bileşenleri de sediment verisi ile negatif korelasyon göstermektedir. Ancak üç parametredeki bu negatif korelasyon durumu göz ardı edilerek her parametre için $D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8$ detay bileşenlerinin toplanması ile elde edilen yeni zaman serileri Dalgacık-YSA modellerinde girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. Her istasyon için ADD bileşenlerinin orijinal sediment verileri ile korelasyonu

İstasyon Adı	ADD bileşenleri	S_{t-1}	S_{t-2}	Q_t	Q_{t-1}	Q_{t-2}
1517 - Karanlık Dere-Şefaati	D1	0.366	-0.229	0.021	0.253	-0.183
	D2	0.345	0.162	-0.151	0.256	0.066
	D3	0.484	0.419	0.262	0.433	0.317
	D4	0.366	0.344	0.275	0.330	0.265
	D5	0.271	0.267	0.258	0.267	0.265
	D6	0.318	0.319	0.318	0.318	0.318
	D7	0.334	0.324	0.315	0.331	0.331
	D8	0.424	0.424	0.424	0.424	0.425
	D9	-0.138	-0.151	-0.150	-0.133	-0.030
	D10	-0.248	-0.248	-0.248	-0.248	-0.248
	A10	-0.229	-0.229	-0.229	-0.229	-0.229
1535 - Kızıllırmak Nehri-Söğütlihan	D1	0.365	-0.176	-0.039	0.292	-0.160
	D2	0.348	0.145	-0.104	0.314	0.129
	D3	0.599	0.510	0.303	0.591	0.504
	D4	0.550	0.535	0.452	0.541	0.528
	D5	0.207	0.218	0.216	0.195	0.206
	D6	0.151	0.189	0.185	0.153	0.173
	D7	0.135	0.155	0.154	0.137	0.144
	D8	-0.052	0.131	0.128	-0.045	0.001
	D9	0.025	0.032	0.032	0.027	0.031
	D10	-0.035	-0.035	-0.035	-0.035	-0.035
	A10	-0.034	-0.034	-0.034	-0.034	-0.034
1545 - Kızıllırmak Nehri-Bulakbaşı	D1	0.404	-0.167	-0.032	0.334	-0.130
	D2	0.482	0.183	-0.183	0.443	0.149
	D3	0.686	0.583	0.281	0.675	0.577
	D4	0.298	0.295	0.231	0.282	0.273
	D5	0.100	0.101	0.094	0.084	0.082
	D6	0.060	0.074	0.074	0.025	0.036
	D7	0.088	0.089	0.092	0.085	0.085
	D8	-0.042	-0.031	-0.025	-0.043	-0.036
	D9	0.063	0.063	0.063	0.063	0.062
	D10	0.069	0.071	0.070	0.068	0.071
	A10	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
1549 - Gökırmak-Purtulu	D1	0.493	-0.316	0.047	0.433	-0.278
	D2	0.507	0.232	-0.334	0.467	0.200
	D3	0.543	0.480	0.300	0.505	0.526
	D4	0.247	0.231	0.213	0.225	0.219
	D5	0.237	0.238	0.237	0.230	0.236
	D6	0.189	0.198	0.206	0.181	0.189
	D7	0.234	0.233	0.233	0.235	0.234
	D8	0.058	0.055	0.054	0.060	0.057
	D9	0.104	0.073	0.059	0.127	0.096
	D10	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
	A10	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111

Çizelge 5.5’de Kızılırmak Nehri-Söğütlühan İstasyonu için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her parametre için özellikle ilk 7 detay bileşeni hariç diğer detay bileşenlerinde sediment verisi ile korelasyonun oldukça düşük olduğu, bazılarında negatif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu istasyonda Dalgacık-YSA modelleri oluşturulurken D8, D9 ve D10 detay bileşenleri dikkate alınmamış ve $D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7$ toplamından oluşan yeni zaman serileri girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır.

Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu’nda diğer detay bileşenlerine göre daha yüksek korelasyona sahip ilk dört detay bileşenlerinin toplanması ($D1+D2+D3+D4$) ile oluşan yeni zaman serileri her parametre için elde edilmiş ve girdi olarak ilgili kombinasyonlarda kullanılarak Dalgacık-YSA modelleri kurulmuştur.

Gökırmak-Purtulu İstasyonu için elde edilen detay bileşenleri arasından ilk 7 detay bileşeninin hemen hemen her parametre için sediment verisi ile diğer detay bileşenlerine göre daha yüksek korelasyona sahip olduğu Çizelge 5.5’de görülmektedir. Bu nedenle bu istasyonda da $D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7$ toplamından oluşan yeni zaman serileri girdi olarak ilgili kombinasyonlarda kullanılmıştır.

Özetle; Karanlıkdere-Şefaati, Kızılırmak Nehri-Söğütlühan, Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı ve Gökırmak-Purtulu istasyonları için sırasıyla ilk 8, 7, 4 ve 7 detay bileşenlerinin toplanması ile elde edilen her parametreye ait zaman serileri ilgili kombinasyonlarda girdi olarak kullanılmıştır.

Her istasyon için dikkate alınan ADD derecesine göre ilgili parametrelere ait detay ve yaklaşık bileşenlerinin değişimi EK-A’da verilmiştir.

5.3.1. Dalgacık-ÇKYSA-GDX model uygulaması

Oluşturulan Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinin sonuçlarına göre (Çizelge 5.5); çalışma kapsamında değerlendirilen dört istasyonda M10 modelleri en yüksek E_{Nash} değerlerine sahip olup, sediment tahmininde en başarılı sonuçları vermişlerdir. Çizelge 5.5’de verilen model yapılarında parantez içinde verilen değerler sırası ile girdi sayısı, birinci gizli katmandaki nöron sayısı, ikinci gizli katmandaki nöron sayısı ve çıktı sayılarını belirtmektedir.

Çizelge 5.5. Dalgacık-ÇKYSA-GDX modeline ait sonuçlar

İstasyon Adı	Model Adı	Model Yapısı	Öğrenme oranı (lr)	Performans Kriterleri			
				OMH	KOKH	R ²	E _{Nash}
1517 - Karanlık Dere-Şefaati	M1	(8,4,11,1)	1	0.534	0.656	0.812	0.808
	M2	(8,2,10,1)	0.8	0.615	0.781	0.744	0.728
	M3	(16,2,18,1)	1	0.439	0.545	0.868	0.868
	M4	(16,8,1,1)	0.9	0.474	0.624	0.835	0.826
	M5	(24,4,3,1)	0.6	0.341	0.463	0.906	0.905
	M6	(32,6,16,1)	0.3	0.405	0.490	<u>0.918</u>	0.893
	M7	(16,3,9,1)	0.8	0.606	0.762	0.742	0.741
	M8	(24,1,6,1)	0.2	0.369	0.485	0.896	0.895
	M9	(32,1,3,1)	0.4	0.399	0.517	0.881	0.881
	M10	(40,4,17,1)	1	0.335	0.459	0.912	0.906
1535 - Kızılırmak Nehri-Sögütlühan	M1	(7,3,7,1)	1	0.750	0.935	0.873	0.852
	M2	(7,1,6,1)	0.8	1.215	1.595	0.582	0.571
	M3	(14,1, 8,1)	0.1	0.700	0.917	0.880	0.858
	M4	(14,11,19,1)	0.2	0.739	0.983	0.849	0.837
	M5	(21,2,17,1)	0.5	0.642	0.817	0.894	0.887
	M6	(28,11,13,1)	0.5	0.690	0.858	0.879	0.876
	M7	(14,3,4,1)	0.4	1.253	1.611	0.569	0.562
	M8	(21,6,14,1)	0.3	0.676	0.830	0.890	0.884
	M9	(28,3,14,1)	0.4	0.808	1.041	0.822	0.817
	M10	(35,9,17,1)	0.3	0.622	0.780	0.899	0.897
1545 - Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı	M1	(4,14,9,1)	0.1	0.828	1.082	0.802	0.777
	M2	(4,2,3,1)	0.8	1.170	1.521	0.561	0.560
	M3	(8,13,7,1)	0.2	0.790	0.976	0.842	0.819
	M4	(8,3,11,1)	0.1	0.844	1.103	0.776	0.768
	M5	(12,8,2,1)	0.5	0.705	0.885	0.851	0.851
	M6	(16,2,6,1)	0.4	0.626	0.833	0.870	0.868
	M7	(8,1,12,1)	0.5	1.223	1.547	0.544	0.544
	M8	(12,5,9,1)	0.2	0.669	0.839	0.867	0.866
	M9	(16,14,1,1)	0.6	0.859	1.112	0.770	0.765
	M10	(20,3,3,1)	0.8	0.612	0.779	0.888	0.884
1549 - Gökürmak-Purtulu	M1	(7,1,9,1)	0.1	0.610	0.769	0.857	0.837
	M2	(7,2,7,1)	1	1.071	1.378	0.477	0.477
	M3	(14,1,10,1)	0.5	0.515	0.681	0.881	0.872
	M4	(14,3,3,1)	1	0.755	0.990	0.748	0.730
	M5	(21,3,9,1)	1	0.450	0.594	0.912	0.903
	M6	(28,4,9,1)	1	0.482	0.633	0.904	0.890
	M7	(14,3,5,1)	0.8	0.977	1.330	0.518	0.513
	M8	(21,2,2,1)	0.1	0.529	0.649	0.897	0.884
	M9	(28,1,12,1)	0.1	0.811	1.002	0.746	0.724
	M10	(35,5,14,1)	0.9	0.414	0.532	0.931	0.922

Çizelge 5.5'e göre Şefaati İstasyonu için 0.918 değeri ile en yüksek R^2 değerine sahip girdi kombinasyonu M6 modeli olsa da, diğer performans kriterleri açısından değerlendirildiğinde; Şefaati İstasyonu için M10 modeli, birinci gizli katmanda 4, ikinci gizli katmanda 17 nöron ve öğrenme oranı (lr)=1 olması durumunda, en yüksek E_{Nash} =0.906, en düşük OMH =0.335 ve $KOKH$ =0.459 değerlerini göstererek sediment tahminindeki en başarılı model olmuştur. Aynı zamanda yukarıda bahsedilen M10 modeli için R^2 =0.912 olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Şefaati İstasyonu'nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinde E_{Nash} kriterine göre %72'nin üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

Söğütluhan İstasyonu için M10 modeli birinci gizli katmanında 9, ikinci gizli katmanında 17 nöron ve lr =0.3 olması durumunda, en yüksek R^2 =0.899 ve E_{Nash} =0.897 değerlerini vererek en başarılı model olmuştur. Bu istasyon için M10 modelinde OMH ve $KOKH$ değerleri de sırasıyla 0.622 ve 0.780 olarak belirlenmiştir. Bu değerler söz konusu istasyonda, diğer girdi kombinasyonları için elde edilen OMH ve $KOKH$ değerlerinden daha küçük olup, R^2 ve E_{Nash} değerleri ile elde edilen en başarılı model olma halini desteklemektedir. Ayrıca Söğütluhan İstasyonu'nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinde E_{Nash} kriterine göre %56'nın üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

Bulakbaşı İstasyonu için M10 modelinde, birinci gizli katmanda 3, ikinci gizli katmanda 3 nöron ve lr =0.8 olması durumunda R^2 =0.888 ve E_{Nash} =0.884 değerleri elde edilerek sediment tahmini için en başarılı sonuç olmuştur. İlgili istasyonda M10 modeli, diğer kullanılan performans kriterleri açısından da en düşük değerlere sahip olarak (OMH =0.612 ve $KOKH$ =0.779) diğer kombinasyonların kullanıldığı modellerden daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte Bulakbaşı İstasyonu'nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinde E_{Nash} kriterine göre %54'ün üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

Purtulu İstasyonu için, birinci gizli katmanda 5, ikinci gizli katmanında 14 nöron ve lr =0.9 değerleri ile M10 modeli en başarılı sediment tahmin modeli olmuştur. Bu istasyon için en başarılı model olan M10 modeli diğer modeller ile karşılaştırıldığında en yüksek R^2 =0.931 ve E_{Nash} =0.922, en düşük OMH =0.414 ve $KOKH$ =0.532 değerlerini verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.5'e göre; Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinde her istasyon için sediment tahmininde en düşük başarıyı gösteren girdi kombinasyonları ise en düşük E_{Nash} değerlerine göre, Şefaati İstasyonu ve Purtulu İstasyonu için sırası ile

$E_{Nash}=0.728$, $E_{Nash}=0.477$ değeri ile M2, Söğütlühan İstasyonu ve Bulakbaşı İstasyonu için sırası ile $E_{Nash}=0.562$ $E_{Nash}=0.544$ değeri ile M7 modellerinde elde edilmiştir. Tahmin başarısı en düşük olan modellere ait OMH ve KOKH değerlerinin de diğer girdi kombinasyonlarında elde edilen değerlerden daha büyük olduğu Çizelge 5.5’de görülmektedir.

Şefaati, Söğütlühan, Bulakbaşı ve Purtulu istasyonlarına ait oluşturulan Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinde elde edilen sonuçlarda görülen dikkat çekici bir durum ise, 10 farklı girdi kombinasyonu arasından, özellikle S_{t-1} değişkeninin kullanıldığı M2 ve S_{t-1} ve Q_{t-1} değişkenlerinin kullanıldığı M7 modellerinin performansının diğer modellerin performansına göre Şefaati istasyonu dışındaki istasyonlarda oldukça düşük kaldığıdır. Kullanılan 4 istasyonda da diğer 8 modelin (M1, M3, M4, M5, M6, M8, M9 ve M10) performanslarının ise hemen hemen birbirine yakın ve yüksek olduğu görülmektedir.

5.3.2. Dalgacık-RTYSA model uygulaması

Test verileri üzerinde yapılan denemelerin sonucunda elde edilen Dalgacık-RTYSA modellerinde Şefaati İstasyonu ve Bulakbaşı İstasyonu için M10, Söğütlühan İstasyonu için M8 ve Purtulu İstasyonu için M6 modelleri en başarılı sonuçları vermişlerdir (Çizelge 5.6). Çizelge 5.6’da verilen model yapılarında parantez içindeki dört adet sayı sırası ile, girdi sayısı, dağılım parametresi değeri, gizli katmandaki nöron sayısı ve çıktı sayılarını belirtmektedir.

Şefaati İstasyonu için M10 modelinde dağılım parametresi değeri olarak 4.83, gizli katmandaki nöron sayısı olarak ise 20 olması durumunda en yüksek $R^2=0.926$ ve $E_{Nash}=0.918$ değerleri ile en başarılı sonuç elde edilmiştir.

En düşük OMH ve KOKH değerlerine sahip modelin sediment tahminindeki en başarılı model olacağı düşünüldüğünde, Şefaati İstasyonu’na ait M10 modelinin OMH=0.337 ve KOKH=0.428 değerleri ile söz konusu istasyona ait diğer kombinasyonlarda elde edilen değerlerden daha küçük olduğu, dolayısıyla en başarılı Dalgacık-RTYSA modelinin hem OMH ve KOKH, hem de R^2 ve E_{Nash} değerleri açısından M10 modelinde elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte Şefaati İstasyonu’nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen Dalgacık-RTYSA modellerinde E_{Nash} kriterine göre, %72’nin üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Dalgacık-RTYSA modeline ait sonuçlar

İstasyon Adı	Model Adı	Model Yapısı	Performans Değerlendirme			
			OMH	KOKH	R ²	E _{Nash}
1517 - Karanlık Dere-Şeñaatli	M1	(8,3.51,9,1)	0.543	0.654	0.811	0.809
	M2	(8,1.72,19,1)	0.596	0.786	0.736	0.725
	M3	(16,2.64,11,1)	0.460	0.569	0.863	0.856
	M4	(16,4.65,20,1)	0.394	0.533	0.890	0.874
	M5	(24,5,17,1)	0.378	0.468	0.914	0.902
	M6	(32,4.16,20,1)	0.353	0.449	0.916	0.910
	M7	(16,4.99,13,1)	0.586	0.741	0.761	0.756
	M8	(24,5,20,1)	0.380	0.506	0.890	0.886
	M9	(32,3.73,16,1)	0.423	0.538	0.888	0.871
	M10	(40,4.83,20,1)	0.337	0.428	0.926	0.918
1535 - Kızılırmak Nehri-Sögütühan	M1	(7,0.74,14,1)	0.840	1.118	0.802	0.789
	M2	(7,3.05,6,1)	1.188	1.554	0.599	0.593
	M3	(14,1.26,14,1)	0.731	1.020	0.848	0.824
	M4	(14,4.53,14,1)	0.789	1.055	0.817	0.812
	M5	(21,3.4,6,1)	0.754	1.028	0.845	0.822
	M6	(28,3.46,19,1)	0.716	1.031	0.846	0.821
	M7	(14,4.47,8,1)	1.138	1.530	0.610	0.605
	M8	(21,4.39,20,1)	0.670	1.015	0.856	0.826
	M9	(28,3.12,18,1)	0.854	1.199	0.766	0.757
	M10	(35,4.76,20,1)	0.755	1.111	0.848	0.792
1545 - Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı	M1	(4,0.83,6,1)	0.867	1.075	0.787	0.780
	M2	(4,0.9,8,1)	1.130	1.458	0.595	0.595
	M3	(8,5,5,1)	0.786	0.974	0.824	0.819
	M4	(8,1.33,13,1)	0.829	1.069	0.788	0.782
	M5	(12,4.45,20,1)	0.669	0.849	0.873	0.863
	M6	(16,4.9,20,1)	0.594	0.782	0.889	0.883
	M7	(8,3.58,6,1)	1.149	1.485	0.582	0.580
	M8	(12,3.19,11,1)	0.659	0.843	0.868	0.865
	M9	(16,2.87,17,1)	0.873	1.106	0.774	0.767
	M10	(20,2.53,20,1)	0.597	0.772	0.902	0.887
1549 - Gökürmak-Purtulu	M1	(7,1.48,10,1)	0.661	0.772	0.852	0.836
	M2	(7,0.95,8,1)	1.156	1.404	0.471	0.457
	M3	(14,3.31,12,1)	0.537	0.698	0.873	0.866
	M4	(14,1.5,17,1)	0.867	1.086	0.720	0.675
	M5	(21,2.41,16,1)	0.527	0.686	0.875	0.870
	M6	(28,4.82,19,1)	0.500	0.658	0.896	0.881
	M7	(14,3.01,11,1)	0.989	1.307	0.531	0.530
	M8	(21,4.6,17,1)	0.552	0.662	0.900	0.879
	M9	(28,2.31,9,1)	0.823	1.043	0.713	0.700
	M10	(35,4.96,20,1)	0.543	0.706	0.879	0.863

Söğütlühan İstasyonu'nda en başarılı Dalgacık-RTYSA modeli, (21, 4.39, 20, 1) model yapısı ile M8 modelinde elde edilmiştir. Dalgacık-RTYSA-M8 modelinde dağılım parametresi değeri 4.39, gizli katmandaki nöron sayısı ise 20 olarak belirlenmiştir. $R^2=0.856$ ve $E_{Nash}=0.826$ maksimum değerleri, $OMH=0.670$ ve $KOKH=1.015$ minimum değerleri ile Dalgacık-RTYSA-M8 en başarılı sediment tahmin modelini vermektedir. $R^2=0.599$ ve $E_{Nash}=0.593$ minimum değerleri, $OMH=1.188$ ve $KOKH=1.554$ değerlerini veren Dalgacık-RTYSA-M2 modeli Söğütlühan İstasyonu için en başarısız sediment tahmin modeli olmuştur. Ayrıca Söğütlühan İstasyonu'nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen Dalgacık-RTYSA modellerinde E_{Nash} kriterine göre %60'ın üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

En başarılı Dalgacık-RTYSA modeli Bulakbaşı İstasyonu'nda $OMH=0.597$, $KOKH=0.772$, $R^2=0.902$ ve $E_{Nash}=0.887$ değerleri ile M10 modelinde elde edilirken, model yapısında dağılım parametresi 2.53, gizli katmanındaki nöron sayısı ise 20 olarak tespit edilmiştir. Dalgacık-RTYSA Bulakbaşı İstasyonu için en başarısız sediment tahminini $OMH=1.149$, $KOKH=1.485$ maksimum değerleri, $R^2=0.582$ ve $E_{Nash}=0.580$ minimum değerleri ile M7 modelinin verdiği görülmektedir. Bununla birlikte Bulakbaşı İstasyonu'nda kullanılan tüm girdi kombinasyonları ile elde edilen Dalgacık-RTYSA modellerinde E_{Nash} kriterine göre %58'in üzerinde bir tahmin başarısı belirlenmiştir.

Purtulu İstasyonu'nda ise M6 modeli, dağılım parametresi değeri olarak 4.82, gizli katmanındaki nöron sayısı olarak 19 değerleri ile en başarılı sediment tahmin sonucunu veren model olmuştur. Bu istasyonda, Dalgacık-RTYSA-M6 modeli en yüksek $E_{Nash}=0.881$ ve en düşük $OMH=0.500$, $KOKH=0.658$ değerlerine sahip olup $R^2=0.896$ olduğu görülmektedir. Ayrıca Purtulu İstasyonu için en başarısız sediment tahmini sonucunu, $OMH=1.156$ ve $KOKH=1.404$ maksimum değerleri, $R^2=0.471$ ve $E_{Nash}=0.457$ minimum değerleri ile M2 modelinin verdiği görülmektedir.

Dalgacık-RTYSA modellerinde de Dalgacık-ÇKYSA-GDX modellerinde olduğu gibi, Şefaati İstasyonu dışındaki üç istasyonda da M2 ve M7 girdi kombinasyonlarının kullanılması ile elde edilen sonuçlar diğer girdi kombinasyonlarına göre daha düşük kalmıştır. Şefaati İstasyonu'nda da M2 ve M7 kombinasyonlarının tahmin başarısı diğer 8 girdi kombinasyonuna göre daha düşük olmakla birlikte, diğer üç istasyonda bu kombinasyonlarda (M2 ve M7) elde edilen sonuçlara göre çok iyi olarak kabul edilebilecek bir performans derecesine sahiptir.

Dalgacık dönüşümü uygulanmış verilerin detay bileşenlerinin kullanılması ile elde edilen yeni girdi kombinasyonları kullanılarak oluşturulan Dalgacık-YSA

modelleri genel olarak incelendiğinde diğer metotlara göre gözle görülen bir artış olduğu görülmektedir.

Kızılırmak Havzası'nda bulunan 4 adet sediment gözlem istasyonu için, 10 farklı girdi kombinasyonu kullanılarak oluşturulan YSA ve Dalgacık-YSA modellerine ait performans değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri EK-B'de verilmiştir.

5.4. Yapay Zekâ Metotlarının Sediment Anahtar Eğrisi ile Karşılaştırılması

Kullanılan istasyonlara ait Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilen sediment anahtar eğrilerine ait denklemler kullanılarak, test periyodu için sediment değerleri elde edilmiş ve gözlenmiş sediment verileri ile karşılaştırılarak performans kriterleri sonuçları elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonların sediment miktarını tahmin etmede en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, R^2 , E_{Nash} performans değerleri ve E_{Nash} değerine göre model performans derecesi (PD) sonuçları Çizelge 5.7'de, grafikleri ise EK-C'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Test verileri için yapay zekâ metotları ve sediment anahtar eğrisi için sonuçlar

İstasyon Adı	Model Adı	Model Yapısı	Performans Değerlendirme				
			OMH	KOKH	R^2	E_{Nash}	PD
Şefaati	ÇKYSA-GDX	M6(4,1,12,1)	0.563	0.688	0.819	0.789	Çİ
	RTYSA	M8(3,1.46,19,1)	0.539	0.683	0.821	0.792	Çİ
	Dalgacık-ÇKYSA-GDX	M10(40,4,17,1)	0.335	0.459	0.912	0.906	Çİ
	Dalgacık-RTYSA	M10(40,4.83,20,1)	0.337	0.428	0.926	0.918	Çİ
	SAE	-	0.588	0.702	0.801	0.811	Çİ
Söğütühan	ÇKYSA-GDX	M8(3,3,14,1)	0.595	0.744	0.924	0.907	Çİ
	RTYSA	M3(2,1.24,14,1)	0.628	0.758	0.922	0.903	Çİ
	Dalgacık-ÇKYSA-GDX	M10(35,9,17,1)	0.622	0.780	0.899	0.897	Çİ
	Dalgacık-RTYSA	M8(21,4.39,20,1)	0.670	1.015	0.856	0.826	Çİ
	SAE	-	0.675	0.841	0.861	0.857	Çİ
Bulakbaşı	ÇKYSA-GDX	M8(3,6,13,1)	0.749	0.921	0.876	0.838	Çİ
	RTYSA	M10(5,0.91,4,1)	0.760	0.938	0.858	0.833	Çİ
	Dalgacık-ÇKYSA-GDX	M10(20,3,3,1)	0.612	0.779	0.888	0.884	Çİ
	Dalgacık-RTYSA	M10(20,2.53,20,1)	0.597	0.772	0.902	0.887	Çİ
	SAE	-	0.679	1.061	0.860	0.812	Çİ
Purtulu	ÇKYSA-GDX	M8(3,8,12,1)	0.573	0.710	0.874	0.861	Çİ
	RTYSA	M8(3,0.41,16,1)	0.563	0.694	0.871	0.867	Çİ
	Dalgacık-ÇKYSA-GDX	M10(35,5,14,1)	0.414	0.532	0.931	0.922	Çİ
	Dalgacık-RTYSA	M6(28,4.82,19,1)	0.500	0.658	0.896	0.881	Çİ
	SAE	-	0.809	0.993	0.809	0.808	Çİ

Çizelge 5.7 incelendiğinde, Şefaati İstasyonu için dağılım parametresi değeri 4.83 ve gizli katmandaki nöron sayısı 17 olan Dalgacık-RTYSA-M10 modelinin, $OMH=0.337$, $KOKH=0.428$, $R^2=0.926$ ve $E_{Nash}=0.918$ değerleri ile en başarılı sonucu verdiği görülmektedir (EK C- Şekil C1).

Söğütlühan İstasyonu'nda yapılan incelemede, birinci gizli katmandaki nöron sayısı 8 ve ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 3 olan ÇKYSA-GDX-M8 modelinin, $OMH=0.595$, $KOKH=0.744$, $R^2=0.924$ ve $E_{Nash}=0.907$ değerleri ile en başarılı model olduğu görülmektedir (EK C- Şekil C2).

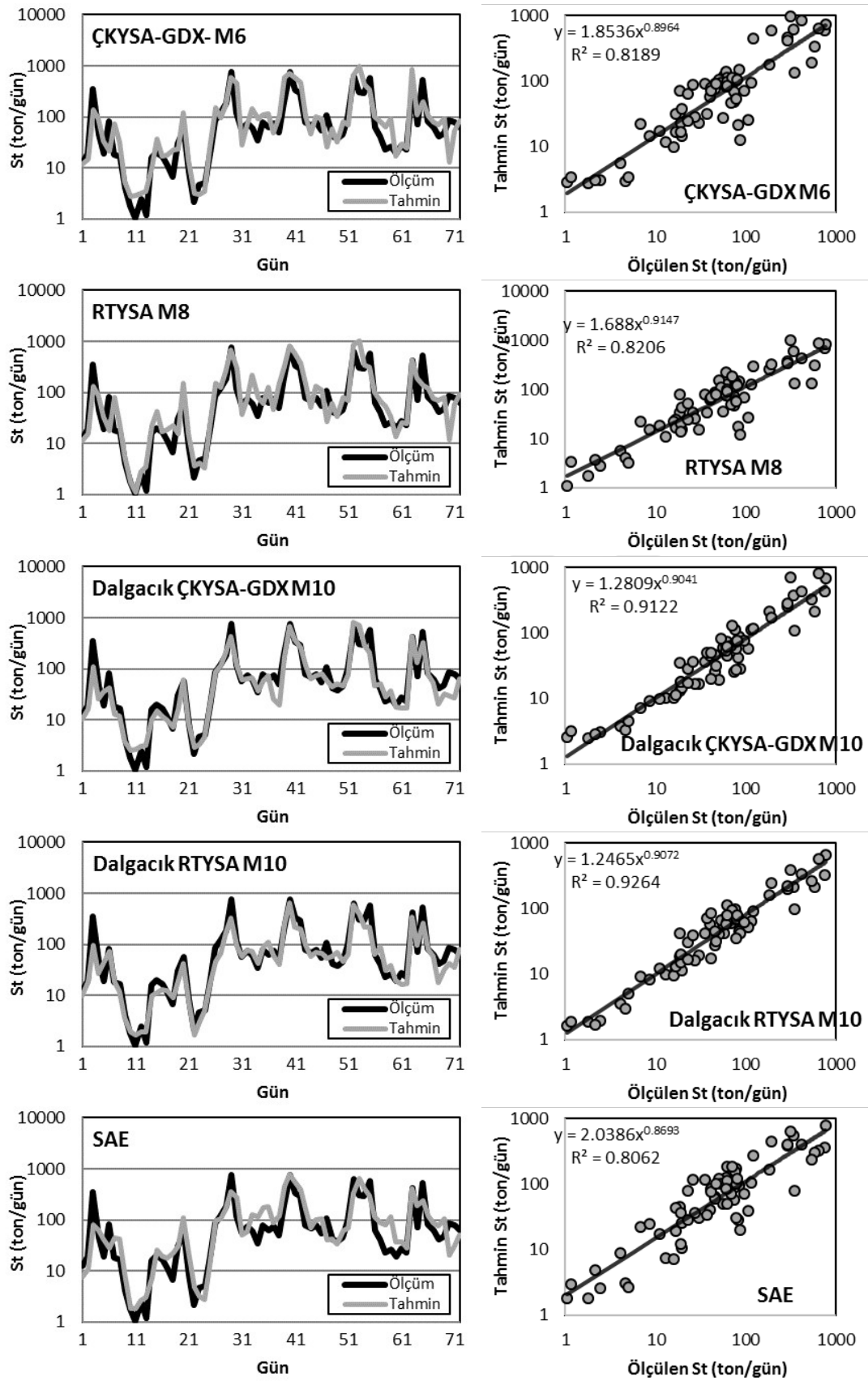
Bulakbaşı İstasyonu'nda yapılan incelemede, dağılım parametresi değeri 2.53 ve gizli katmandaki nöron sayısı 20 olan Dalgacık-RTYSA-M10 modelinin, $OMH=0.597$, $KOKH=0.772$, $R^2=0.902$ ve $E_{Nash}=0.887$ değerleri ile en başarılı sonucu verdiği görülmektedir (EK C- Şekil C3).

Purtulu İstasyonu'nda yapılan incelemede, birinci gizli katmandaki nöron sayısı 5 ve ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 14 olan Dalgacık-ÇKYSA-GDX-M10 modelinin, $OMH=0.414$, $KOKH=0.532$, $R^2=0.931$ ve $E_{Nash}=0.922$ değerleri ile en başarılı model olduğu görülmektedir (EK C- Şekil C4).

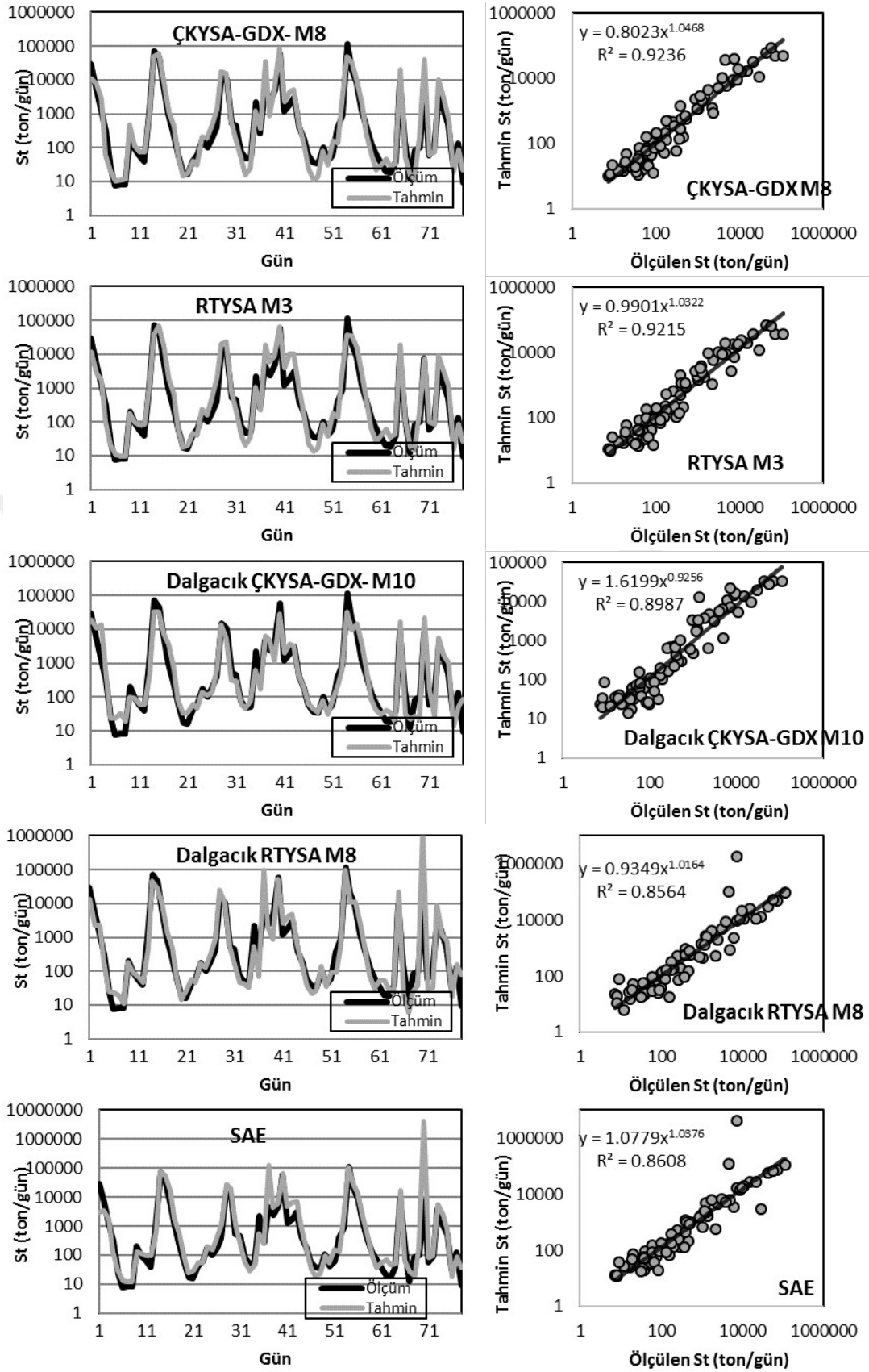
Çizelge 5.7'de verilen sonuçlara göre, kullanılan ÇKYSA-GDX ve RTYSA algoritmalarının gerek tek başına gerek dalgacık dönüşümü uygulanarak kullanılmasında, sediment miktarını tahmin etmede birbirine göre belirgin bir üstünlük sağlamadığı görülmektedir. Şefaati ve Purtulu istasyonlarında RTYSA ve Dalgacık-RTYSA modelleri, Söğütlühan ve Bulakbaşı istasyonlarında ise ÇKYSA-GDX ve Dalgacık-ÇKYSA-GDX modelleri daha başarılı olmuştur. Her iki YSA algoritmasının yalın kullanımında elde edilen sonuçların birbiriyle, hibrit kullanılması halinde elde edilen sonuçların da birbiriyle oldukça yakın sonuçlar verdiği Çizelge 5.7'de görülmektedir.

Çalışmada kullanılan istasyonların sediment miktarını tahmin etmede en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait Çizelge 5.7'de verilen E_{Nash} değerleri, Çizelge 4.3'de verilen başarı ölçütlerine göre değerlendirildiğinde ise, çalışmada kullanılan 4 istasyon için de tüm modellerde test verilerine ait E_{Nash} değerlerinin >0.75 olduğu, dolayısıyla performans derecelerinin (PD) çok iyi (Çİ) olduğu belirlenmiştir.

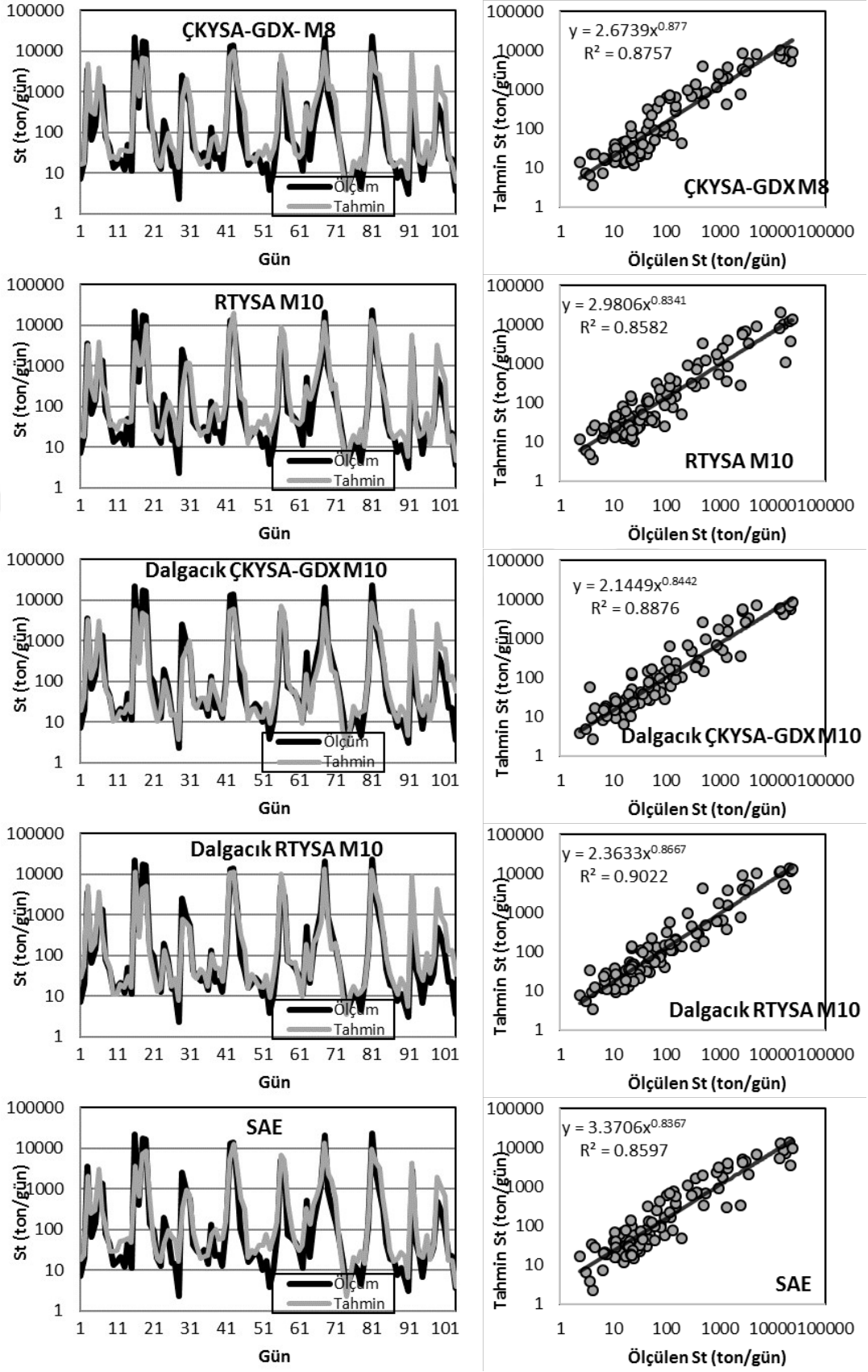
Çalışmada kullanılan yapay zekâ metotları ve sediment anahtar eğrisinin ölçülen değere göre istasyonlar için ayrı ayrı çizilen saçılma diyagramları ve zaman serileri Şekil 5.4, Şekil 5.5 Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir.



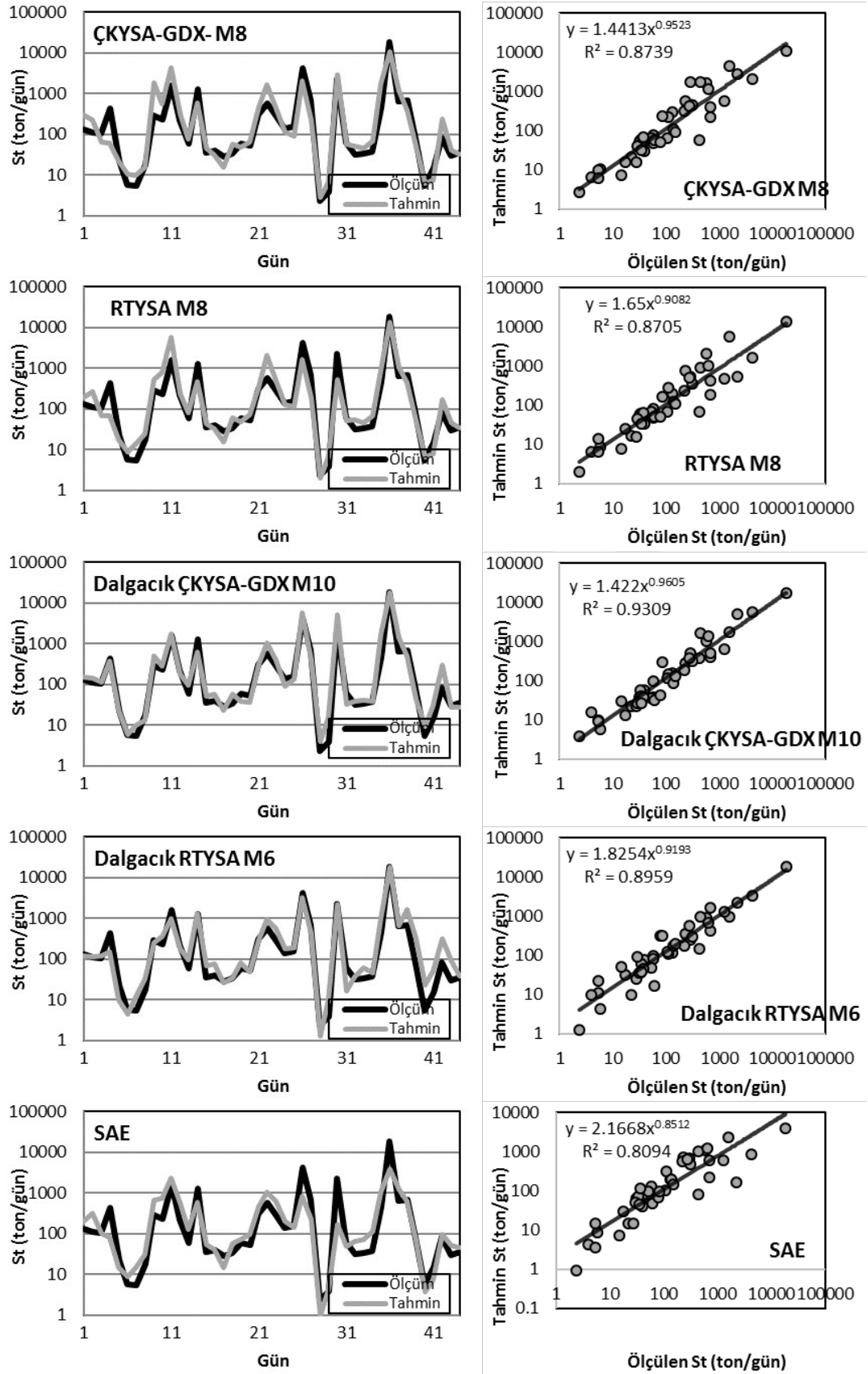
Şekil 5.1. Karanlık Dere – Şefaatli İstasyonu'na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları



Şekil 5.2. Kızılırmak Nehri- Söğütlühan İstasyonu'na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları



Şekil 5.3. Kızılırmak Nehri- Bulakbaşı İstasyonu'na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları



Şekil 5.4. Gökırmak- Purtulu İstasyonu'na ait performansı en yüksek modellerin zaman serileri ve saçılım diyagramları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında Türkiye’de yer alan bulunduğu havzaya da ismini veren Kızılırmak Nehri ve kolları üzerinde bulunan, Karanlık Dere-Şefaati (1517), Kızılırmak Nehri-Söğütlühan (1535), Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı (1539) ve Gökırmak-Purtulu (1545) istasyonlarına ait sediment miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Dört istasyona ait günlük sediment miktarını (S_t) tahmin etmek için kullanılan modellerde, $t-1$ ve $t-2$ gecikme zamanlarındaki Q_{t-1} , Q_{t-2} , S_{t-1} , S_{t-2} ile birlikte, t anındaki Q_t değişkenlerinden oluşturulmuş 10 adet girdi kombinasyonu kullanılmıştır. Oluşturulan girdi kombinasyonları kullanılarak sediment tahmini yapmak üzere modelleme yapılmadan önce, logaritmaları alınmış veriler 0 ve 1 arasında normalize edilmiştir. Normalize edilen verilere ilk olarak ÇKYSA-GDX ve RTYSA modelleri uygulanmış, daha sonra verilere Daubechies-4 (Db-4) dalgacığı ile 10. dereceden ADD uygulanarak, veriler detay ve yaklaşık bileşenlerine ayrılmıştır. Elde edilen detay bileşenlerinin gözlenmiş S_t bileşenleri ile korelasyonu incelenmiş ve yüksek korelasyon gösteren detay bileşenleri dikkate alınarak Dalgacık-YSA modellerinde kullanılacak girdiler belirlenmiştir. Korelasyonların incelenmesi neticesinde Şefaati İstasyonu için $D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8$, Söğütlühan İstasyonu için $D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7$, Bulakbaşı İstasyonu için $D1+D2+D3+D4$ ve Purtulu İstasyonu için $D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7$ şeklinde detay bileşenlerinin toplanması ile elde edilen girdiler Dalgacık-ÇKYSA-GDX ve Dalgacık-RTYSA modellerinde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yapay zekâ metotlarından elde edilen sonuçlar son olarak, her istasyonu temsil eden sediment anahtar eğrisi (SAE) denklemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kullanılan metotların performansının değerlendirilmesi ise test periyodu için elde edilen OMH, KOKH, R^2 ve E_{Nash} metrikleri ile yapılmıştır.

Sediment miktarını tahmin etmek üzere kullanılan metotlar ve girdi kombinasyonları arasında en başarılı olan modele, en yüksek E_{Nash} değeri esas alınarak karar verilmiştir. Kullanılan tüm metotlardan elde edilen sonuçlara göre; Karanlık Dere-Şefaati İstasyonu için Dalgacık-RTYSA yöntemi M10 kombinasyonunda $E_{Nash}=0.918$ değeri ile, Kızılırmak Nehri-Söğütlühan İstasyonu için ÇKYSA-GDX yöntemi M8 kombinasyonunda $E_{Nash}=0.907$ değeri ile, Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı istasyonu için Dalgacık-RTYSA yöntemi M10 kombinasyonunda $E_{Nash}=0.907$ değeri ile, Gökırmak-

Purtulu istasyonu için Dalgacık-ÇKYSA-GDX yöntemi M10 kombinasyonunda $E_{Nash}=0.922$ değeri ile en başarılı tahmin sonuçlarını vermiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında; Kızılırmak-Söğütlühan İstasyonu hariç, dalgacık dönüşümü uygulanan hibrit YSA yöntemlerinin, sediment tahmininde diğer yöntemlere göre genel olarak daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan dört istasyonu temsil eden SAE denklemleri kullanılarak yapılan sediment tahminlerinin başarısı, diğer kullanılan yöntemlere göre genel olarak daha düşük kalmıştır. SAE denklemlerinin sadece Q_t 'ye bağlı olarak ifade edilmiş olması, gecikme zaman adımlarındaki etkilerin veya sediment üzerinde etkili olabilecek başka bir değişkenin kullanılmıyor olması, bu metodun dezavantajlarından birisidir.

YSA, Dalgacık-YSA gibi yapay zekâ yöntemleri, pek çok hidrolik, hidrolojik ve meteorolojik değişkenin tahmin edilmesinde oldukça sık kullanılmakta ve genel olarak başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Modelleme çalışmalarında, kullanılan verilerin ölçüm sıklığı, düzenli ve hassas olarak ölçülmesi model başarısı üzerinde oldukça etkilidir. Diğer birçok hidrolojik, hidrolik ve meteorolojik parametreye göre sediment ölçümü zor olan bir parametredir. Aynı zamanda genel olarak her ayın herhangi bir gününde ölçümünün yapıyor olması sınırlı sayıda sediment verisinin olmasına neden olmaktadır.

Sediment tahmin başarılarının arttırılabilmesi, gerek daha sık yapılacak sediment ölçümlerinin kullanılması, gerek debi ile birlikte üzerinde etkili olabilecek başka parametrelerinde modellemeye dahil edilmesi ile oluşturulacak girdi kombinasyonları ile mümkün olabilecektir.

Yüksek maliyetler ile yapılan su kaynakları projelerinin ekonomik ömürlerinin daha hızlı tükenmesine sebep olmaları nedeniyle sediment miktarının doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Baraj rezervuarlarında ölü hacimlerin ekonomik ömürlerinin azalmasını önlemek ve gelebilecek sedimenti azaltmak için, akarsular tarafından taşınan sediment birikimlerinin tespit edilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrahat, R.J. and White, S.M., 2001, Modelling sediment transfer in Malawi: Comparing back propagation neural network solutions against a multiple linear regression benchmark using small data sets, *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 26 (1), 19-24.
- Afşar, S., 2008, Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak tava buharlaşma tahmini yapılması, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, Türkiye.
- Agarwal, A.K, Mishra, S.K., Ram, S. and Singh, J.K., 2006, Simulation of runoff and sediment yield using artificial neural networks, *Biosystems Engi.*, 94 (4), 597-613.
- Alp. M. and Cıgızoglu, H.K., 2007, Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data. *Environmental Modelling & Software*, 22(1), 2-13.
- Arik, S., 2014, Yapay sinir ağları kullanılarak hava veri bilgisayarı parametrelerinin hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, Türkiye.
- Azamathulla, H.M., Ghani, A.A. and Fei, S.Y., 2012, ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer, *Applied Soft Computing*, 12(3), 1227-1230.
- Bagnold, R.A., 1966, An approach to the sediment transport problem for general physics, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 442-I, USA.
- Baltacı, A., 2012, Sacramento nehrindeki askı maddesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, Türkiye.
- Baltacı, E., 2019, İnebolu havzasında yüzeysel akış ve sediment yükünün tahmin edilmesinde SWAT modelinin uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Başakın, E.E., 2018, Dalgacık bulanık zaman serisi yöntemi ile aylık akım tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Bayazıt, M., 1971, Hareketli tabanlı akımların hidroliği, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*.
- Bayazıt, M. ve Avcı, İ., 2010, Akarsularda akım ve sediment taşınımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- Bayram, A., 2011, Harşit çayı su kalitesinin mevsimsel değişiminin incelenmesi ve askı madde konsantrasyonunun yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilmesi, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, Türkiye.
- Berdibek, M., 2009, Güç sistemlerinde güç kalitesinin ayırık dalgacık dönüşümü kullanılarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, Türkiye.
- Broomhead, D. and Lowe, D., 1988, Multivariable functional interpolation and adaptive networks, *Complex Systems*, 2(6),568-576.
- Buyukyildiz, M. and Kumcu, S.Y., 2017, An estimation of the suspended sediment load using adaptive network based fuzzy inference system, support vector machine and artificial neural network models, *Water Resources Management*, 31(4), 1343-1359.
- Cıgızoğlu, H.K., 2001, YSA ve zaman seriler analizinde kullanımı, *III. Ulusal Hidroloji Kongresi*, İzmir, 579-586.
- Cıgızoğlu, H.K., 2004, Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multilayer perceptrons, *Advances in Water Resources*, 27(2), 185-195.
- Doğru, E., 2015, Petrol fiyatları ile hisse senedi piyasaları arasındaki getiri ve volatilité etkileşimi: Gelişen ülkeler üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Isparta, Türkiye.
- DSİ, 2016, Taşkın ve rusubat kontrolü raporu, *Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü*.
- Efe, M. Ö. ve Kaynak, O., 2004, Yapay sinir ağları ve uygulamaları, *Boğaziçi Üniversitesi Yayınları*.
- EİE, 2000, Sedimentasyonun önemi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü.
- Engelund, F. and Hansen, E., 1967, A monograph on sediment transport in alluvial streams, *Nordic Hydrology* 7.
- Erdoğan, P. ve Pekçakar, A., 2009, Dalgacık dönüşümü ile EKG sinyallerin özellik çıkarımı ve yapay sinir ağları ile sınıflandırılması, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- Fedakar, H.İ., 2012, Doğal akarsularda taşınan askı maddesi konsantrasyonunun bulanık genetik yaklaşımı ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, Türkiye.
- Fırat, M. ve Güngör, M., 2004, Askı maddesi konsantrasyonu ve miktarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 219, 3267–3282.

- Fırat, M. and Güngör, M., 2010, Monthly total sediment forecasting using adaptive neuro fuzzy inference system, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(2), 259-270.
- Graf, W.H., 1998, Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry, *Wiley Publisher*, 692 pages, England.
- Gündüz, A., 2011, Fırat-Dicle havzasında günlük nehir akımlarının farklı yapay zekâ yöntemleri ile tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, Türkiye.
- Haykin, S., 1994, Neural networks, *Macmillan Collage Printing Company*, New Jersey, 41.
- Kabataş, M.B., 2014, Sediment taşınımının bulanık mantık ve dalgacık analizi kombinasyonu metoduyla tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Kaynar, O., Işık, Y. E., Görmez, Y. ve Demirkoparan, F., 2016, Değişik kümeleme algoritmalarıyla eğitilmiş radyal tabanlı yapay sinir ağlarıyla saldırı tespiti, *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP'16)*, Malatya, Türkiye.
- Kisi, Ö., 2003, Nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi, Doktora tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Kişİ Ö., 2004, Daily suspended sediment modelling using a fuzzy differential evolution approach, *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 183-197.
- Kisi, Ö., 2005, Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches, *Hydrological Sciences Journal*, 50(4): 683-696.
- Kisi, Ö., Karahan, M.E. and Şen, Z., 2006, River suspended sediment modelling using a fuzzy logic approach, *Hydrological Processes* 20(20), 4351-4362.
- Kisi, Ö., Haktanir, T., Ardiclioglu, M., Ozturk, O., Yalcın, E. and Uludag, S., 2009, Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation, *Advances in Engineering Software*, 40(6), 438-444.
- Kisi, O. and Zounemat-Kermani, M., 2016, Suspended sediment modeling using neuro-fuzzy embedded fuzzy c-means clustering technique, *Water Resources Management*, 30(11), 3979-3994.
- Kumar, P. and Foufoula-Georgiou, E., 1993, A multicomponent decomposition of spatial rainfall fields 1. segregation of large- and small-scale features using wavelet transforms, *Water Resources Research*, 29(8), 2515-2532.
- Laursen, E.M., 1958. The total sediment load of streams, *J. Hydr. Div. ASCE*, 84, 1530-1536.

- Lohani, A.K., Goel, N.K. and Bhatia, K.K.S., 2009, Rainfall-runoff modelling using fuzzy rule-based approach, *International Conference on Water, Environment, Energy and Society (WEES), Hydrologic and Hydraulic Modelling I*:257–263.
- Malkoç, Y., 2007, Türkiye elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında rüzgâr enerjisinin yeri, *EİE İdaresi Genel Müdürlüğü*, 3, 45–50.
- Mianaei, S.J. and Keshavarzi, A., 2010, Prediction of riverine suspended sediment discharge using fuzzy logic algorithms, and some implications for estuarine settings, *Geo-Marine Letters*, 30(1), 35-45.
- Mirbagheri, S.A., Nourani, V., Rajaei, T. and Alikhani, A., 2010, Neuro-fuzzy models employing wavelet analysis for suspended sediment concentration prediction in rivers, *Hydrological Sciences Journal*, 55(7), 1175-1189.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. and Poggi, J.M., 1997, Wavelet toolbox for use with Matlab, *The MathWorks Inc.*, United States.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Trans ASABE*, 50, 885–900.
- Newham, L.T.H., Norton, J.P., Prosser, I.P., Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J., 2003, Sensitivity analysis for assessing the behaviour of a land - scape based sediment source and transport model, *Environmental Modelling & Software*, 18, 741-751.
- Okkan, U. ve Dalkılıç, H.Y., 2012, Radyal tabanlı yapay sinir ağları ile kemer barajı aylık akımlarının modellenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 5957-5966.
- Olyaie, E., Banejad, H., Chau, K.W. and Melesse, A.M., 2015, A comparison of various artificial intelligence approaches performance for estimating suspended sediment load of river systems: a case study in United States, *Environ Monit Assess*, 187(4), 189.
- Önal, S., 2009, Yapay sinir ağları metodu ile Kızılırmak Nehri'nin akım tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, Türkiye.
- Özbek, T. ve Özcan, Ç., 2001, Akarsularda katı madde. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, 165 s, Ankara.
- Özger, M. and Kabataş, M.B., 2015., Sediment load prediction by combined fuzzy logic-wavelet method, *Journal of Hydroinformatics* 17(6), 930-942.
- Öztemel, E., 2003., Yapay sinir ağları, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul.
- Öztürk, F., Sonmez, F.K., Yıldırım, Y.E., Bayramın, I., Apaydın, H. and Karas, E., 2003, Prediction of runoff and sediment yield by using AGNPS model, *Journal of Agricultural Sciences* 9(3), 344-351.

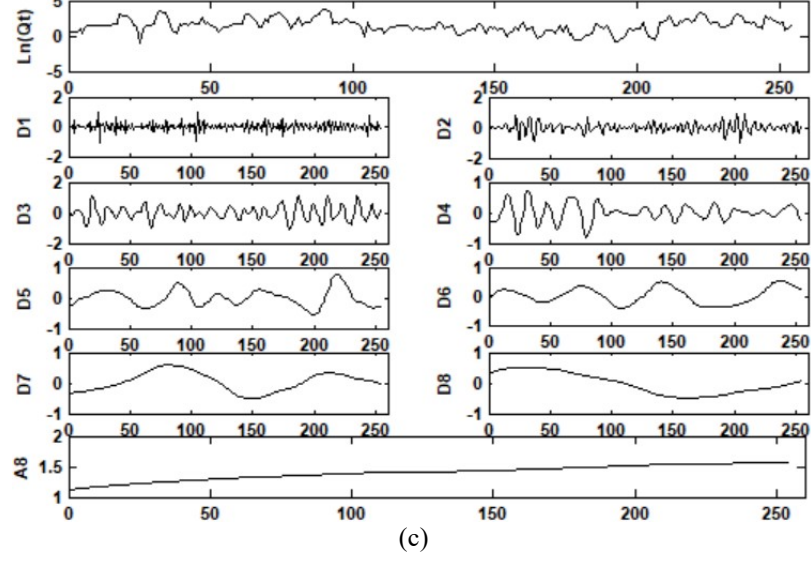
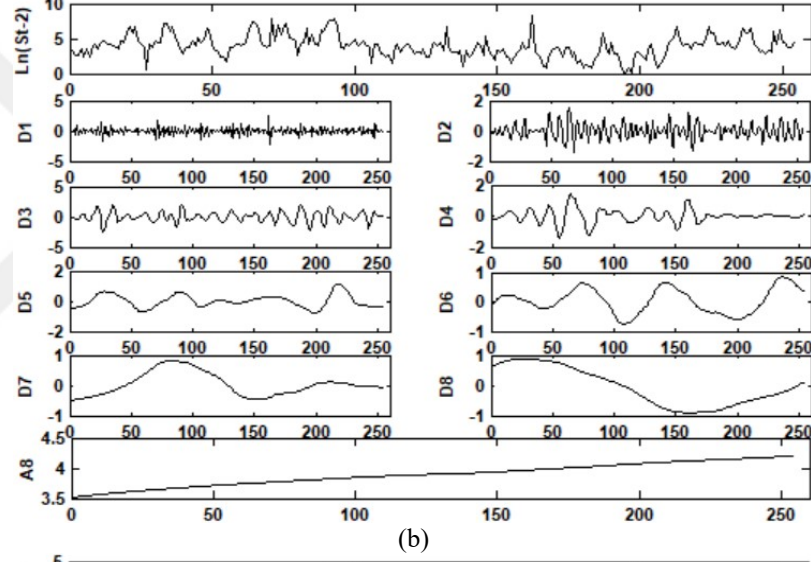
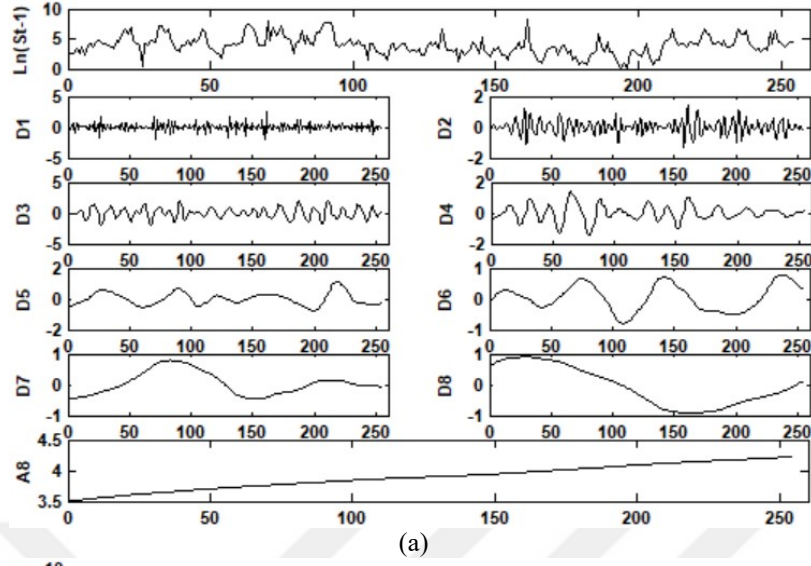
- Partal, T. and Kisi, O., 2007. Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting, *J. Hydrology*, 342(1-2), 199-212.
- Partal, T. and Cigizoglu, H.K., 2008, Estimation and forecasting of daily suspended sediment data using wavelet-neural networks, *J. Hydrol.*, 358 (3-4), 317-331.
- Pekmezci, S. ve Buttanrı, S., 2011, Baraj göllerinde sediment birikimi ve sediment yıkama (Flushing) methodu, *II. Su Yapıları Sempozyumu*, 16-18 Eylül 2011, Diyarbakır.
- Rajae, T., Mirbagheri, S.A., Zounemat-Kermani, M. and Nourani, V., 2009, Daily suspended sediment concentration simulation using ANN and neuro-fuzzy models, *Journal of Science of the Total Environment*, 407 (17), 4916–4927.
- Randle, T., Kimbrel, S. and Collins, K., 2017, Frequently asked questions about reservoir sedimentation and sustainability.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J., 1986, Learning representations by backpropagation error, *Letters to Nature*, 32, 533-536.
- Sarangi, A. and Bhattacharya, A.K., 2005, Comparison of artificial neural network and regression models for sediment loss prediction from Banha Watershed in India, *Agricultural Water Management*, 78, 195-208.
- Şen, Z., 2004, Yapay sinir ağları ilkeleri, *Su Vakfı Yayınları*, 183.
- Taşar, B., 2016, Bulanık mantık modellenmesi kullanılarak nehirlerdeki askı maddesi miktarının tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, Türkiye.
- Terzi Ö., 2004, Eğirdir Gölü'ne ait buharlaşma modellerinin geliştirilmesi ve uygulanması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, Türkiye.
- Terzi, Ö. ve Baykal, T., 2012, Akarsulardaki katı madde miktarının yapay sinir ağları ile Tahmini: Kızılırmak Nehri örneği, *SDU Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3), 8-14.
- Terzi, Ö. ve Barak, M., 2015, Dalgacık-sinir ağı yaklaşımı ile yağış-akış tahmini: Kızılırmak Nehri örneği, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, 546-557.
- Turhan, E., 2012, Seyhan Havzasının yağış – akış ilişkisinin yapay sinir ağı yöntemi ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, Türkiye.
- Ulke, A., Tayfur, G. and Ozkul, S., 2009, Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(9), 954-965.

- Ülke, A., Özkul, S. ve Tayfur, G., 2011, Ampirik yöntemlerle Gediz Nehri için askıda katı madde yükü tahmini, *Teknik Dergi*, 22(107), 5387-5407.
- Wang, W. and Ding, J., 2003, Wavelet network model and its application to the prediction of hydrology, *Nature and Science*, 1(1), 67-71.
- Watson, R. W., McDonald, W. J. and Bourke, C. A., 2000, Phalaris pastures (Agfacts). Agfact P.2.5.1, second edition July 2000.
- Yang, C.T.,1996, Sediment transport theory and practice. *McGraw-Hill*, USA.
- Yang, C.T., 1972, Unit stream power and sediment transport, *Proc. ASCE*, 98 (HY 10),1805-1820.
- Zhu, Y.M., Lu, X.X. and 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(1-2), 111-125.

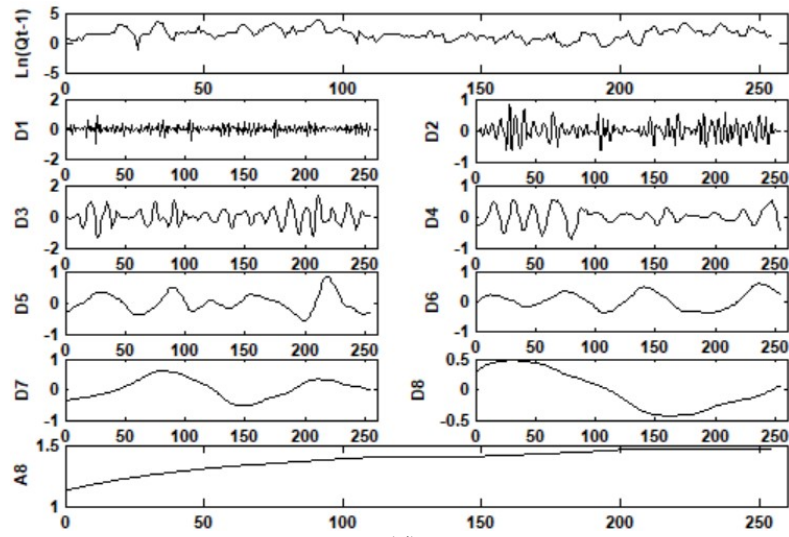


EKLER

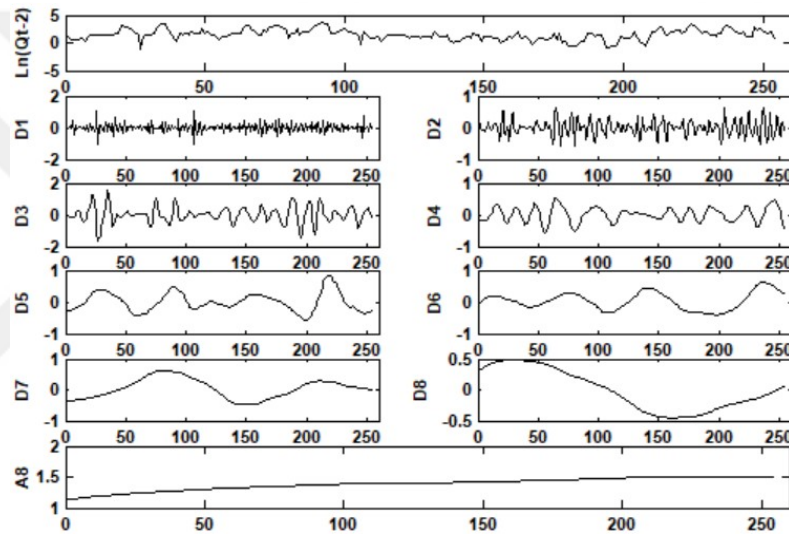
EK A: Kızılırmak Havzası'nda bulunan ve bu çalışmada kullanılan 4 istasyona için dikkate alınan ADD derecelerine göre ilgili parametrelere ait detay ve yaklaşık bileşenlerinin değişimi



Şekil A.1. Karanlık Dere-Şeaftli İstasyonu'na için **a)** St-1, **b)** St-2, **c)** Qt, **d)** Qt-1, **e)** Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri

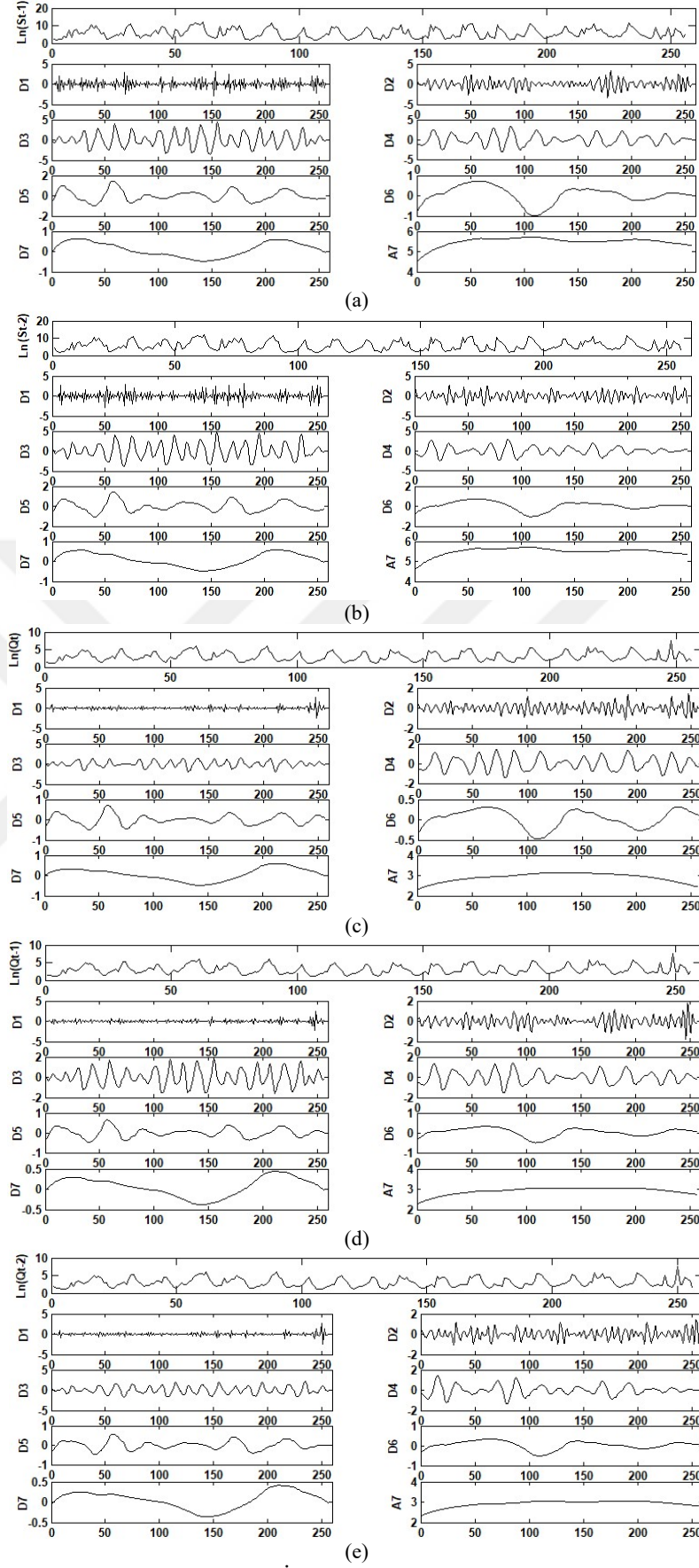


(d)

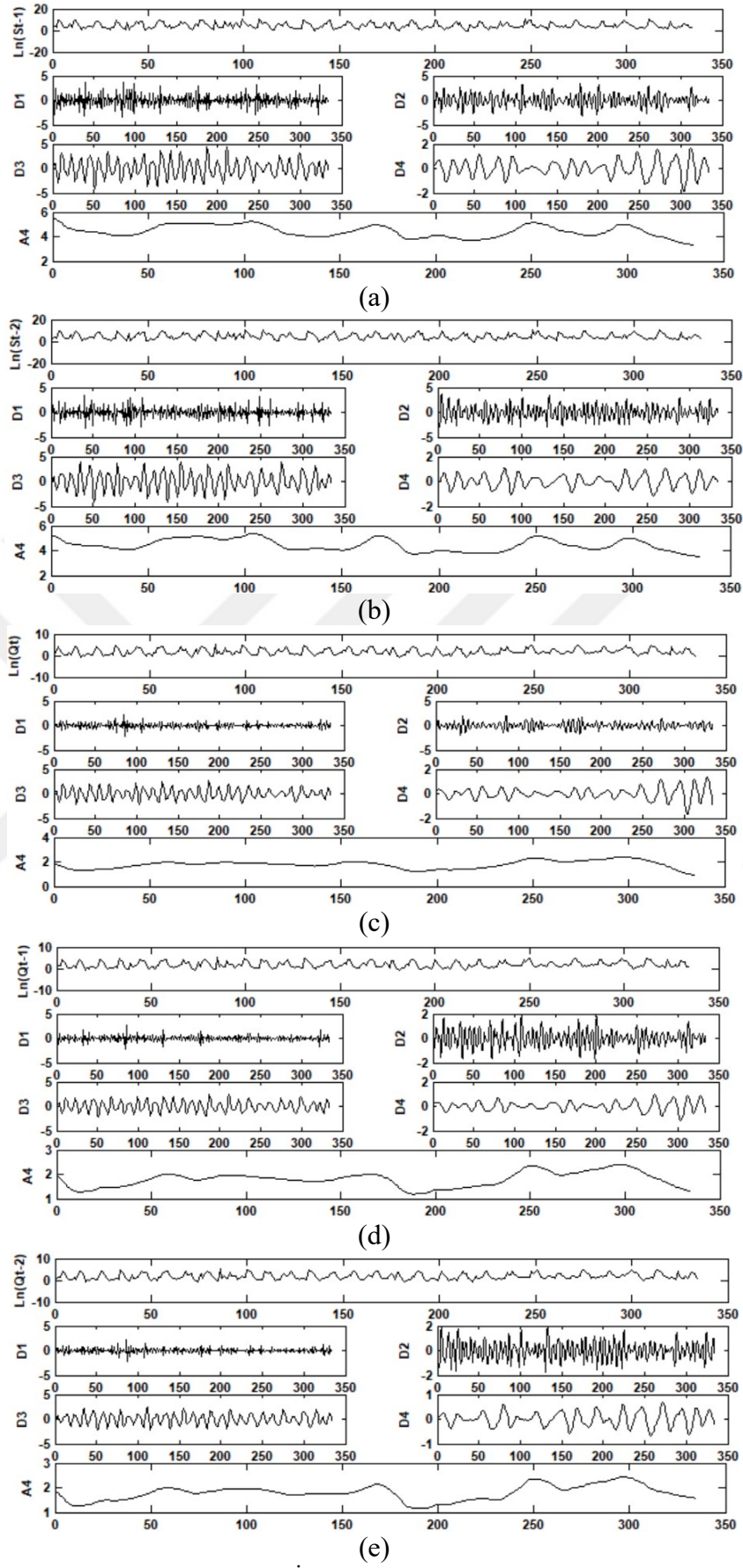


(e)

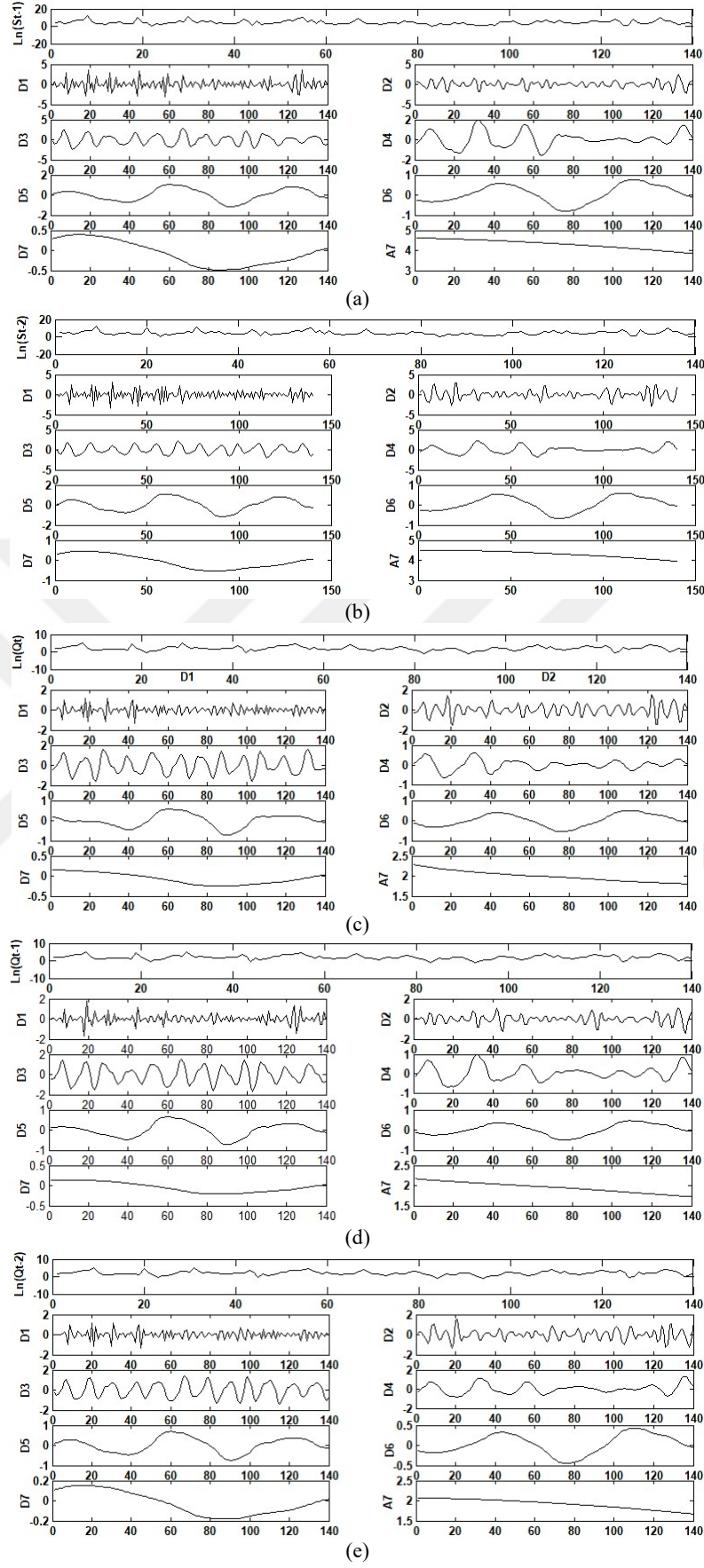
Şekil A.1. devam. Karanlık Dere-Şefahtli İstasyonu'na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri



Şekil A.2. Kızılırmak Nehri-Sögütlühan İstasyonu'na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri

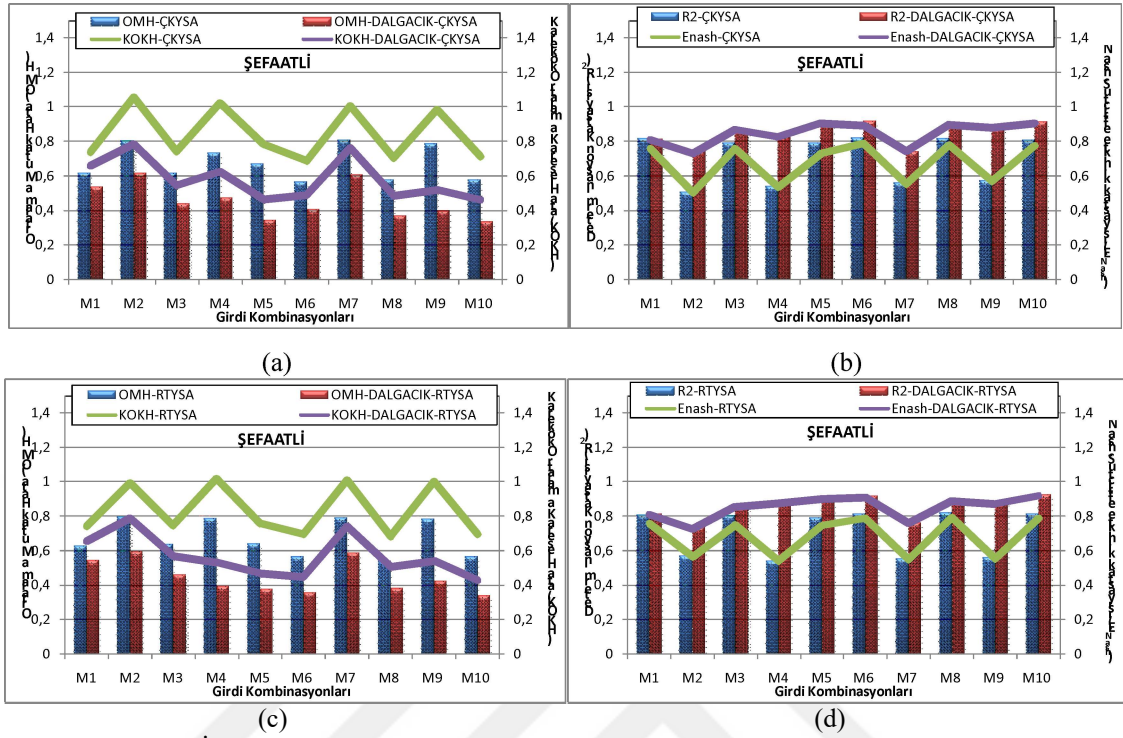


Şekil A.3. Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu'na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri

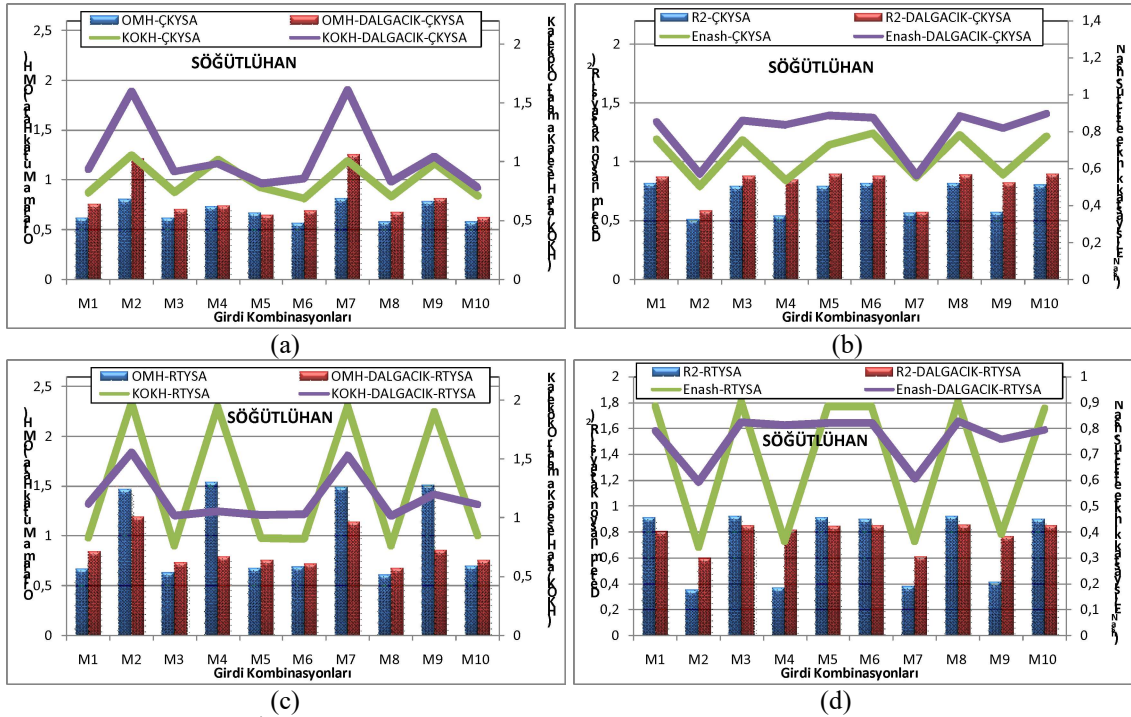


Şekil A.4. Gökkırmak-Purtulu İstasyonu'na için a) St-1, b) St-2, c) Qt, d) Qt-1, e) Qt-2 parametrelerine ait Db-4 dalgacığı ile elde edilen detay ve yaklaşık bileşenleri

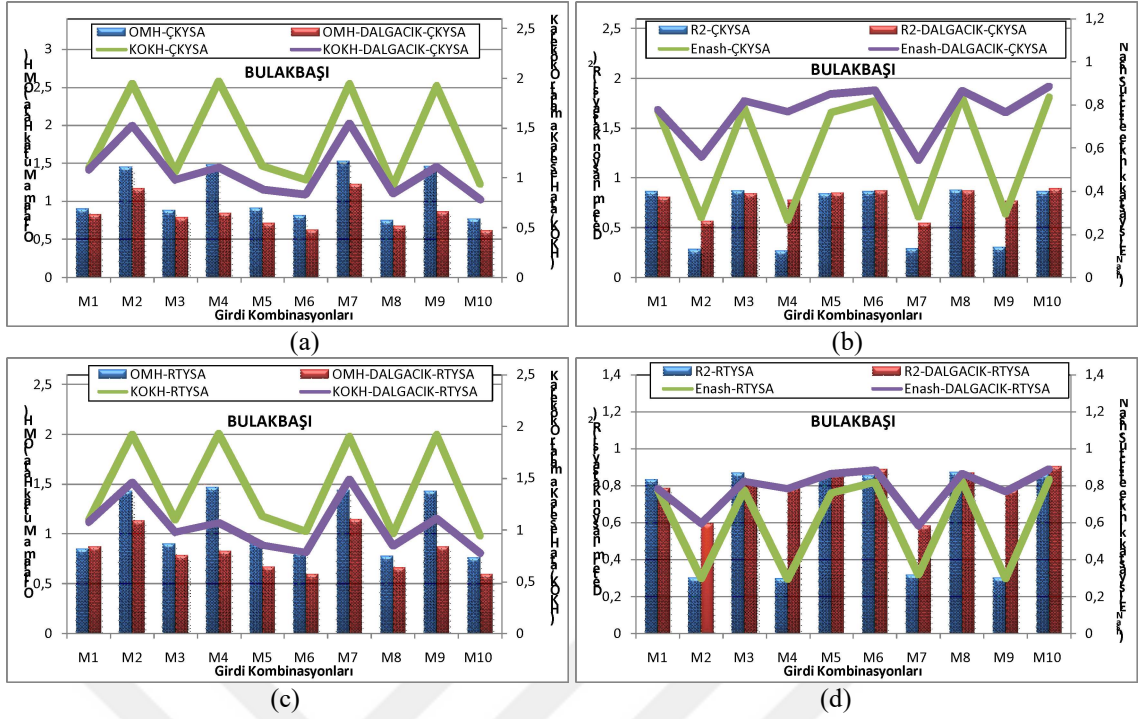
EK B: Kızılırmak Havzası'nda bulunan 4 adet sediment gözlem istasyonu için, 10 farklı girdi kombinasyonu kullanılarak oluşturulan YSA ve Dalgacık-YSA modellerine ait performans değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri



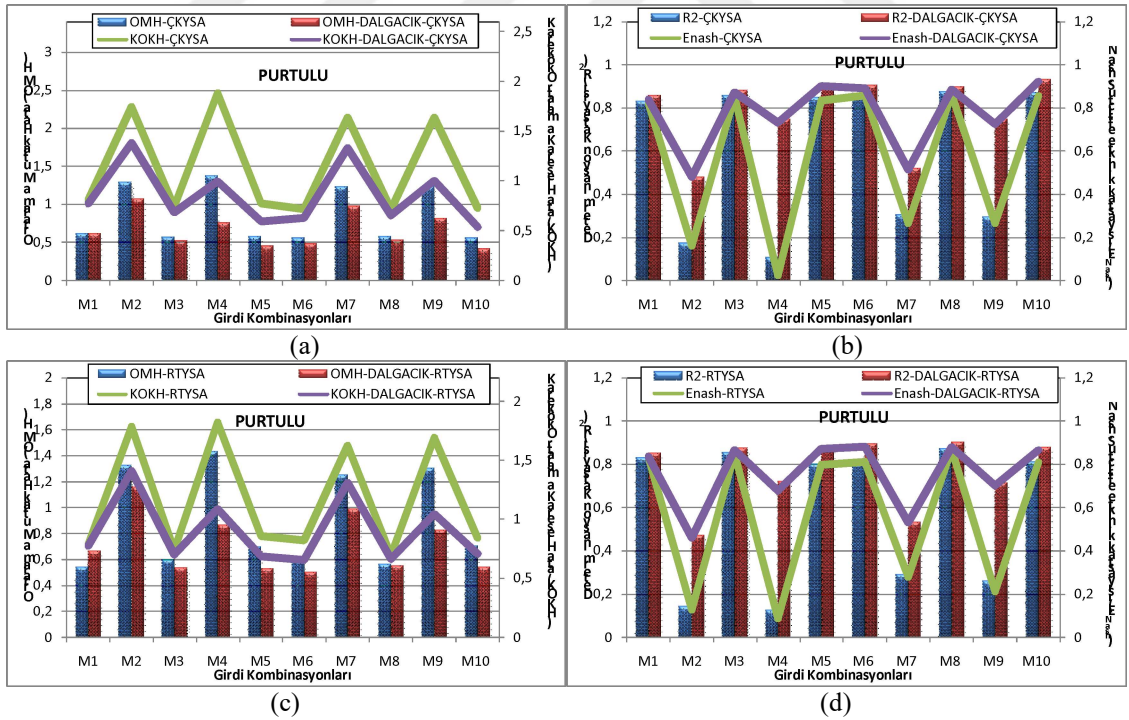
Şekil B.1. Şefaatlî İstasyonu'nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değişimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R² ve E_{Nash} değişimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değişimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R² ve E_{Nash} değişimi



Şekil B.2. Söğütlühan İstasyonu'nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değişimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R² ve E_{Nash} değişimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değişimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R² ve E_{Nash} değişimi

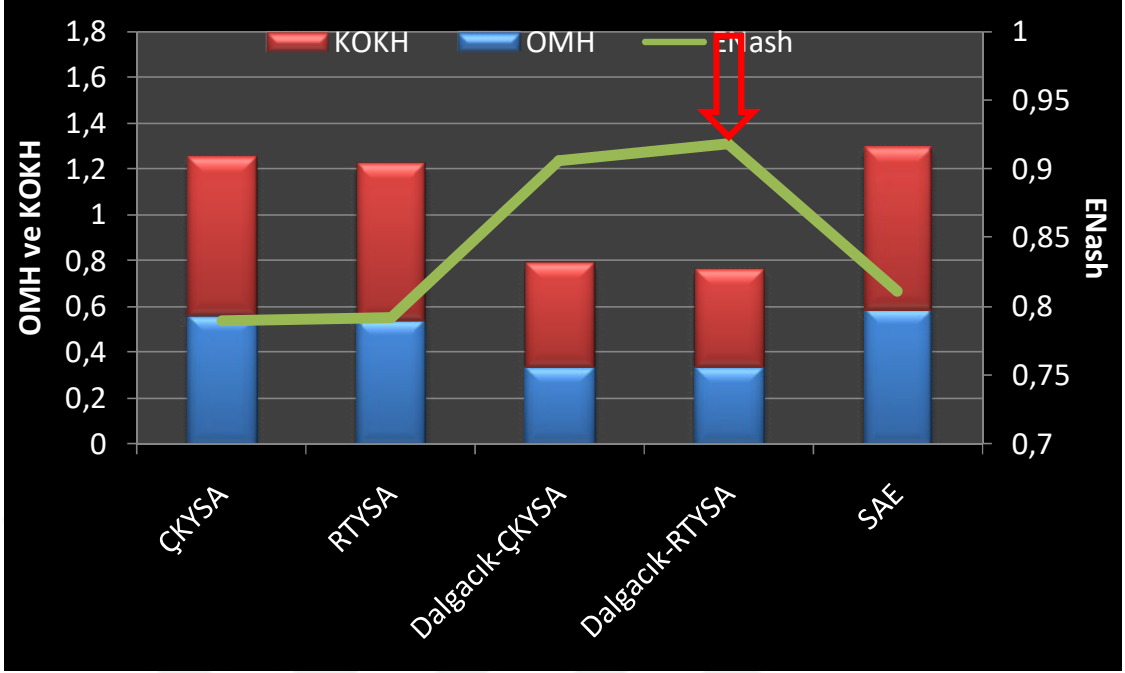


Şekil B.3. Bulakbaşı İstasyonu'nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değişimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R² ve E_{Nash} değişimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değişimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R² ve E_{Nash} değişimi

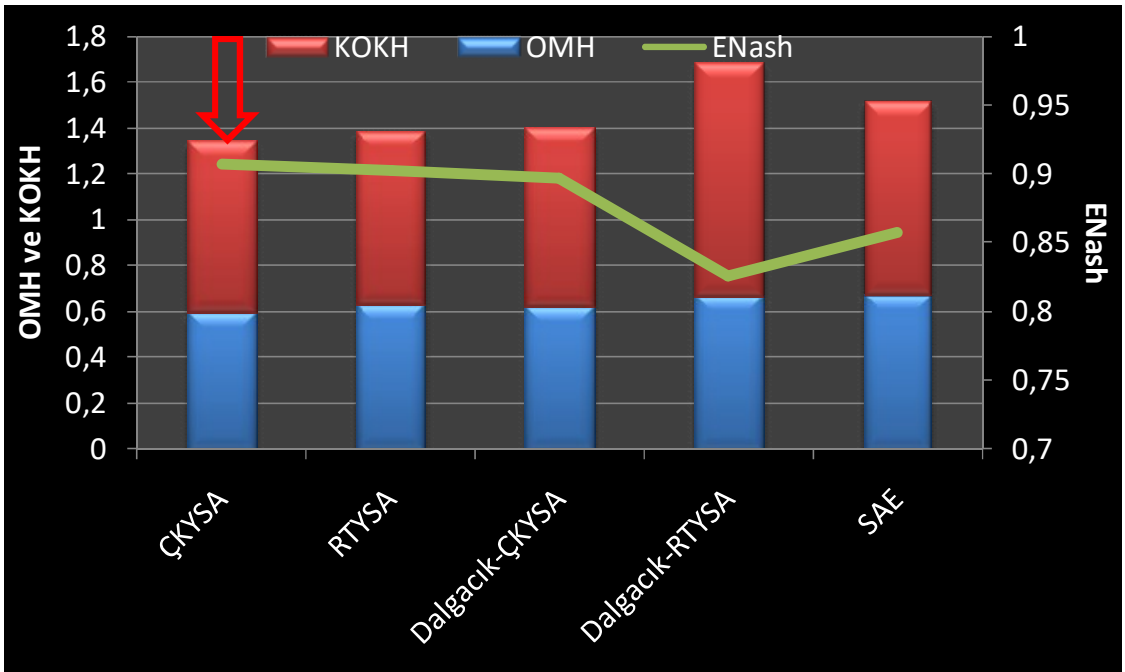


Şekil B.4. Purtulu İstasyonu'nda her girdi kombinasyonunun a) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için OMH ve KOKH değişimi, b) ÇKYSA ve Dalgacık-ÇKYSA için R² ve E_{Nash} değişimi, c) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için OMH ve KOKH değişimi, d) RTYSA ve Dalgacık-RTYSA için R² ve E_{Nash} değişimi

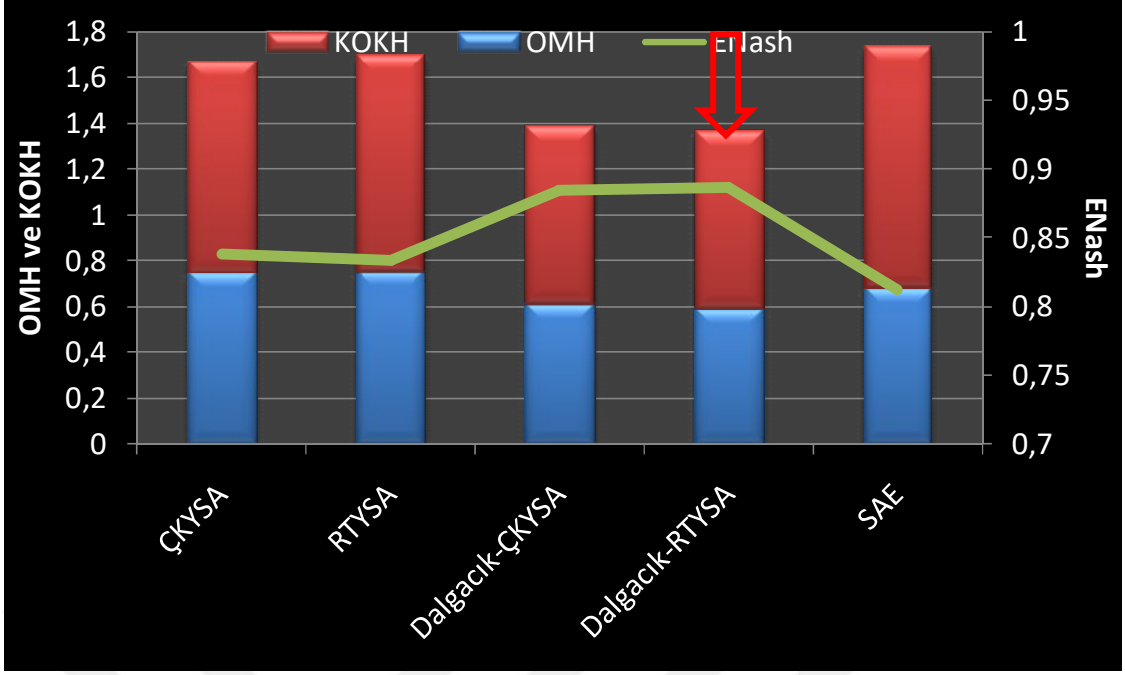
EK C: Çalışmada kullanılan istasyonların sediment miktarını tahmin etmede en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri



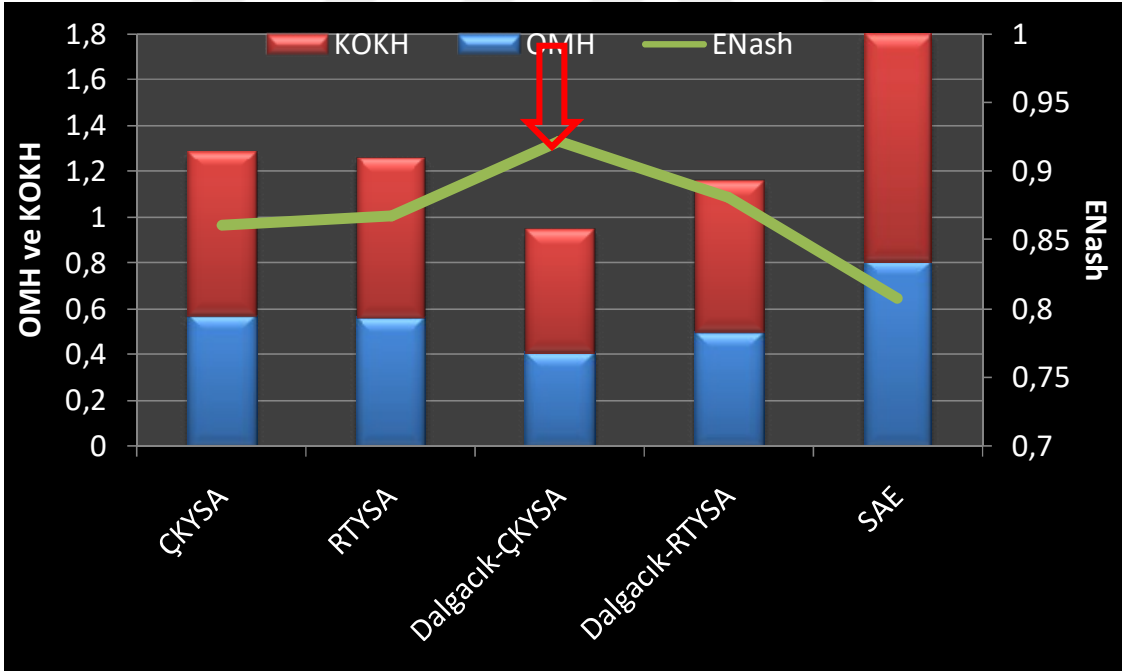
Şekil C.1. Şefaatli İstasyonu'na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri



Şekil C.2. Söğütluhan İstasyonu'na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri



Şekil C.3. Bulakbaşı İstasyonu'na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri



Şekil C.4. Purtulu İstasyonu'na ait en başarılı yapay zekâ modellerine ve sediment anahtar eğrisine ait OMH, KOHK, E_{Nash} performans değerleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet Alperen ACAR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : SİVAS-1992
Telefon : +90 543 398 67 68
Faks :
e-mail : alperenacarr@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuk Anadolu Lisesi, Merkez, Sivas	2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi , Selçuklu, Konya	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-2018	Ahmet Alperen ACAR Şahış Şirketi	İnşaat Mühendisi
2018-Halen	Devlet Su İşleri 13. Bölge Müdürlüğü(Antalya)	İnşaat Mühendisi

YAYINLAR

Acar, A.A. and Buyukyildiz, M., 2019, Usability of Artificial Neural Networks for Sediment Estimation, International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER 2019), May 25-27, Konya, Turkey.