

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY ZEKÂ
UYGULAMALARI KULLANILARAK TESPİTİ**

Ramazan ACAR

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Kemal SAPLIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Ramazan ACAR]

TEZ ONAYI

Ramazan ACAR tarafından hazırlanan "**Akarsulardaki Sediment Taşımının Yapay Zekâ Uygulamaları Kullanılarak Tespiti**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Kemal SAPLIOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. M. Erol KESKİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ramazan ACAR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. AKARSULARDA SEDİMENT (KATI MADDE) HAREKETİ	10
3.1. Genel Bilgiler	10
3.2. Sedimentlerin (Katı Maddelerin) Sınıflandırılması	10
3.3. Sedimentlerin (Katı Maddelerin) Özellikleri	12
3.3.1. Kohezyonsuz sedimentlerin (katı maddelerin) karakteristikleri	12
3.3.2. Akım karakteristikleri	14
3.4. Sediment Taşınım Modları	15
4. MATERYAL VE YÖNTEM	17
4.1. Materyal	17
4.1.1. Çalışma alanı ve özellikleri	17
4.1.2. Çalışmada kullanılan veriler	18
4.2. Yöntem	22
4.2.1. Yapay sinir ağları (YSA)	22
4.2.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)	26
4.2.3. Çoklu regresyon analizi	29
4.2.4. E.İ.E. gözlem sonuçları ile hesaplama	29
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
5.1. Analizler İçin Oluşturulan modeller	31
5.2. 2102 Numaralı Murat Nehri - Palu İstasyonu Tahmin Sonuçları	31
5.2.1. Yapay sinir ağları (YSA) sonuçları	31
5.2.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçları	33
5.2.3. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi sonuçları	35
5.2.4. EİE üs metodu sonuçları	37
5.3. 2164 Numaralı Göynük Çayı - Çayağzı İstasyonu Tahmin Sonuçları	38
5.3.1. Yapay sinir ağları (YSA) sonuçları	38
5.3.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçları	40
5.3.3. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi sonuçları	42
5.3.4. EİE üs metodu sonuçları	44
5.4. 2166 Numaralı Peri Suyu - Logmar İstasyonu Tahmin Sonuçları	45
5.4.1. Yapay sinir ağları (YSA) sonuçları	45
5.4.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçları	47
5.4.3. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi sonuçları	49
5.4.4. EİE üs metodu sonuçları	50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKARSULARDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI KULLANILARAK TESPİTİ

Ramazan ACAR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal SAPLIOĞLU

Baraj ve bağlama gibi su yapılarının projelendirilmesinde, hem içme suyu hem de kullanma suyunun temin edilmesi problemlerinde ve akarsuların kirlilik seviyelerinin belirlenmesi gibi çalışmalarda sediment yükünün doğru bir şekilde tahmin edilmesi çok önemlidir. Bu sebeplerden dolayı akarsulardaki sediment miktarının tespiti su kaynakları mühendisliğinde büyük önem taşır.

Bu çalışmada, Fırat Havzası'nda bulunan Murat Nehri, Göynük Çayı ve Peri Suyu gibi nehirler sediment taşınımı açısından irdelenmiştir. Bölgede bulunan üç istasyon için yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (E.İ.E) üs metodu gibi yöntemler denenmiştir. Yapılan uygulamalarda bu üç istasyona ait sediment(Q_s), debi(Q), sıcaklık(T) ve yağış(P) verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler kullanılarak üç istasyon için de sediment tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada her bir istasyon için üç farklı model oluşturulmuştur. Birinci modelde girdi değişkeni olarak yağışın aynı günkü değeri, debi ve sıcaklık değerleri, çıktı değeri olarak da sediment konsantrasyonu (C) kullanılmıştır. İkinci modelde girdi değişkeni olarak yağışın bir gün önceki değeri, debi ve sıcaklık, çıktı değeri olarak da sediment konsantrasyonu kullanılmıştır. Üçüncü modelde ise girdi değişkeni olarak yağışın aynı günkü değeri, yağışın bir gün önceki değeri, debi ve sıcaklık, çıktı değeri olarak da sediment konsantrasyonu kullanılmıştır.

Oluşturulan bu modeller eğitim ve test aşamalarında hem regresyon katsayısı (R^2) hem de ortalama yüzde hatası (OYH) bakımından karşılaştırılmıştır. Eğitim ve test aşamalarında en başarılı sonuç yapay sinir ağları(YSA) ve ANFIS modellerinden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sediment, Yapay Sinir Ağları (YSA), ANFIS, Çoklu Regresyon, Akarsular

2019, 59 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETECTION OF SEDIMENT TRANSPORT IN STREAMS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS

Ramazan ACAR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kemal SAPLIOĞLU

In the project design of water structures such as dams and regulators, in the problems of providing both drinking water and running water and in studies such as determining the pollution levels of streams, accurate prediction of sediment load is of utmost significance. Therefore, detecting the amount of sediment in streams is vital for water resources engineering.

In this study, rivers such as Göynük Stream, Murat River and Peri River on the Euphrates Basin were studied in terms of the subject of sediment transport. For the stations in the region, methods such as artificial neural networks (ANN), adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS), multiple linear regression (MLR) and the base method of electrical power resources survey and development administration (E.P.R.S.) were tested. In the practices for these three stations, sediment (Qs), flow rate (Q), temperature (T) and precipitation (P) data were taken into consideration. By using these data, sediment prediction models were created for these three stations. In this study, three different models were created for each station. In the first model, the value of the precipitation of the same day, flow rate and temperature were used as input variables while sediment concentration (C) was used as the output value. In the second model, the value of the precipitation of the previous day, flow rate and temperature were used as the input variables while sediment concentration was used as the output value. In the third model, the value of the precipitation of the same day, the value of the precipitation of the previous day, flow rate and temperature were used as input variables while sediment concentration was used as the output value.

The models were compared during both the training and test phases in terms of both the regression coefficient (R^2) and mean percentage error (MPE). In the training and test phases, the most successful result was obtained from the artificial neural networks (ANN) and ANFIS models.

Keywords: Sediment, ANN, ANFIS, Multiple Regression, Streams

2019, 59 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, karşılaştığım zorlukları kıymetli bilgi ve tecrübesi ile aşmam hususunda desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Kemal SAPLIOĞLU'na sevgi ve saygılarımı sunarım.

Akademik hayata atılmam konusunda beni cesaretlendiren, bu yolda bana ışık tutan saygı değer Dr. Öğr. Üyesi Meltem SAPLIOĞLU hocama en içten dileklerimle sevgi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan ve yanımda olduklarını her zaman hissettiren aileme sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ramazan ACAR
ISPARTA, 2019



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı (Özbek ve Özcan, 2001).....	11
Şekil 3.2. Denge halinde olan bir sediment danesi (Özbek ve Özcan, 2001)	13
Şekil 3.3. Sediment taşınım modları (Yang, 1996).....	16
Şekil 4.1. Fırat Havzası haritası (Gümüş, 2006)	21
Şekil 4.2. Biyolojik bir sinir hücresi yapısı (Avcı ve Saplıoğlu, 2015)	23
Şekil 4.3. Genel yapay sinir ağ mimarisi	24
Şekil 4.4. İleri beslemeli YSA yapısı	25
Şekil 4.5. Geri beslemeli YSA	25
Şekil 4.6. ANFIS ağ mimarisi	27
Şekil 5.1. 8 nöronlu YSA modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	33
Şekil 5.2. ANFIS modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	35
Şekil 5.3. MLR modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	36
Şekil 5.4. EİE üs metodu modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test	37
Şekil 5.5. 10 nöronlu YSA modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	40
Şekil 5.6. ANFIS modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	42
Şekil 5.7. MLR modeline ait saçılım grafikleri eğitim; (b) test	43
Şekil 5.8. EİE üs metodu modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test	44
Şekil 5.9. YSA modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test	47
Şekil 5.10. ANFIS modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	49
Şekil 5.11. MLR modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test.....	50
Şekil 5.12. EİE üs metodu modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Akım karakteristikleri (Özbek ve Özcan, 2001)	15
Çizelge 4.1. Fırat Nehri üzerinde inşa edilen Barajlar ve HES'ler	18
Çizelge 4.2. 2102 numaralı Murat Nehri – Palu istasyonu	19
Çizelge 4.3. 2164 numaralı Göynük Çayı - Çayağzı istasyonu	19
Çizelge 4.4. 2166 numaralı Peri Suyu - Loğmar istasyonu.....	20
Çizelge 5.1. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	32
Çizelge 5.2. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	32
Çizelge 5.3. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	33
Çizelge 5.4. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	34
Çizelge 5.5. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	34
Çizelge 5.6. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	34
Çizelge 5.7. MLR modellerine ait eğitim-test sonuçları	36
Çizelge 5.8. MLR modellerine ait eğitim-test sonuçları	36
Çizelge 5.9. MLR modellerine ait eğitim-test sonuçları	36
Çizelge 5.10. EİE üs metodu modeline ait eğitim-test sonuçları	37
Çizelge 5.11. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	39
Çizelge 5.12. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	39
Çizelge 5.13. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	40
Çizelge 5.14. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	41
Çizelge 5.15. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	41
Çizelge 5.16. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	41
Çizelge 5.17. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları	42
Çizelge 5.18. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları	43
Çizelge 5.19. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları	43
Çizelge 5.20. EİE üs metodu modeline ait eğitim-test sonuçları	44
Çizelge 5.21. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	46
Çizelge 5.22. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	46
Çizelge 5.23. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları.....	47
Çizelge 5.24. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	48
Çizelge 5.25. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	48
Çizelge 5.26. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları	48
Çizelge 5.27. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları	50
Çizelge 5.28. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları	50
Çizelge 5.29. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları	50
Çizelge 5.30. EİE üs metodu modeline ait eğitim-test sonuçları	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Parçacığın çökelme yönündeki alanı
AGİ	Akım gözlem istasyonu
AI	Yapay zekâ
ANFIS	Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi
ARIMA	Otomatik regresif entegre hareketli ortalama
BPNN	Geri yayılım sinir ağı
C	Sediment konsantrasyonu
CART	Regresyon ağacı
C_D	Akımın sürüklenme katsayısı
D	Dane çapı
d	Dane çapı
D.M.İ.	Devlet Meteoroloji İşleri
E	Elastisite modülü
E.İ.E	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
E_{ln}	Logaritmik değerler
F_D	Bir sediment danesine etki eden sürüklenme kuvveti
FFBP	İleri besleme geri yayılım
F_r	Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
GEP	Gen ifade programlama
HES	Hidroelektrik santrali
k	Giriş parametrelerinin sayısı
MAE	Ortalama mutlak hata
MAPE	Ortalama mutlak hata yüzdesi
MLP	Çok katmanlı algılayıcı
NF	Nöro bulanık modeli
NS	Nash-Sutcliffe verimi
O_i^j	j katmanındaki çıkış düğümü
OYH	Ortalama yüzde hatası
P	Yağış
PSD	Parçacık büyüklüğü dağılımı
R	Korelasyon katsayısı
R^2	Regresyon katsayısı
RBNN	Radyal bazlı sinir ağları
RMSE	Karesel ortalama hata
SD-USGT	İki boyutlu birim sediment grafik teorisi
SRC	Sediment anahtar eğrisi
SSC	Askıda biriken sediment konsantrasyonu
SSL	Askıda biriken sediment yükü
SVM	Destek vektör makinesi
ŞF	Şekil faktörü
T	Sıcaklık
TDS	Toplam çözünmüş katı madde miktarı
TSS	Toplam sediment yükü
U	Hata terimi
V	Hız
WNF	Dalgacık analizi ve nöro bulanık modeli
W_s	Danenin su içindeki ağırlığı

y	Bağımlı değişken
YSA	Yapay sinir ağı
x	Bağımsız değişken
Q	Debi
Q_s	Sediment miktarı
ω	Çökelme hızı
γ	Özgöl ağırlık
γ_s	Dane özgöl ağırlığı
ν	Kinematik viskozite
ρ	Suyun özgöl kütlesi
ρ_s	Birim hacimdeki sedimentin özgöl ağırlığı
μ_{Ai}	Tabaka ile ilişkili bulanık küme
Δ	Sedimentin su içindeki özgöl ağırlığı
β	Regresyon katsayısı



1. GİRİŞ

Akarsular dünya yüzeyinin şekillenmesinde büyük rol oynar. Yüzeyde bulunan suların bir yatak içinde toplanması ve daha sonra akması sonucunda akarsular oluşur. Akarsular; silt, kum, çakıl, kaya parçaları vb. gibi katı maddelerin oluşumunda etkilidirler. Bu katı maddeler akarsu havzalarında ve akarsu yataklarında kazınarak oluşurlar. Akarsular aşındırdıkları bu maddeleri beraberinde taşır. Akarsuların yatak eğimleri azaldığı zaman aşındırma ve taşıma gücü de azalacağından dolayı taşıdıkları maddeleri bu bölgelerde biriktirirler. Bu biriktirmelerin temel nedeni ise yatak eğimlerinin azalmasıdır.

Akarsular üzerinde çok çeşitli amaçlarla (enerji üretimi, taşkın kontrolü, içme ve kullanma vb.) barajlar inşa edilmektedir. İnşa edilen bu yapıların havzalarını akarsular besler. Akarsular beraberinde getirdiği katı maddeler (silt, kum, çakıl, kaya parçaları vb.) ile baraj göllerini doldururlar. Bu sebeple barajların hem depolama kapasitesi hem de ekonomik ömürleri azalmaktadır. Bununla birlikte toprağın üst tabakasının da yok olmasına neden olmaktadır. Bu olayların sonucunda da; tarım arazilerinin yok olması, çevre kirliliği ve su yapılarının iş göremez hale gelmesi veya yıkılması gibi sorunlar ortaya çıkarmaktadır.

Unutulmamalıdır ki baraj ve bağlama gibi su yapılarının hem boyutlandırılmasında hem de ölü hacimlerinin hesabında akarsuların beraberinde taşıdığı sediment miktarına ait değerler kullanılmaktadır.

Yukarıda belirtilen sorunlardan dolayı hidrolojik olaylar (yağış, akış, sediment taşınımı vb.) arasında var olan ilişkiyi hem doğru hem de güvenilir bir şekilde belirlemek gerekir. Burada her bir hidrolojik olguyu birçok değişkenin etkilemesi bu problemin daha da karmaşık bir hal almasına sebep olmaktadır. Son yıllarda bu karmaşık problemlerin çözümünde yapay zekâ teknikleri kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) vb. gibi yöntemlerdir. Ayrıca çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve EİE üs metodu da kullanılmaktadır.

Bu alışmada, Fırat Havzası'nda bulunan 2102 numaralı Murat Nehri Palu istasyonu, 2164 numaralı Gy n k ayı Çayağzı istasyonu ve 2166 numaralı Peri Suyu Loğmar istasyonuna ait sediment miktarının yağış, sıcaklık ve akım gözlemlerine bağlı olarak yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemleri ile tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca yapılan bu tahmin sonuçları ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu ölçüm sonuçları kullanılarak bir karşılaştırma yapılması planlanmaktadır. Elde edilen sonuçların grafik ve yorumları ile beraber verilmesi de amaçlanmaktadır.

Çalışmada kullanılan akım ve sediment verileri Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden (E.İ.E.) temin edilmiştir. Yağış verileri ise Devlet Meteoroloji İşleri'nden (D.M.İ.) temin edilmiştir.

Bu alışma genel anlamda giriş, sediment taşınımı ile ilgili literatür çalışması, akarsulardaki sediment hareketi, kullanılan materyal ve yöntem, yağış-sıcaklık-akım verilerine bağlı sediment tahmin modelleri ve sonuçlar bölümlerinden oluşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tayfur (2002) yapmış olduğu çalışmada; tabakalar halinde sediment taşınımını yapay sinir ağları (YSA) ile modellemiştir. Üç katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı oluşturmuş ve bununla birlikte yapay sinir ağı eğitim aşaması için bir geri yayılım algoritması kullanmıştır. Yapay sinir ağlarının (YSA) eğitim ve test aşamalarında deneysel sediment verilerini kullanmıştır. Eğitim aşamasında; girdi olarak eğim ve yağış yoğunluğu ile ilgili veriler kullanmıştır. Hedef çıktısı olarak da sediment debisi ile ilgili verileri kullanmıştır. Yapay sinir ağlarının (YSA) performansını çok yaygın olarak kullanılan fiziksel tabanlı modellere karşı test etmiştir. Karşılaştırma sonuçları; yapay sinir ağlarının (YSA) farklı eğimlerde durgun olmayan sediment yüklerini simüle etmek için fiziksel tabanlı modeller ile eşdeğer bir performans sergilediğini ortaya çıkarmıştır. Araştırma sonuçlarında; yapay sinir ağlarının (YSA) çok yüksek yağış yoğunluğu altında, aşırı veya normal dik eğimli bölgelerde daha iyi tahmin sonuçları verdiğini söylemiştir.

Tayfur ve Guldal (2006) yapmış oldukları çalışmada; nehirlerdeki günlük toplam sediment yükünün (TSS) tahmininde bir yapay sinir ağı (YSA) modelini kullanmışlardır. Bu model ile bir eğitim aracı olarak geri yayılım algoritmasını kullanmışlardır. Ayrıca bu modeli üç katmanlı ileri besleme ağı olarak yapılandırmışlardır. Bu model ile TSS oranlarının tahmini için yağış (P) verilerini girdi olarak kullanmışlardır. Ayrıca ağ eğitim ve test aşamaları için 240 takım veri seti kullanmışlardır. Bu model ile girdi vektöründeki mevcut ve son 4 günlük yağış verilerini kullanarak günlük TSS yüklerini başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir ($R^2 = 0.91$ ve $MAE = 34.22$ mg/L). Aynı zamanda bu model performans olarak iki boyutlu birim sediment grafik teorisine (SD-USGT) dayalı olarak en son geliştirilen doğrusal olmayan kara kutu modeline karşı da test edilmiştir. Sonuç olarak yapay sinir ağlarının 2D-USGT'den çok daha iyi bir performansa sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Azamathulla vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada; Kinta Nehri, Pari Nehri, Kerayong Nehri ve Langat Nehri'nden elde edilmiş toplam 346 yatak yükü verisini yaygın olarak kullanılan dört yatak yükü denklemini kullanarak analiz etmişlerdir. Mevcut denklemlerin ölçülen değerleri mevcut değerinin çok üzerinde tahminler verdiğini söylemişlerdir. Bu nedenle mevcut verileri daha iyi tahmin etmek için

uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) uygulamışlardır. Geliştirdikleri modelin (ANFIS) doğrulaması için Kulim Nehri'nde toplanan yeni yatak yükü verilerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; önerilen model regresyon yöntemine dayalı bir denklem ile karşılaştırıldığında daha iyi tahmin sonuçları verdiğini söylemişlerdir.

Mirbagheri vd., (2010) yapmış oldukları çalışmada; sediment konsantrasyonunu tahmin etmek için dört model düşünmüşlerdir. Bu modeller, yapay sinir ağları (YSA), nöro-bulanık modeli (NF), dalgacık analizi ve nöro-bulanık modeli (WNF) ve konvansiyonel sediment anahtar eğrisi modelidir. Bir USGS ölçüm istasyonundan veriler kullanarak, WNF modeli ile tahmin edilen askıda sediment konsantrasyonu ölçülen verilerle tatmin edici bir uyum içerisinde olduğunu söylemişlerdir. Bu model ile tahmin edilen askıda sediment yükü değerinin diğer modellerin tahmin değerlerine göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir.

Wieprecht vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada; Ren Nehri için yatak yükünü ve toplam yatak malzemesi yükünü tahmin etmek için uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) kullanmışlardır. Sediment taşınımını etkileyen dört ana parametre sırasıyla; 560 ve 510 ölçü yatak yükü ve toplam yatak malzemesi yükü verilerini modelin oluşturulması için kullanmışlardır. Mevcut veri setlerinin üçte ikisini eğitim aşaması için ve üçte birini de test aşaması için kullanmışlardır. Model sonuçlarında; veri tabanlı uyarlamalı ağ tabanlı bulanık modelleme yaklaşımının hem yatak yükü ve hem de toplam yatak malzemesi yükünü tahmin etmek için güçlü bir alternatif olabileceğini söylemişlerdir.

Ebtehaj ve Bonakdari (2014) yapmış oldukları çalışmada; kanalizasyon içerisindeki sediment taşınımını uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) kullanarak incelemişlerdir. Bu amaçla ilk önce sediment, hareket, taşıma, taşıma modu ve akış direnci gibi beş farklı boyutsuz grubu tanıtmışlardır. Daha sonra farklı gruplardaki çeşitli parametrelerin hareket grubunda olan Froude sayısının tahminine etkilerini altı farklı model olarak sunmuşlardır. Daha sonra önerilen modellerin sonuçları ile deneysel verileri ve mevcut denklemleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; ANFIS modellerinin mevcut sediment taşıma denklemlerine göre daha iyi bir alternatif olduğunu söylemişlerdir.

Ghavidel ve Montaseri (2014) yapmış oldukları çalışmada; 18 yıllık bir süre boyunca 7 farklı bölgede nehir suyundaki toplam çözünmüş katı madde miktarını (TDS) yapay zeka yöntemlerini kullanarak tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarını İran kuzeybatısındaki Zarinehroud havzası üzerinde yapmışlardır. Bu havzadan gelen su kalitesi ve akım değişkenlerinin çeşitli kombinasyonlarını içeren 3 farklı model kullanmışlardır. Bunlar; gen ifade programlama (GEP), yapay sinir ağı (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleridir. Bu modelleri toplam çözünmüş katı madde miktarının (TDS) varyasyonlarını tahmin etmek için geliştirmişlerdir. Modellerin doğruluğunu değerlendirmek korelasyon katsayısı (R), karesel ortalama hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) istatistiklerini kullanmışlardır. Karşılaştırmalara göre 3 modelin de toplam çözünmüş katı madde miktarının tahmini için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kitsikoudis vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada; arazi ve laboratuvarlardaki savak verileri ile kum yatağı nehirleri için sediment taşınımı formülleri türetmişlerdir. Aynı zamanda 3 makine öğrenme tekniğini [yapay sinir ağları (YSA), genetik programlama temelli sembolik regresyon ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)] de bu formülleri türetmek için kullanmışlardır. Sonuç olarak; makine öğrenme tekniklerinin yaygın olarak kullanılan sediment taşınım formüllerine göre daha üstün sonuçlar verdiğini söylemişlerdir.

Partovian vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada; daha önceden elde ettikleri işlenmiş verileri Minnesota nehrinin günlük akış-sediment modellemesi için kullanmışlardır. Bu verileri yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modellerine uygulamışlardır. Modelleme performansını değerlendirmek için çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve otomatik regresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modelleri ile karşılaştırmışlardır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda; YSA ve ANFIS'e dayalı akış-sediment modellemesinin performansı sırasıyla %34 ve %25'e kadar çıkabileceğini göstermişlerdir.

Seyedian ve Rouhani (2016) yapmış oldukları çalışmada; ABD'de bulunan dört istasyonda günlük sediment yüklerinin tahmini için uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) yeteneklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak; ANFIS

modelinin RMSE, MBE ve R^2 değerleri açısından sediment anahtar eğrisi (SRC) modeline göre daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir.

Thompson vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada; yapay sinir ağları (YSA) ve gen ifade programlamayı (GEP) kullanarak toplam askıda biriken sediment (TSS) – parçacık büyüklüğü dağılımını (PSD) daha doğru bir şekilde tahmin etme yeteneğine sahip yeni bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Hem ana toprak ve hem de akıştaki TSS-PSD’den her birinin bir log-normal dağılıma uydurularak ldğn söylemişlerdir. Geliştirdikleri modelin mevcut regresyon modellerine göre TSS-PSD’yi daha doğru tahmin ettiğini söylemişlerdir.

Buyukyildiz ve Kumcu (2017) yapmış oldukları çalışmada; oruh Nehri zerindeki 2316 nolu ölçüm istasyonundaki askıda biriken sediment yükü (SSL) tahmini için çalışmışlardır. Bu çalışmada destek vektör makinesi (SVM), yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modellerinin yeteneklerini araştırmışlardır. Model girdisi olarak akarsu akışının ve SSL’nin farklı kombinasyonlarını kullanmışlardır. Sonuçların doğruluğunu, korelasyon katsayısı analizi sonuçları ile karşılaştırmışlardır ve en iyi kombinasyonu da belirlemişlerdir.

Ebtehaj ve Bonakdari (2017) yapmış oldukları çalışmada; diferansiyel evrimsel algoritmaya (ANFIS-DE) dayanan yeni bir hibrid ANFIS yöntemi geliştirmişlerdir. ANFIS-DE’nin eğitim ve test performansını literatürden topladıkları çok çeşitli boyutsuz parametreler kullanarak değerlendirmişlerdir. Test sonuçlarını ANFIS modeli ve regresyon tabanlı denklem sonuçları ile karşılaştırmışlardır. ANFIS-DE tekniği, ANFIS modeline ve regresyon tabanlı denklemlere göre ortalama karesel hata (RMSE=0.323) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE=0.065) ile çökelti sınırında sediment taşınımını daha düşük tahmin ettiğini söylemişlerdir. Doğrulukta ($R^2= 0.965$) ise çökelti sınırında sediment taşınımını diğer modellere göre daha yüksek tahmin ettiğini söylemişlerdir.

Gunawan vd. (2017) yapay sinir ağı (YSA) yöntemini kullanarak sediment yükü verilerine karşı sediment parametresi ve hidrolik parametre verileri ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yöntem olarak Geri yayılım sinir ağı (BPNN) şemasını kullanmışlardır. Sonuç olarak; BPNN modelinin korelasyon katsayısı (R) ve ortalama karesel hatanın

(MSE) kararlılığı ile bilinen hesaplama yöntemlerine göre makul ölçüde daha iyi performans sergilediğini söylemişlerdir.

Sari vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada; askıda biriken sediment konsantrasyonunu (SSC) tahmin etmek için bir yapay sinir ağı (YSA) modelinin kullanımını araştırmışlardır. Haziran 2013- Ekim 2015 arasında elde edilen 59 SSC değeri ile ilgili bulanıklık ve su seviyesi verilerini kullanmışlardır. Önerilen YSA'nın gelişimi öncesinde yeni kaynak kullanılmaksızın bir YSA eğitiminin verildiğini söylemişlerdir. Bununla birlikte Nash-Sutcliffe (NS) verimi, eğitimde $NS=0.995$ 'e ve doğrulamada $NS=0.788$ 'e eşit olduğunu söylemişlerdir. Elde ettikleri son modelde eğitim ve doğrulama prosedürleri için çok az örnek mevcuttur. Buna rağmen su seviyesi ve bulanıklık verilerini kullanarak SSC hesaplamasını kolaylaştırmışlardır.

Sirabahenda vd. (2017) tarımın etkilediği su havzalarındaki askıda sediment konsantrasyonlarının tahmini için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) kullanmışlardır. ANFIS modelini yağış, yüzey akışı, akış ve su havzası hasar görebilirlik indeksi gibi farklı girdilerin kombinasyonlarını kullanarak geliştirmişlerdir. Aynı zamanda çalışılan tüm havzalardaki veri setlerini birleştiren çok havzalı bir ANFIS modeli de geliştirmişlerdir. En iyi sonuçları girdi değişkeni olarak yağış, akış ve havza hasar görebilirlik indeksinin birleşiminden elde etmişlerdir.

Ulke vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada; Ege Bölgesi'ndeki 3 büyük nehirdeki askıda biriken sediment yüklerini (SSL) tahmin etmek için dört temel ampirik yöntemin (Lane ve Kalinske, Einstein, Brooks, Chang-Simons Richardson) uygunluğunu araştırmışlardır. Bu modellerin performans testi için 1975'ten 2005'e kadar ölçülen verileri kullanmışlardır. Brooks metodunun tahmin konusunda diğer metodlara göre daha iyi bir performans sergilediğini söylemişlerdir. Brooks metodunun tahmin sonuçları genetik algoritmanın (GA-Brooks) bir uygunluk parametresini optimize ederek geliştirmişlerdir. Bununla birlikte aynı nehirler için yapay sinir ağı (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri ile karşılaştırılabilir bir performans göstermesiyle daha da geliştirmişlerdir. Sonuç olarak; GA-Brooks, YSA ve ANFIS modelleri ile bölgesel ölçekte yüklerin tahmin edilebileceğini söylemişlerdir.

Zounemat-Kermani (2017) yapmış olduğu çalışmada; akarsu akışındaki askıda biriken sediment konsantrasyonunu (SSC) tahmin etmek için birkaç veriye dayalı yöntem kullanmıştır. Bu yöntemler; Levenberg-Marquardt (YSA-LM), parçacık sürü optimizasyonu öğrenme algoritmaları (YSA-PSO), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve gen ifade programlama (GEP) yöntemleridir. Farklı modellerin elde edilen sonuçlarını karesel ortalama hata (RMSE), Pearson'un korelasyon katsayısı (PCC) ve logaritmik değerler (E_{ln}) ile Nash-Sutcliffe verimini kullanarak karşılaştırmıştır. ANFIS modeli günlük SSC değerlerinde (RMSE değeri en az = 10.5 mg/l) biraz daha iyi uyum sağladığını söylemiştir. YSA-PSO'un ise E_{ln} kriterlerine göre üstünlük gösterdiğini söylemiştir (En yüksek E_{ln} değeri = 0.885).

Meral vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada; farklı yapay sinir ağı (YSA) modelleri ile mevcut yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla bulanıklık ve akustik geri saçılma sinyali (ABS) değerlerini kullanmışlardır. Kullanılan bu modeller çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal bazlı sinir ağları (RBNN) ve genel regresyon sinir ağıdır (GRNN). Ölçümleri iki farklı sediment büyüklüğü (<50 μm ve 50-100 μm) ve konsantrasyonları (0.0-6.0 g.L⁻¹) için dikey bir sediment kulesinden almışlardır. Regresyon analizlerinin sonuçlarında bu iki grubun sediment konsantrasyonları ile güçlü ilişkilerinin olduğunu tespit etmişlerdir ($R^2=0.937$ ve 0.967). Her ne kadar ABS değerleri 50-100 μm grubu için makul bir R^2 değerine (0.873) sahip olsa da, <50 μm grubu regresyon analizleri ile anlamlı bir R^2 değerinin üretilmediğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte MLP modeliyle en yüksek R^2 değeri (0.917) elde etmişlerdir ve bulanıklık girdisi ile daha çok geliştirmişlerdir ($R^2 = 0.999$ 'a kadar). Sonuç olarak farklı parçacık büyüklüğü koşullarında askıda biriken sediment konsantrasyonu tahmininde yapay sinir ağı (YSA) modelinin alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Choubin vd., (2018) yapmış oldukları çalışmada; hidro meteorolojik veriler baz alınarak askıda sediment yükünü (SSL) tahmin etmek için regresyon ağacı (CART) modelinin kullanımını değerlendirmişlerdir. Ayrıca CART modelinin doğruluğunu, uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), çok katmanlı algılayıcı (MLP) sinir ağı ve iki destek vektör makinesi çekirdeği (RBF-SVM ve P-SVM) modelleri ile karşılaştırmışlardır. Modelleri, Kuzey İran'daki Haraz Havzası'ndaki Kareh-Sang Nehri ölçüm istasyonu için nehir debisi, yağış ve aylık SSL verilerini kullanarak

kalibre etmişlerdir. Modellerin kapasitesini değerlendirmek için Nash-Sutcliffe verimi (NSE), Kling-Guptaa verimliliği (KGE) ve yüzde önyargı (PBIAS) gibi farklı istatistikler kullanmışlardır. Sonuç olarak CART modelinin SSL tahmininde en iyi performansı sergilediğini söylemişlerdir.

Samantaray ve Ghose (2018) yapmış oldukları çalışmada; sediment yükünün hesaplanması konusunda sediment taşınımı ile ilgili denklemler kullanmışlardır. Askıda sediment yükünün simülasyonu için kara kutu modelleri ve yapay sinir ağı (YSA) modelini kullanmışlardır. Bu nedenle en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerlerini veren modelleri çalıştıkları bu model için en iyi model olarak kabul etmişlerdir. İleri besleme geri yayılım (FFBP), kademeli ileri-geri yayılımı (CFBP) ve sinir ağı bağlantısı için normalize edilmiş verilere dayanan RMSE'nin en düşük değerleri sırasıyla 0.00873, 0.00834 ve 0.01193 olduğunu söylemişlerdir. R^2 'nin mukabil değerleri belirtilen MSE için sırasıyla 0.9304, 0.9713 ve 0.9831 olduğunu söylemişlerdir. Yapmış oldukları çalışma ile yapay sinir bağlantı modelinin (NNF) diğer modellerden üstün olduğunu göstermişlerdir.

3. AKARSULARDA SEDİMENT (KATI MADDE) HAREKETİ

3.1. Genel Bilgiler

Akarsular suyun hareketinden dolayı beraberinde katı maddeler taşırlar. Bu katı maddelerin oluşumunda hem akarsu havzasındaki erozyon hem de akarsu yatağındaki aşınmalar etkili olur. Akarsu yataklarında meydana gelen aşınmalar o bölgelerde bir takım oyulmaların oluşmasına neden olur. Akarsuların eğimlerinin azaldığı bölgelerde akımın sürüklenme gücü azalır. Bu nedenle katı maddelerin bir kısmı bu bölgelerde tabana çöker ve o bölgelerde yığılmalara sebep olur. Bu katı maddelerin yığılmaları sonucunda akarsuların morfolojisinde değişiklikler olur ve akarsuların üzerinde inşa edilen yapılar sağlamlık yönünden zarar görür. Bununla birlikte su kalitesi de etkilenir.

3.2. Sedimentlerin (Katı Maddelerin) Sınıflandırılması

Akarsulardaki su hareketinden dolayı oluşan katı maddeler iki grupta incelenir;

- Taşınan malzemenin kaynağına göre sınıflandırma
 - Yatak Malzemesi: Hareketli tabanı oluşturan malzemedir. Yatak malzemesinin kaynağını kanal erozyonu (iri danelerin akarsu yatağından sökülmesi) oluşturur.
 - Yıkanmış Malzeme: Yatak malzemesine göre daha ince olan malzemelerdir ve büyük bir bölümü hava erozyonuyla gelen malzemelerdir. Yıkanmış malzemenin kaynağını tabaka erozyonu (ince danelerin sökülmesi) oluşturur.
- Akarsulardaki taşınma şekillerine göre sınıflandırma
 - Askı Maddesi: Su içerisinde asılı bir şekilde hareket eden maddelerdir. Hem yıkanmış malzemeden hem de yatak malzemesinden oluşur.
 - Sürüntü Maddesi: Akarsu taban bölgesinde hem yuvarlanarak hem de kayarak hareket eden malzemelerdir. Taban bölgelerinde sıçrayarak hareket eden maddeler de bu madde sınıfına girer. Sadece yatak malzemesinden oluşur.

Katı madde hareketi hem akım durumuna hem de dane çapına bağlıdır. Akımın hızlı olduğu bir bölgede askıda ilerleyen bir parçacık akım hızının daha durgun olduğu bir bölgede sürüntü maddesi durumuna geçebilir. Denklem (3.1)'deki ifadeyi 360 yapan çap bu durumda sürüntü maddesi ile askı maddesini ayırmaya yarayan bir denklem olarak kullanılmaktadır (Özbek ve Özcan, 2001). Şekil 3.1'de sedimentin hem taşınma şekline hem de taşınan malzemelerin kaynağına göre dağılımı görülmektedir.

$$Fr^2 = \frac{V^2}{gD} \quad (3.1)$$

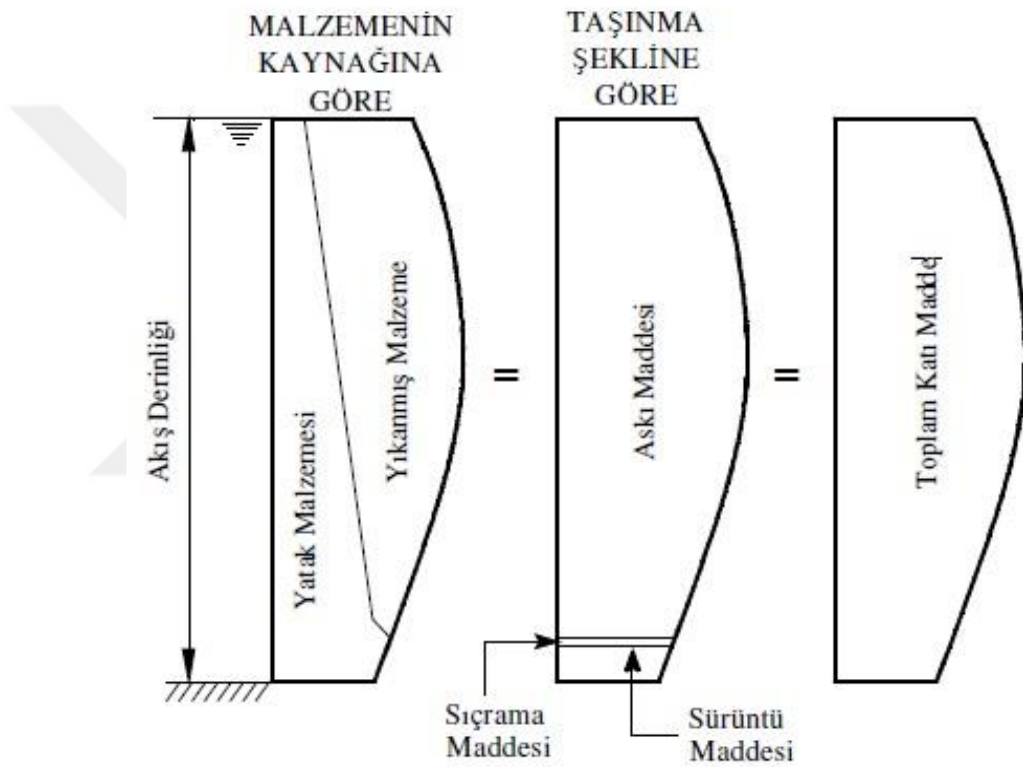
Bu denklemde;

Fr: Froude sayısını,

V: Hızı,

g: Yerçekimi ivmesini,

D: Dane çapını ifade eder.



Şekil 3.1. Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı (Özbek ve Özcan, 2001)

Akarsulardaki katı madde hareketi incelenirken akarsudaki taşınma şekline göre yapılan sınıflandırma diğer gruba göre daha çok kullanılır. Sınıflandırmaya giren katı maddelerin (askı maddesi ve sürüntü maddesi) toplamına “toplam katı madde” denir. Taşınan katı madde miktarı birim zamanda taşınan kuru hacim (m^3/sn) veya birim zamanda taşınan kuru ağırlık (kg/sn) olarak ifade edilir. Katı madde konsantrasyonu ise askı maddesi miktarının su ve askı maddesi karışımı oranına denir. Katı madde konsantrasyonu milyonda bir anlamına gelen “ppm” ile gösterilir. Konsantrasyon

milyon metreküpte metreküp anlamına gelen ($m^3/10^6 m^3$) veya litrede miligram anlamına gelen (mg/l) birimleri ile verilir (Ağıralioğlu ve Erkek, 1998).

3.3. Sedimentlerin (Katı Maddelerin) Özellikleri

Akarsu morfolojisinin oluşumunda kohezyonlu ve kohezyonsuz maddeler etkili olur. Kohezyonsuz parçacıkların arasında herhangi bir kimyasal etkileşim yoktur. Kohezyonlu parçacıklarda ise daneler arasında hem fiziksel hem de kimyasal etkileşimler rol oynar. Akarsu içerisinde su ve sedimentler beraber hareket ederler. Bu nedenle hem suyun hem de sedimentlerin karakteristik özelliklerini bilmek gerekir.

3.3.1. Kohezyonsuz sedimentlerin (katı maddelerin) karakteristikleri

Kohezyonsuz katı maddelerin tanımlanmasında dane çapı, dane biçimi, dane özgül ağırlığı, dane granülometri eğrisi ve dane çökme hızı gibi parametreler etkin bir rol oynar.

- **Dane çapı (d):** Sedimentlerin en önemli özelliklerinden biridir. Elek çapı, nominal çap ve katı madde çapı olmak üzere üç farklı dane çapı tanımlanır. Elek çapı; danelerin içerisinde geçebileceği çaptır. Nominal çap; hacmi küre hacmine eşit olan dane çapıdır. Katı madde çapı ise aynı akışkan içinde çökme hızı ile özgül ağırlığı danenin çökme hızı ile özgül ağırlığına eşit olan kürenin çapıdır.
- **Dane biçimi:** Danelerin biçimi aşağıdaki üç özellik ile karakterize edilir;

Şekil faktörü; danenin birbirine dik eksenler üzerinde en uzun boyutu 'a', orta boyutu 'b' ve en kısa boyutu 'c' olmak üzere, şekil faktörü (ŞF) aşağıdaki gibi tanımlanır (Dietrich, 1982):

$$ŞF = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (3.2)$$

Küresellik; hacimleri eşit olan bir küre ile danenin yüzey alanlarının oranına denir.

Yuvarlaklık; danenin ortalama eğrilik çapı ile danenin izdüşüm alanı içerisinde çizilen herhangi bir danenin yarıçapının oranıdır.

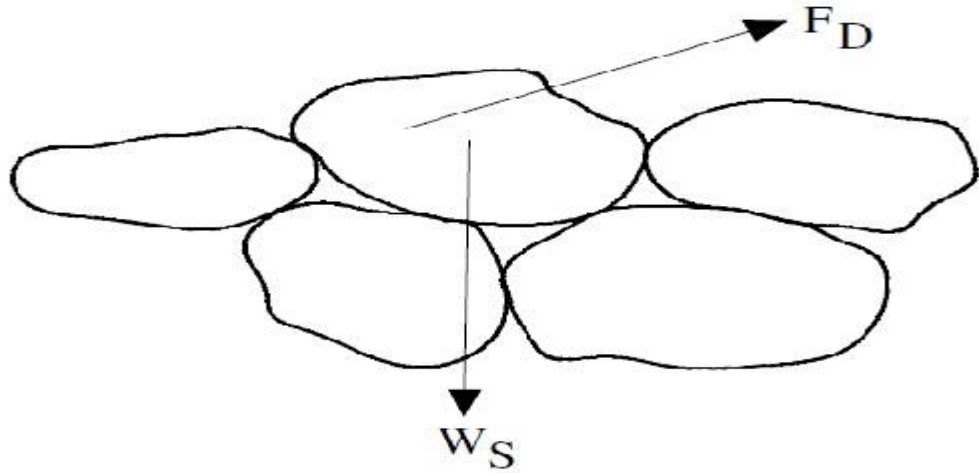
- **Dane özgül ağırlığı (γ_s):** Danenin birim hacmine düşen ağırlığıdır. Sediment danesinin özgül ağırlığı Denklem (3.3) ve sedimentin su içerisindeki özgül ağırlığı (Δ) ise Denklem (3.4)'deki gibi tanımlanır:

$$\gamma_s = g * \rho_s \quad (3.3)$$

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (3.4)$$

Burada; g yerçekimi ivmesidir. ρ_s ise birim hacimdeki sedimentin özgül kütlesidir.

- **Granülometri eğrisi:** Malzeme çapı yatay eksen, elekten geçen malzemenin yüzdesi ise düşey eksenle gösterilerek granülometri eğrisi çizilir. Dane dağılımı histogramının kümülatif toplamı ile elde edilir. Katı madde taşınımında bazı çaplar (d_{90} , d_{65} , d_{35} , d_{50}) büyük önem taşır ve bu bilgiler de granülometri eğrisinden elde edilir.



Şekil 3.2. Denge halinde olan bir sediment danesi (Özbek ve Özcan, 2001)

- **Çökme hızı (ω):** Hem askı maddesi hareketinin incelenmesinde ve hem de akarsulardaki sediment yığılma problemlerinin çözümünde kullanılan önemli bir parametredir. Su içerisinde atılan danelerin hızı zamanla artış gösterir ve sabit bir değere ulaşır. Bu sabit değer ise danenin çökme hızı olarak tanımlanır. Dane çapı, su sıcaklığı ve biçim faktörü gibi farklı karakteristik değerler çökme hızını

etkiler (Bayazıt, 1971). Şekil 3.2’de dengede olan bir sediment danesine etki eden kuvvetler gösterilmektedir.

Buna göre bir sediment danesine etki eden sürüklenme kuvveti Denklem 3.5’de verilmiştir (Özbek ve Özcan, 2001). Şekil 3.2’de W_s ağırlık kuvvetini gösterir.

$$F_D = C_D * \rho * A * \frac{\omega^2}{2} \quad (3.5)$$

Bu denklemde;

A; parçacığın çökelme yönündeki alanını,

ω ; çökelme hızını,

C_D ; akımın sürüklenme katsayısını gösterir.

Danenin su içerisindeki ağırlığı ise Denklem 3.6’da verilmiştir (Özbek ve Özcan, 2001);

$$W_s = \frac{4}{3} * \pi * d^3 * (\rho_s - \rho) * g \quad (3.6)$$

Bu denklemde;

d; dane çapını,

ρ ; suyun özgül kütleini,

ρ_s ; danenin özgül kütleini,

g; yerçekimi ivmesini ifade eder.

3.3.2. Akım karakteristikleri

- **Özgül kütle (ρ):** Suyun birim hacmine düşen kütesidir. “ ρ ” ile gösterilir. Suyun yoğunluğu olarak da bilinir. Yoğunluk sıcaklığa göre değişiklik gösterir. Sıcaklık

ile hacim doğru orantılıdır. Sıcaklık arttığı zaman genleşmeden ötürü hacim de artacağı için yoğunluk azalır.

- **Özgül ağırlık (γ):** Suyun birim hacmine düşen ağırlığıdır.
- **Elastisite modülü (E):** Yük altında malzemenin elastik şekil değiştirmesini ifade eder. “Young modülü” olarak da ifade edilebilir. Elastisite modülü ile malzemeye etki eden yük (kuvvet) doğru orantılıdır.
- **Yüzeysel gerilme:** Sıvının yüzey katmanının esnek bir zar gibi davranmasına yol açan etkidir. Sıvının türü ve sıcaklık yüzeysel gerilimi etkiler.
- **Kinematik viskozite (ν):** Akışkanın dinamik viskozitesi ile aynı sıcaklıktaki sıvı yoğunluğuna oranına denir. Birimi “m²/s” dir.
- **Buharlaşma basıncı:** Yüzeyden buharlaşan sıvı moleküllerinin uyguladığı basınca sıvıların buhar basıncı denir. Buharlaşma sıvının yüzey tabakasında meydana gelir. Sıcaklık ile doğru orantılıdır.

Akım karakteristiklerinin 20 °C sıcaklıktaki sayısal değerleri Çizelge 3.1’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Akım karakteristikleri (Özbek ve Özcan, 2001)

	Formülasyon	Değeri
Özgül kütle (20 °C)	$\rho = m/V$	1000 kg/m ³ = 1 ton/m ³
Özgül ağırlık	$\gamma = g * \rho$	9.81 kN/m ³ ; 9.81 kPa/m
Elastisite modülü (20 °C)	$E = dP/(dV/V)$	2.1 * 10 ⁹ Pa
Yüzeysel gerilme	N/m	73 N/m
Kinematik viskozite (20 °C)	$\nu = \mu / \rho$	1.007 * 10 ⁶ m ² /s
Buharlaşma basıncı (20 °C)	kN/m ²	2.5 kN/m ²

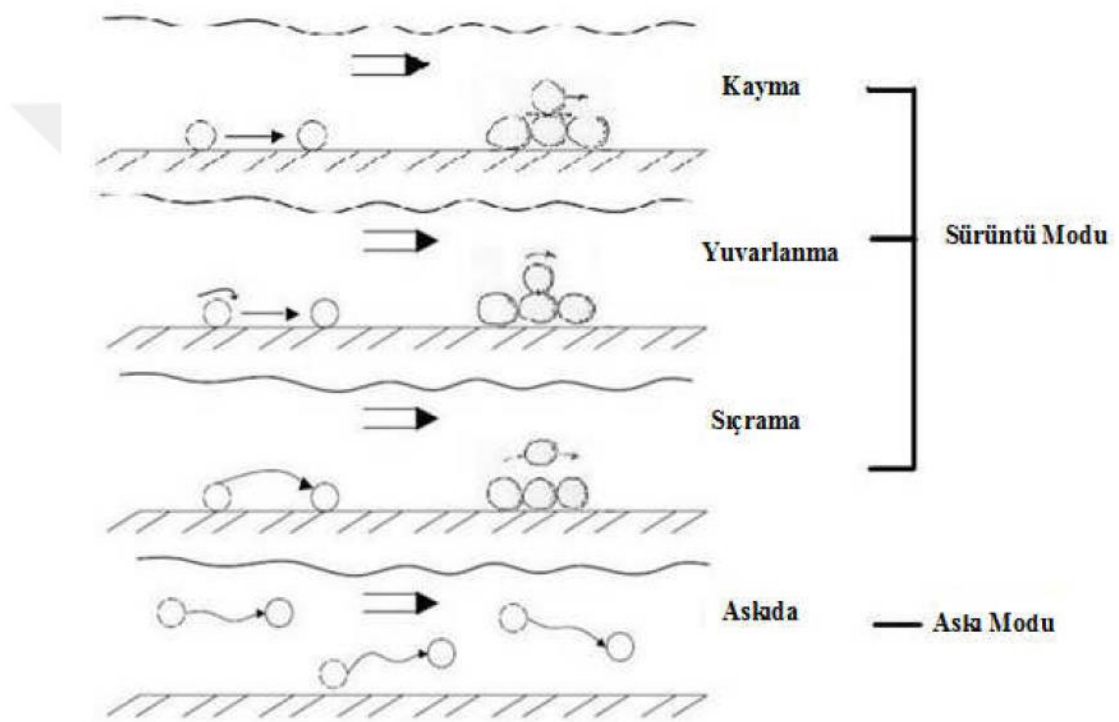
3.4. Sediment Taşınım Modları

Sediment taşınım modları iki grupta incelenir:

- **Sürüntü ve sıçrama modu:** Akıntı veya dalgaların sebep olduğu akım, hareketin başlangıç koşullarını aştığı zaman kum sürüntü modunda hareket eder. Sürüntü modu tabanla temas edecek şekilde gerçekleşir ve kayma, sıçrama ve yuvarlanma halinde meydana gelmektedir (Yüksel, 2005).
- **Askı modu:** Akarsu içerisinde akım hızını daha yüksek olduğu durumlarda tanelerin hareketi de daha çok şiddetlenir. Düşey türbülans olan bölgelerde bazı taneler taban bölgesinden daha uzakta hareketlerine devam ederler. Buna “askı

hareketi” denir. Akarsu içerisinde askı modunda hareket eden tanelerin hızları o noktadaki akımın hızına eşit olmaktadır.

Sediment taşınımında bu iki hareket modu çok önemlidir ve bu iki hareketi birbirinden ayırmak çok zordur. Askı modunda taşınan malzemeler genellikle çok ince taneli olmaktadır. Ancak yüksek eğimli ve hızı çok yüksek olan bir akarsuda, çok iri tanelerin de askıda taşındığı görülebilir (Bayazıt, 1971). Sediment taşınım modları Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Sediment taşınım modları (Yang, 1996)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Çalışma alanı ve özellikleri

Bu tez çalışmasında, Fırat Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Fırat Nehri hem Güneybatı Asya'nın ve hem de Türkiye'nin en geniş drenaj sahasına sahip bir akarsudur. Doğu Anadolu Bölgesindeki kaynağının üç bin metre yükseltisi vardır. Fırat Nehri Türkiye'de birkaç ilin sınırını belirler. Bunlar Erzincan, Elazığ, Malatya, Tunceli, Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep ve Şanlıurfa illeridir. Türkiye'de bu illerin sınırlarından sonra Suriye, daha sonra Irak topraklarına girer. Fırat Nehri iki ana kol (Murat-Karasu) ile birlikte onlarca yan koldan beslenir. Murat Nehri bu kollar arasında en önemli yeri kapsamaktadır. Ağrı Dağı eteklerinden doğan Murat Nehri, güneybatıya doğru yaklaşık olarak 500 km akış gösterir ve daha sonra kuzeyden gelen Karasu Nehri ile Keban Barajı'nın yaklaşık olarak 10 km kuzeyinde birleşir (Yıldırım, 2006).

Fırat Nehri'nin toplam uzunluğu 2800 km'dir. Türkiye sınırları içerisinde bulunan bölümünün uzunluğu ise 1263 km'dir. Ayrıca 720 000 km² su toplama havzasına sahiptir. Fırat Nehri'nin ortalama yıllık akımı ise 30 milyar m³ civarındadır. Bu akımın %80'i Keban barajının kuzeyindeki havzadan kaynaklanır. Kışın debi 200 m³/sn, ilkbaharda ise debi 2000 m³/sn'dir. Kışın debinin az olmasının sebebi; yağışların kar şeklinde olmasıdır. İlkbaharda yağmurlar ve karın da erimesi sebebiyle debi hızlı bir şekilde yükselme göstermektedir. Yazın temmuz ayından itibaren azalmaya başlayan su en düşük seviyeye Eylül-Ekim aylarında ulaşır (Yıldırım, 2006). Fırat Havzası hem 127 304 km²'lik yüzölçümü hem de 1009.87 m'lik ortalama yüksekliği ile Türkiye'nin en büyük su havzasıdır (Eİİİ, 2000).

Fırat Nehri üzerinde beş adet HES barajı inşa edilmiştir. Bu barajlar toplam 6.396 MW kurulu güce sahiptirler. Bu hidroelektrik santraller ile Türkiye'deki HES'lerden üretilen elektriğin yaklaşık %30.832 oranı karşılanır. Toplam elektrik tüketiminin ise %8.288 oranı karşılanır. Fırat Nehri boyunca inşa edilen barajlar aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Fırat Nehri üzerinde inşa edilen Barajlar ve HES'ler
(<http://www.enerjiatlası.com/akarsular/firat-nehri.html>)

Santral (HES'LER)	İl/İlçe	Maksimum İşletme Seviyesi (m)	Minimum Kuyruk Suyu Kotu (m)	Kurulu Güç (MW)
1.Keban Barajı	Elazığ/Keban	845	693	1.330
2.Karakaya Barajı	Diyarbakır/Çüngüş	693		1.800
3.Atatürk Barajı	Şanlıurfa/Bozova	542	340	2.405
4.Birecik Barajı	Şanlıurfa/Birecik	385		672
5.Karkamış Barajı	Gaziantep/Karkamış	340		189

4.1.2. Çalışmada kullanılan veriler

Fırat Havzası; Aşağı Fırat, Orta Fırat ve Yukarı Fırat olmak üzere kendi içerisinde üçe ayrılmıştır (Şekil 4.1).

Akarsulardaki sediment taşınımında kullanılmak üzere, akım gözlem istasyonları (AGİ) ve bu istasyonlara ait gözlem değerleri incelenmiştir. Bu tez çalışmasında Fırat Havzası'ndaki akım gözlem istasyonlarından üç adet istasyon seçilmiştir. Bu istasyonlar; 2102 numaralı Murat Nehri Palu istasyonu, 2164 numaralı Göynük Çayı Çayağzı istasyonu ve 2166 numaralı Peri Suyu Loğmar istasyonudur.

Bu istasyonlardan debi (Q), sıcaklık (°C) ve sediment miktarı verileri alınmıştır. Bu istasyonlardaki verilerden; 2102 numaralı istasyonda 1993 ile 2005 yılları arasında debi, sıcaklık ve sediment verilerinin her birinden 154'er adet veri bulunmaktadır. 2164 numaralı istasyonda 1993 ile 2005 yılları arasında debi, sıcaklık ve sediment verilerinden 146'şar adet veri bulunmaktadır. 2166 numaralı istasyonda ise 1994 ile 2000 yılları arasında debi, sıcaklık ve sediment verilerinden 76'şar adet veri bulunmaktadır. Bu akım verileri EİEİ'den temin edilmiştir. Ayrıca her bir istasyonda girdi olarak kullanılmak üzere Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü'nden yağış verileri de temin edilmiştir.

- 2102 nolu istasyon 38° 41' 49'' kuzey ve 39° 56' 22'' doğu koordinatlarında, deniz seviyesinden 859 m yükseklikte ve 25515,6 km² alana sahiptir. Çizelge 4.2'de 2102 numaralı istasyonun istatistikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. 2102 numaralı Murat Nehri – Palu istasyonu

2102 - Murat Nehri - Palu İstasyonu				
	Yağış (mm)	Debi (m³/sn)	Sıcaklık (°C)	Sediment Konsantrasyonu (ppm)
Ortalama	1.27	243.42	13.12	609.55
Standart Hata	0.28	28.42	0.63	80.49
Ortanca	0.00	92.21	13.00	152.42
Standart Sapma	3.49	352.67	7.85	998.87
Örnek Varyans	12.18	124372.97	61.56	997734.79
Basıklık	23.69	9.56	-1.18	8.56
Çarpıklık	4.35	2.78	0.04	2.76
Aralık	27.20	2274.96	29.00	5649.69
En Büyük	27.20	2289.29	29.00	5670.62
En Küçük	0.00	14.33	0.00	20.93
Toplam	195.30	37486.92	2021.00	93871.03
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	0.56	56.14	1.25	159.02

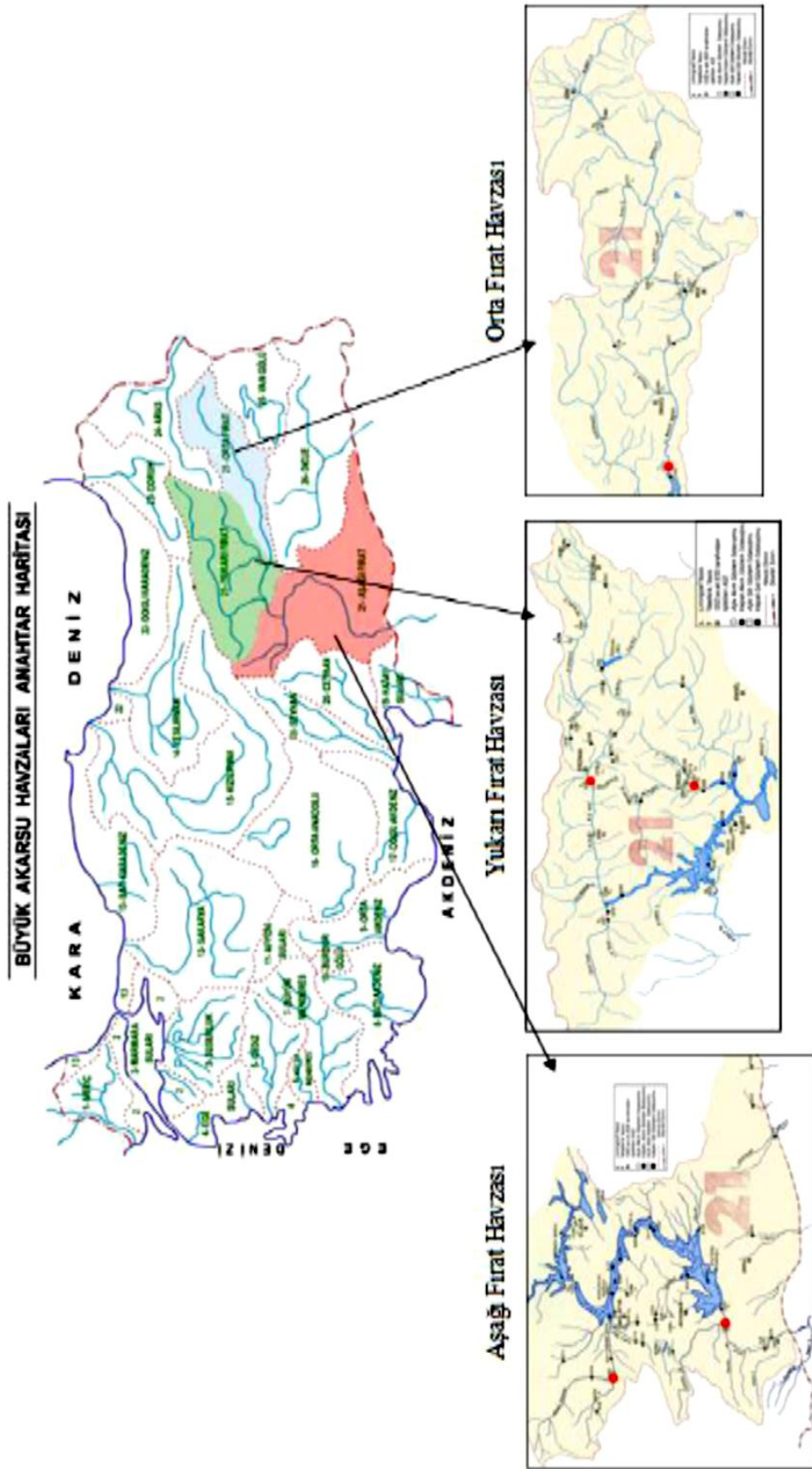
Çizelge 4.3. 2164 numaralı Göynük Çayı - Çayağzı istasyonu

2164 - Göynük Çayı - Çayağzı İstasyonu				
	Yağış (mm)	Debi (m³/sn)	Sıcaklık (°C)	Sediment Konsantrasyonu (ppm)
Ortalama	3.12	31.01	13.04	31.02
Standart Hata	0.71	3.79	0.60	3.59
Ortanca	0.00	10.80	12.00	6.24
Standart Sapma	8.59	45.81	7.25	43.36
Örnek Varyans	73.72	2098.62	52.58	1880.26
Basıklık	19.21	4.54	-1.15	3.36
Çarpıklık	4.06	2.21	0.21	1.83
Aralık	60.20	219.54	26.00	225.41
En Büyük	60.20	220.77	27.00	225.88
En Küçük	0.00	1.23	1.00	0.47
Toplam	455.20	4527.96	1904.00	4529.41
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	1.40	7.49	1.19	7.09

- 2164 nolu istasyon 38° 48' 06'' kuzey ve 40° 33' 32'' doğu koordinatlarında, deniz seviyesinden 998 m yükseklikte ve 2232,0 km² alana sahiptir. Çizelge 4.3'te 2164 numaralı istasyonun istatistikleri gösterilmiştir.
- 2166 nolu istasyon 38° 51' 31'' kuzey ve 39° 48' 50'' doğu koordinatlarında, deniz seviyesinden 847 m yükseklikte ve 5385,8 km² alana sahiptir. Çizelge 4.4'de 2166 numaralı istasyonun istatistikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. 2166 numaralı Peri Suyu - Loğmar istasyonu

2166 - Peri Suyu - Loğmar İstasyonu				
	Yağış (mm)	Debi (m³/sn)	Sıcaklık (°C)	Sediment Konsantrasyonu (ppm)
Ortalama	1.57	66.71	12.58	455.64
Standart Hata	0.51	9.18	0.84	89.01
Ortanca	0.00	33.76	11.50	108.85
Standart Sapma	4.40	80.05	7.33	776.00
Örnek Varyans	19.39	6408.46	53.74	602178.75
Basıklık	11.94	4.58	-1.08	6.17
Çarpıklık	3.41	2.10	0.13	2.57
Aralık	23.90	391.72	25.00	3484.90
En Büyük	23.90	393.64	25.00	3499.20
En Küçük	0.00	1.93	0.00	14.30
Toplam	119.40	5070.23	956.00	34628.40
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	1.01	18.29	1.68	177.32



Şekil 4.1. Fırat Havzası haritası (Gümüş, 2006)

4.2. Yöntem

Yapılan çalışmanın bu bölümünde yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), çoklu doğrusal regresyon analizi ve EİE gözlem sonuçları ile hesaplama yöntemleri ile ilgili temel ve teorik bilgiler anlatılmıştır.

4.2.1. Yapay sinir ağları (YSA)

Yapay zekâ (AI), bilgisayar teknolojisinde hem çok yönlü hem de potansiyeli olan bir alandır. Bilgisayar kullanıcılarının çeşitli alanlarda algoritmik yaklaşımları kullanarak formüle edemediği ve hem insan zekâsı hem de uzmanlık gerektiren problemleri çözmelerini sağlar. Yapay sinir ağları (YSA), yapay zekânın bilinen en iyi belirtilerinden biridir. Günümüzde yapay sinir ağları pek çok profesyonel alanda kabul görmüştür (Fausett, 1994).

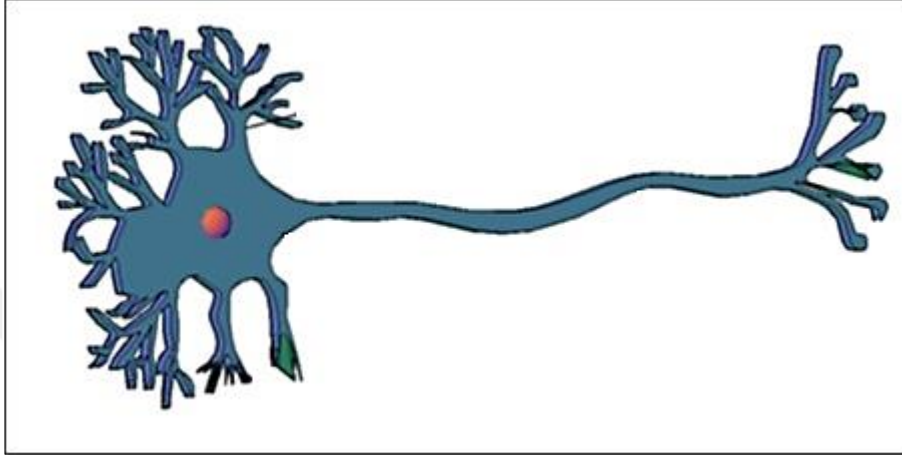
İnsanlar binlerce yıl boyunca insan beyni ile ilgili çalışmalar yapmışlar. Teknolojinin de giderek gelişmesinden dolayı modern elektronik cihazlar kullanılmaya başlanmış ve insan beyni ile ilgili yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır. Yapay sinirler üzerinde ilk çalışma McCulloch ve arkadaşları (1943) tarafından yapılmıştır ve elektrik devreleri üzerinde çalışma yaparak basit yapay sinirler modellemiştir. 1959'da, Widrow ve Hoff (1960) ADALINE ve MADALINE isimli metotları geliştirmişlerdir. MADALINE metodu dünya üzerinde gerçekliği kabul edilmiş problemlerin çözümünde kullanılan ilk yapay sinir ağı modelidir (Saplıoğlu ve Çimen, 2010).

Yapay sinir ağları; ilk önce örnekler üzerinden olaylar arasındaki ilişkileri öğrenir. Daha sonra bu örneklerden edindiği bilgiler doğrultusunda hiç bilmediği veya görmediği örnekler hakkında karar veren sistemlerdir. Başka bir deyişle yapay sinir ağları öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren bilgisayar sistemleridir.

4.2.1.1. Yapay sinir ağlarının yapısı

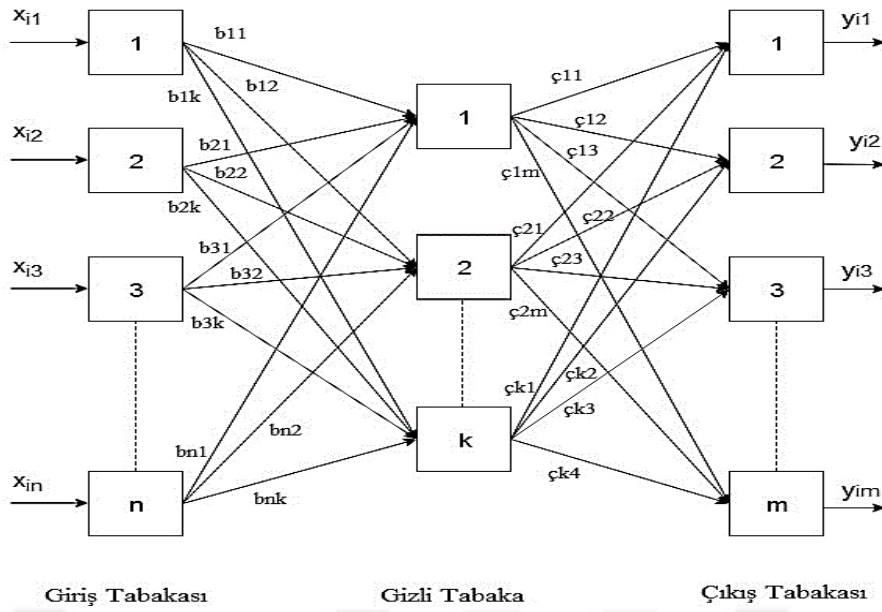
YSA, akıllı bir program oluşturmayı amaçlayan bir tekniktir ve bunu da insan beyninde bulunan nöronların çalışma ağlarını simüle eden modelleri kullanarak yapar (Şekil 4.2). YSA'lar hem keskin bir veriye sahip değildirler hem de tanıtılan veri

kümesine göre çıktılar sağlarlar. Bu yönüyle geleneksel hesaplama programlarından farklıdır. Programa tanımlanan veriler ve koşullar, çeşitli eğitim ve öğrenim metotları yardımıyla işleme alınmaktadır. Bu işlemlerin çıktılarının yardımı sayesinde program veriler ile sinirsel yapılar arasındaki ağırlıkları ayırır. Daha sonra farklı durum ve verilere gelindiği zaman hem durumlar yorumlanır hem de daha önceki öğrenmelere göre sonuçlar sunulur (Şen, 2004).S



Şekil 4.2. Biyolojik bir sinir hücresi yapısı (Avcar ve Saplioglu, 2015)

YSA ağı iki bölümde incelenebilir. Bu bölümlerden biri YSA'nın yapısı diğeri ise bu yapının işleminde etkin rol oynayan matematiksel fonksiyonlardır. YSA yapısı girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katmandan oluşur (Şekil 4.3). Bu katmanlardaki sinir hücreleri ile bu katmanlar arasındaki bağlantıya göre oluşmaktadır. Gizli hücreler içerisinde tetikleme işlemcisi bulunur. YSA'nın işleyişi, iki matematiksel işleve sahip iç ve dış işlemciler olarak düşünülebilir. Gizli tabakada bulunan işlemciler tarafından YSA'nın iç işleyişi gerçekleştirilmektedir. Dış işleyişi ise öncelikle ardışık tabaka hücreleri arasında bulunan değerlerin atanması yapılmaktadır. Daha sonra çıktıların tahmininde hatanın geri besleme vb. işlemler ile en aza indirilerek yenilenmesi sonucunda meydana gelmektedir. Bu matematiksel işlemler, YSA'nın öğrenme, hatırlama, eğitime, sık sık yeni bilgileri tanıma ve ağ bağlantılarını yenileme görevlerini üstlenmektedirler (Şen, 2004).

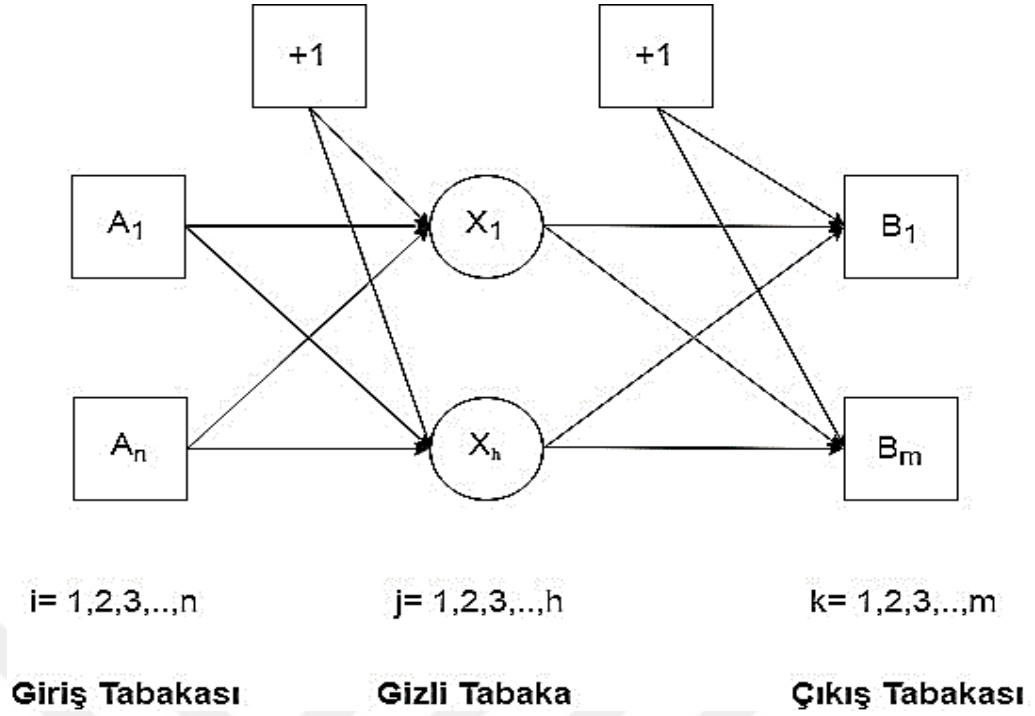


Şekil 4.3. Genel yapay sinir ağı mimarisi

- **Girdi katmanı:** Bu katmanda YSA normal sistemler gibi davranır ve giriş verileri doğrultusunda sonuçlar üretir. Bu giriş verileri hem dış dünyadan hem de diğer YSA hücrelerinden gelebilir. Buradaki nöron sayısı ile dışardan gelen giriş sayısı eşittir. Girdi katmanında veriler genellikle işlemlere tabi tutulmaz (Başkan, 2004).
- **Gizli tabaka:** Bu tabakada bulunan nöron sayısı ile girdi ve çıktı sayısı birbirinden bağımsızdır. Hem ara katmanlarda hem de gizli tabakadaki nöron sayısı artması halinde hesaplama karmaşıklığı ve hesaplama süresi artar. Buna rağmen YSA'nın çok daha karmaşık sorunların çözümünde de kullanılabilmesi için etkin rol oynar (Başkan, 2004).
- **Çıktı katmanı:** Ara katmandan gelen bilgiler en son burada işlenir. Daha sonra girdi katmanındaki girdilere karşılık olarak ağı ürettiği çıkışlar belirlenir ve kullanıma hazır bilgi haline getirilir (Başkan, 2004).

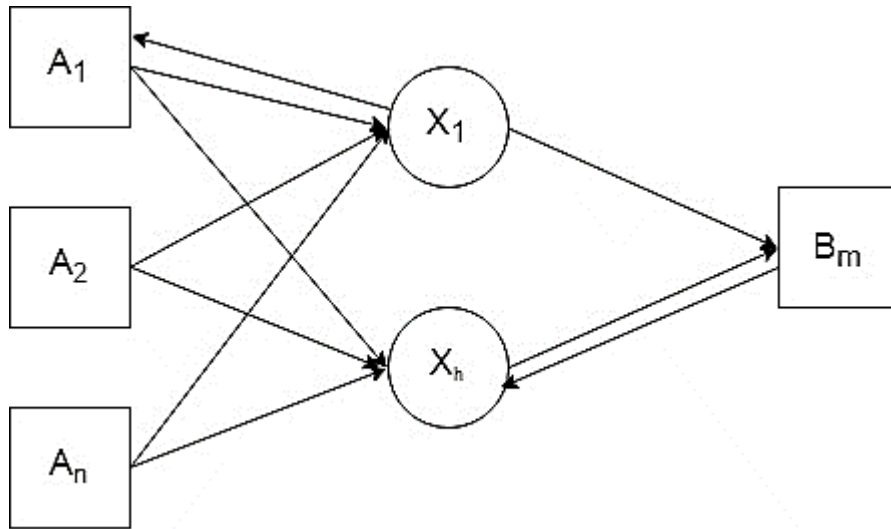
YSA'lar içerdikleri nöronların birbirleri ile bağlantı şekillerine göre ikiye ayrılır:

- **İleri beslemeli (feedforward) YSA:** Verilerin girdi katmanından çıktı katmanına doğru hareket ettiği veya ileriye doğru aktığı bir ağ yapısıdır. Bu ağda geri besleme yoktur (Hamzaçebi, 2011). Şekil 4.4'de bu ağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.4. İleri beslemeli YSA yapısı

- Geri beslemeli (feedback) YSA: Bu ağ içerisinde katmanlar kendi aralarında iki yönlü hareket eder. İlk hareket ileri besleme safhasıdır. Bu aşamada, girdi verileri işlendikten sonra çıktı katmanına ulaşırlar. Daha sonra YSA'nın sonuçları ile gerçek değerler arasında karşılaştırma yapılır ve hatalar tespit edilir. Tespit edilen hatalar geriye doğru yayılır. Şekil 4.5'de bu ağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Geri beslemeli YSA

4.2.1.2. Yapay sinir ağlarının önemli avantajları

- i. Birçok alanda kullanılmak üzere uygulanabilir.
- ii. Hem uyarlanabilme hem de esnek olabilme özelliklerine sahiptirler.
- iii. YSA'lar uyumlu ve zeki sistemlerdir. Bu nedenle karmaşık problemlerin çözümünde çok başarılıdır.
- iv. Öğrenebilme yeteneğine sahip oldukları için tekrar tekrar programlanmalarına gerek yoktur.
- v. Hata toleransı geleneksel ağlara kıyasla daha yüksektir.
- vi. Öğrenme yeteneğine sahip olan YSA'lar performanslarını geliştirebilirler (Öztemel, 2003).

4.2.1.3. Yapay sinir ağlarının önemli dezavantajları

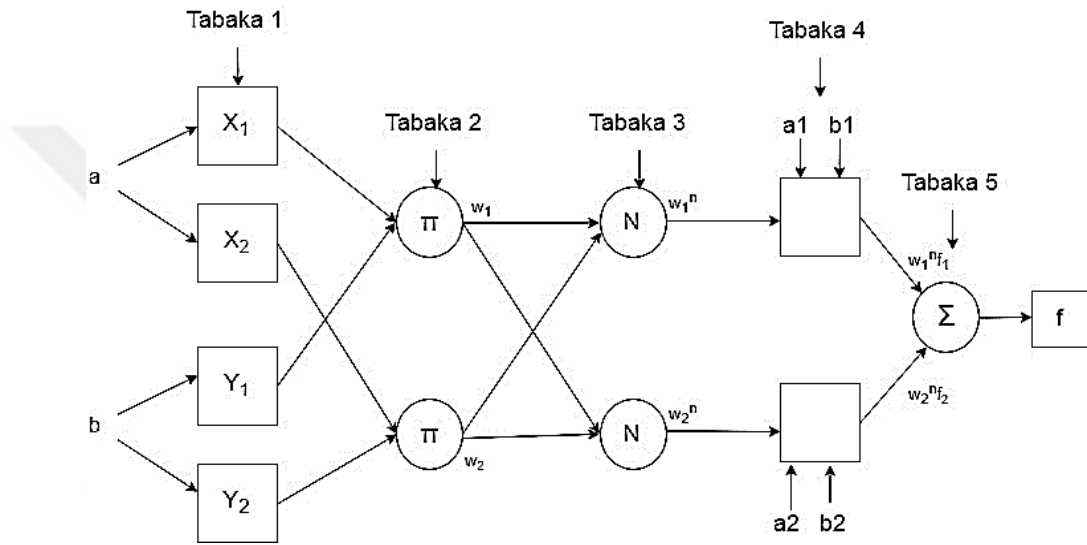
- i. En önemli sorunların başında YSA ağının davranışlarının açıklanamaması gelir.
- ii. Ağın parametre değerlerinin, işlem elemanları sayısının ve tabaka sayısının belirlenmesinde herhangi bir kural yoktur. Bu parametrelerin deneme veya tecrübe yolu ile belirlenmesi de mevcut problemler arasında gösterilebilir.
- iii. Ağın eğitiminin bitiş zamanı için geliştirilmiş herhangi bir yöntem yoktur. Tecrübe ile ağın eğitimi sonlandırılır (Öztemel, 2003).

4.2.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

Uyarlamalı ağlar çerçevesinde uygulanan bulanık bir çıkarım sistemi olan ANFIS ilk olarak Jang (1993) tarafından geliştirilen bir modeldir. ANFIS, kuralları otomatik elde etmeyi amaçlar. Bu yönüyle bulanık mantıktan farklıdır. ANFIS yapısı hem YSA'ların öğrenme yeteneğini ve hem de bulanık mantık çıkarımını kullanır. Bu nedenle hem YSA modelinin ve hem de bulanık mantığın tek başına kullanılmasından daha

başarılıdır. Girdi ve çıktı değerleri bilindiği zaman, ANFIS tüm olası kuralları belirler (Denklem 4.1). ANFIS modeli beş katmana sahiptir. Bu katmanlar buzlanma, kural, normalleşme, bulanıklaştırma ve toplama tabakalarıdır (Şekil 4.6). Birinci ve dördüncü tabakalar uyarlanabilir (Jang, 1993).

$$\begin{aligned} f_1 &= p_1 a + q_1 b + r_1 \\ f_2 &= p_2 a + q_2 b + r_2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} f &= \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \\ f &= \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \end{aligned} \quad (4.1)$$



Şekil 4.6. ANFIS ağ mimarisi

- **Tabaka 1 (Buzlanma):** a ve b iki tipik girdi değeridir. Bunlar iki giriş düğümünde beslenirler ve bu da değerleri üyelik işlevlerine dönüştürür.

$$O_i^1 = \mu_{X_i}(a) \quad i=1,2 \quad (4.2)$$

$$O_i^1 = \mu_{Y_{i-2}}(b) \quad i=3,4 \quad (4.3)$$

Burada;

O_i^j : j katmanında i çıkış düğümünü,

a veya b: girdi değerini,

μ_{X_i} veya $\mu_{Y_{i-2}}$: Bu tabaka ile ilişkili bulanık kümeyi ifade eder (Seyedian ve Rouhani, 2016).

- **Tabaka 2 (Kural):** Bu katmanda bulunan her düğüm gelen sinyalleri çoğaltır. Düğümün O_i^2 çıktısı Denklem (4.4)'deki gibi hesaplanabilir (Seyedian ve Rouhani, 2016):

$$O_i^2 = W_i = \mu_{x_i}(a) \cdot \mu_{y_i}(b) \quad i=1,2 \quad (4.4)$$

- **Tabaka 3 (Normalleşme):** Tabaka 3'teki düğümlerin çıkışı Denklem (4.5)'deki ilişki kullanılarak elde edilir (Seyedian ve Rouhani, 2016):

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \quad i=1,2 \quad (4.5)$$

- **Tabaka 4 (Bulanıklaştırma):** Bu katmanda “i” düğümü birinci kural yöntemine dayalı olarak tanımlanan çıktı modelinin işlevinde “i” sıralı kuralın katkısını hesaplar (Seyedian ve Rouhani, 2016):

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i A + q_i B + r_i) \quad i=1,2 \quad (4.6)$$

Burada;

$\bar{w}_i$: Tabaka 3'ün çıktısını,

p_i, q_i, r_i : Parametre kümelerini ifade eder.

- **Tabaka 5 (Toplama):** Bu katmanın tek düğümü, sistemin ağırlıklı küresel (global) çıktısını Denklem (4.7)'deki gibi hesaplar (Seyedian ve Rouhani, 2016):

$$O_i^5 = \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (4.7)$$

f bir sabit olduğunda, sıfır sıralı bir Sugeno bulanık modeli elde edilir. Bu da hem Mamdani bulanık çıkarım sisteminin (Mamdani ve Assilian, 1975) hem de Tsukamoto bulanık modelinin (Tsukamoto, 1979) özel bir durumu olarak görülebilir. Buna ek

olarak, sıfır sıralı bir Sugeno bulanık modeli, bazı küçük kısıtlamalar altında radyal temel fonksiyon ağına işlevsel olarak eşdeğerdir (Jang ve Sun, 1993).

4.2.3. Çoklu regresyon analizi

Çoklu regresyon analizi birbirini etkileyen değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel boyutunu belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Çoklu regresyon analizine dayanarak formüle edilen denklem kullanılarak tahmin edilecek değer onu etkileyen değerlerin bir fonksiyonu biçiminde yazılır (Denklem 4.8) (Sun ve Trover, 2018; Saplioglu ve Kucukerdem, 2018).

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + U \quad (4.8)$$

Burada;

Y: Bağımlı (tahmin edilen) değişkeni,

X: Bağımsız (açıklayıcı) değişkeni,

β : Regresyon katsayısını,

k: Giriş parametrelerinin sayısını,

U: Hata terimini ifade eder.

Veriler normal olarak dağıtıldığında çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılabilir. Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişki doğrusaldır ve her bağımsız değişken için hata varyansı sabittir (Hair vd., 2009; Saplioglu ve Kucukerdem, 2018).

4.2.4. E.İ.E. gözlem sonuçları ile hesaplama

E.İ.E. Genel Müdürlüğü 1962 yılı itibariyle akarsulardaki gözlem istasyonlarında düzenli bir şekilde seviye ve akım ölçümleri yapmaktadır. Bununla birlikte nehirlerdeki değişik su seviyelerinde genellikle askıda sediment yükü örnekleri derinlik entegrasyon yöntemine göre alınmaktadır. Bu örneklerin alınmasında US.DH-

48 ve US.D-49 tipi gibi uluslararası standartlara uygun olan numune alma aletleri kullanılmaktadır (Alışık, 1995). Laboratuvar ortamında toplanan bu örnekler filtrasyon yöntemine tabi tutularak Denklem (4.9)'daki gibi sediment konsantrasyon değerleri “ppm (milyonda bir)” olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Sediment Konsantrasyonu (ppm)} = \frac{\text{Sediment(kum + silt + kil)} * 10^6}{\text{Örnek(su + sediment)Ağırlığı}} \quad (4.9)$$

Laboratuvar ortamında mevcut örneklerin “ppm” değerleri ile akarsuyun o andaki debisi kullanılarak süspanse sediment miktarları Denklem (4.10)'daki gibi hesaplanmaktadır (Julien, 1995).

$$Q_s = \frac{Q * C * 86400}{10^6} \quad (4.10)$$

Burada;

Q_s : Sediment miktarını (ton/gün),

Q : Akarsuyun o andaki debisi (m^3/sn),

C : Sediment konsantrasyonunu (ppm) ifade eder.

Örnek alınırken ölçülen debinin hesaplanan günlük sediment miktarı ile arasında Denklem (4.11)'deki gibi bir ilişki vardır. Debi ile sediment arasındaki bu ilişki o havzaya ait anahtar eğrisi eşitliğini göstermektedir (Anonim, 2000; Necati ve Kenan, 2012).

$$Q_s = a * Q^b \quad (4.11)$$

Burada; a ve b değerleri akarsu istasyonunun hem havza ve hem de iklim karakteristiklerine bağlı istasyon katsayılarıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Analizler İçin Oluşturulan modeller

Murat Nehri (2102 numaralı istasyon) için 154'er adet yağış (P), debi (Q) ve sıcaklık (T) verileri girdi olarak ve 154 adet sediment konsantrasyonu (C) verisi de çıktı olarak kullanıldığı modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan yağış verileri ile sırasıyla; yağış ile aynı gün (P) (birinci model), yağıştan bir gün önce ($P_{(-1)}$) (ikinci model) ve ikisinin beraber kullanıldığı ($P + P_{(-1)}$) (üçüncü model) modeller oluşturulmuştur. Yani iki adet 3 adet girdili 1 adet çıktı ve bir adet 4 girdili 1 adet çıktı YSA, ANFIS, çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerden elde edilen sonuçlar hem eğitim verileri hem de test verileri için irdelenmiştir. Göynük Çayı (2164 numaralı istasyon) için 146'şar adet yağış (P), debi (Q) ve sıcaklık (T) verileri girdi olarak ve 146 adet sediment konsantrasyonu (C) verisi de çıktı olarak kullanıldığı modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmada da bir önceki istasyonda olduğu gibi 3 model oluşturulmuştur. Yani iki adet 3 adet girdili 1 adet çıktı ve bir adet 4 girdili 1 adet çıktı YSA, ANFIS, çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerden elde edilen sonuçlar hem eğitim verileri hem de test verileri için irdelenmiştir. Peri Suyu (2166 numaralı istasyon) için 76'şar adet yağış (P), debi (Q) ve sıcaklık (T) verileri girdi olarak ve 76 adet sediment konsantrasyonu (C) verisi de çıktı olarak kullanıldığı modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmada da bir önceki istasyonlarda olduğu gibi 3 model oluşturulmuştur. Yani iki adet 3 adet girdili 1 adet çıktı ve bir adet 4 girdili 1 adet çıktı YSA, ANFIS, çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerden elde edilen sonuçlar hem eğitim verileri hem de test verileri için irdelenmiştir.

5.2. 2102 Numaralı Murat Nehri - Palu İstasyonu Tahmin Sonuçları

5.2.1. Yapay sinir ağları (YSA) sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 10 nöronlu YSA modelinin diğer oluşturulan YSA modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün

değerleri alınarak oluşturulmuş olan 3 girdili 8 nöronlu YSA modelinin diğer oluşturulan YSA modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulan 4 girdili 7 nöronlu YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulan 4 girdili 6 nöronlu YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	1	0.7524	5.480	0.7414	5.196
	2	0.8563	4.555	0.7983	4.877
	3	0.8963	4.880	0.7027	4.873
	4	0.8549	4.491	0.8472	4.556
	5	0.8654	4.106	0.8167	4.539
	6	0.9062	3.680	0.8443	4.249
	7	0.8440	5.289	0.8324	5.093
	8	0.9494	4.906	0.9462	4.589
	9	0.9591	4.790	0.8050	5.493
	10	0.9804	4.161	0.9405	4.364

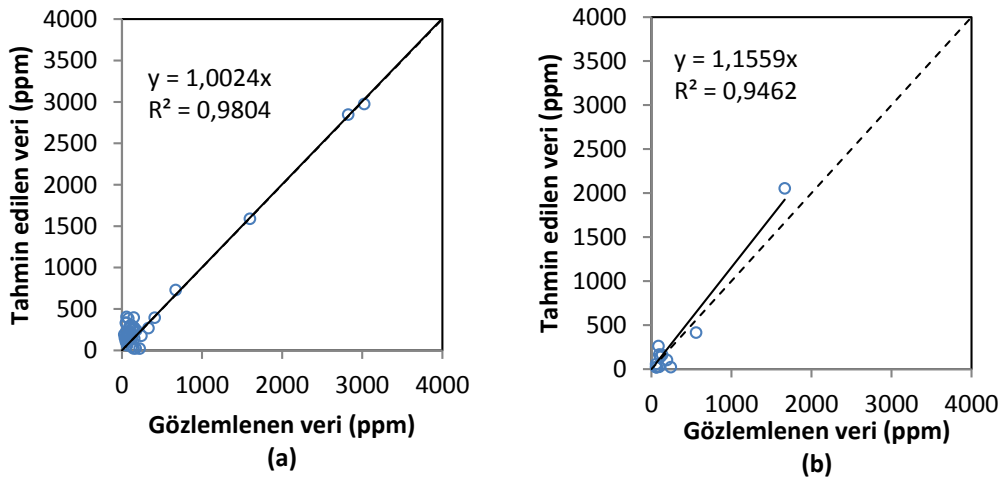
Çizelge 5.2. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	1	0.7937	4.929	0.6517	4.510
	2	0.7237	4.225	0.7175	5.035
	3	0.8432	5.328	0.8009	5.211
	4	0.8819	6.672	0.8489	7.111
	5	0.7976	6.912	0.7690	7.257
	6	0.8827	4.364	0.8423	4.155
	7	0.9121	4.590	0.7561	4.094
	8	0.9122	5.380	0.8773	6.036
	9	0.8263	5.209	0.7575	5.403
	10	0.9275	5.206	0.90	5.853

Yağışın gerçekleştiği günkü değerleri kullanılarak oluşturulan 3 girdili 8 nöronlu YSA hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.1’de çizilmiştir.

Çizelge 5.3. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	1	0.7192	5.754	0.7012	5.422
	2	0.8017	5.448	0.7861	4.656
	3	0.82	4.437	0.7465	4.060
	4	0.8552	4.191	0.83	4.125
	5	0.886	4.275	0.8414	3.929
	6	0.8226	3.959	0.7114	3.427
	7	0.8929	3.574	0.7739	4.603
	8	0.9092	4.661	0.8401	4.548
	9	0.884	5.025	0.878	4.764
	10	0.9436	4.513	0.884	4.202



Şekil 5.1. 8 nöronlu YSA modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R² değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

5.2.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmiştir. Elde edilen R² değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulan 4 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin diğer oluşturulan ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki

değerler alınarak oluşturulmuş olan 4 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin diğer oluşturulan ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulmuş olan 4 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.4. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	3-3-3	0.8891	3.781	0.823	4.483
	4-4-4	0.9329	3.781	0.9168	4.296
	5-5-5	0.9358	3.556	0.8205	4.625
	6-6-6	0.953	3.241	0.9134	5.703
	7-7-7	0.9647	2.807	0.9637	5.335

Çizelge 5.5. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	3-3-3	0.8594	4.520	0.8019	5.040
	4-4-4	0.8918	4.720	0.8263	5.105
	5-5-5	0.898	4.248	0.8138	4.724
	6-6-6	0.9158	4.356	0.8339	5.677
	7-7-7	0.9437	3.969	0.8941	5.409

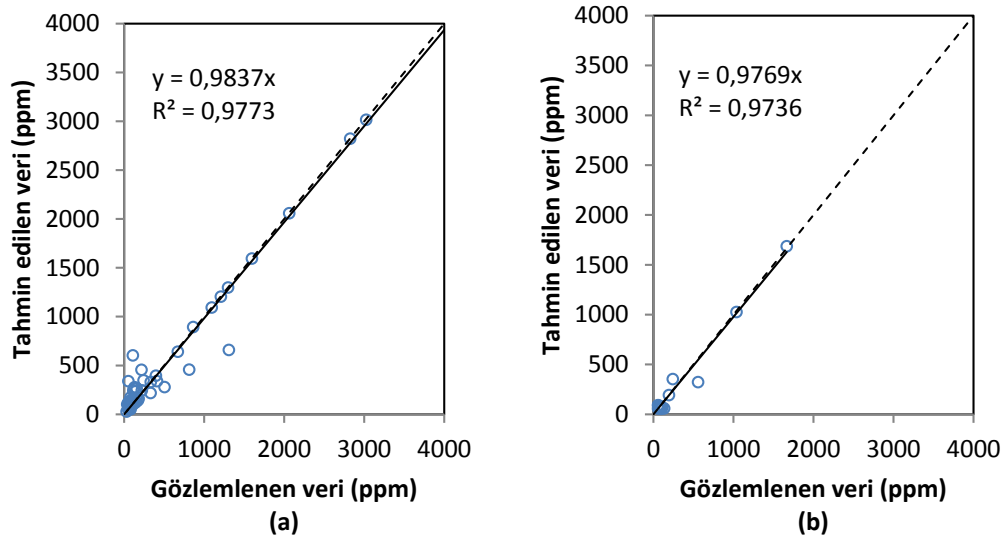
Çizelge 5.6. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	3-3-3-3	0.8962	3.389	0.8021	4.819
	4-4-4-4	0.9236	3.857	0.8207	4.958
	5-5-5-5	0.9536	3.017	0.9514	4.999
	6-6-6-6	0.9661	2.466	0.9381	5.901
	7-7-7-7	0.9773	1.960	0.9736	5.123

Test verilerinde ise yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 4 alt kümeli ANFIS modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yağışın gerçekleştiği günkü değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler kullanılarak oluşturulan 4 girdili 7 alt kümeli ANFIS hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim

verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.2’de çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R^2 değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45° ’lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.2. ANFIS modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

5.2.3. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.7, Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’da verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinin diğer oluşturulan regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulmuş olan 4 adet girdili 1 adet çıktılı çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinin diğer oluşturulan regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Denklem 5.1’de en iyi R^2 değerinin elde

edildiği denklem verilmiştir. Yağışın gerçekleştiği günkü değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.3’de çizilmiştir.

$$X_{2102} = X_p * 80.862 + X_{(p(-1))} * 11.376 + X_Q * 1.846 + X_T * (-0.725) + 52.413 \quad (5.1)$$

Çizelge 5.7. MLR modellerine ait eğitim-test sonuçları

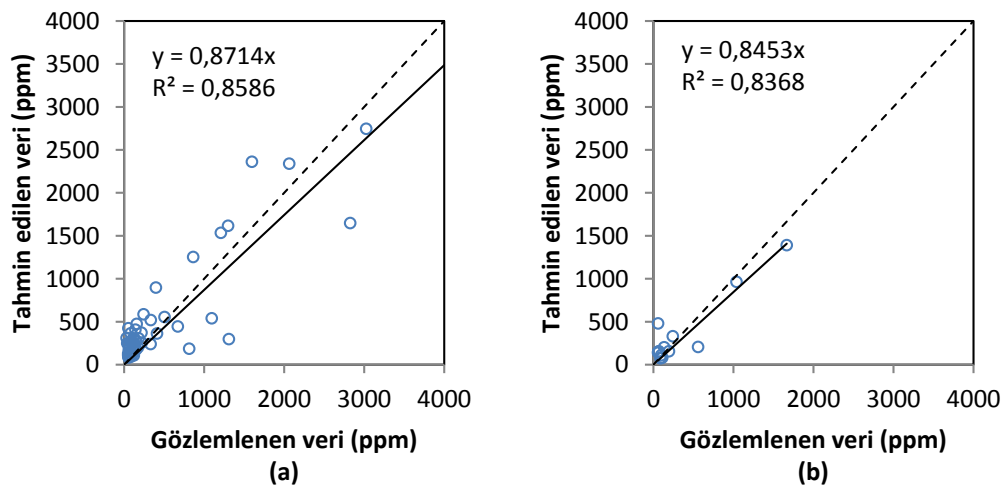
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R ²	OYH	R ²	OYH
	0.8457	4.219	0.7850	4.608

Çizelge 5.8. MLR modellerine ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R ²	OYH	R ²	OYH
	0.7962	4.744	0.7142	4.888

Çizelge 5.9. MLR modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R ²	OYH	R ²	OYH
	0.8586	4.154	0.8368	4.542



Şekil 5.3. MLR modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

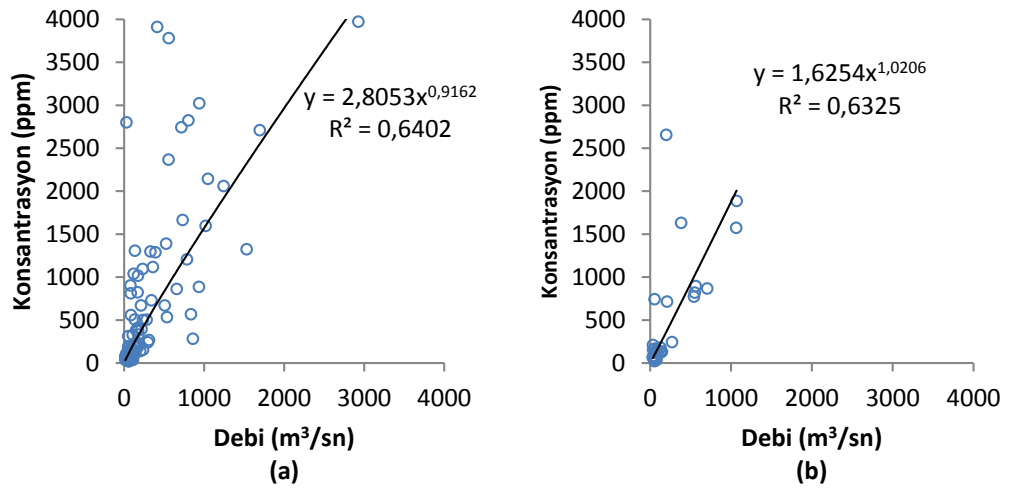
Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R^2 değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

5.2.4. EİE üs metodu sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. EİE üs metodu modeline ait eğitim-test sonuçları

Q ve C verileri kullanılarak oluşturulan EİE üs metodu modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.6402	4.714	0.6325	4.556



Şekil 5.4. EİE üs metodu modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

Debi (Q) ve sediment konsantrasyonu (C) verileri kullanılarak oluşturulan modelin hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerleri ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerinden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

2102 No'lu AGİ için eğitim aşamasında regreyon katsayıları (R^2) açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan **birinci modelde** en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından birinci modelde en

iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. **İkinci modelde** regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından ise en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. **Üçüncü modelde** ise regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından ise en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Bu istasyonda eğitim aşaması için EİE üs metodu yönteminden $R^2=0.6402$ ve $OYH=4.714$ olarak elde edilmiştir.

2102 No'lu AGİ için test aşamasında regresyon katsayıları (R^2) açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan **birinci modelde** en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **İkinci modelde** regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **Üçüncü modelde** ise regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri MLR ve ANFIS modelleri takip etmiştir. Bu istasyonda test aşaması için EİE üs metodu yönteminden $R^2=0.6325$ ve $OYH=4.556$ olarak elde edilmiştir.

5.3. 2164 Numaralı Göynük Çayı - Çayağzı İstasyonu Tahmin Sonuçları

5.3.1. Yapay sinir ağları (YSA) sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.11, Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'de verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan

3 girdili 10 nöronlu YSA modelinin diğer oluşturulan YSA modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulmuş olan 3 girdili 10 nöronlu YSA modelinin diğer oluşturulan YSA modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulmuş olan 4 girdili 8 nöronlu YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulmuş olan 4 girdili 9 nöronlu YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.11. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktı YSA modeli	1	0.9367	3.871	0.9355	3.510
	2	0.9713	3.380	0.9689	3.606
	3	0.9620	3.748	0.9611	3.956
	4	0.9597	4.583	0.9591	3.888
	5	0.9946	0.932	0.9945	1.062
	6	0.9771	4.092	0.9749	3.623
	7	0.9930	3.403	0.9890	2.291
	8	0.9830	3.393	0.9821	3.395
	9	0.9986	1.902	0.9979	1.914
	10	0.9997	1.076	0.9993	1.461

Çizelge 5.12. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

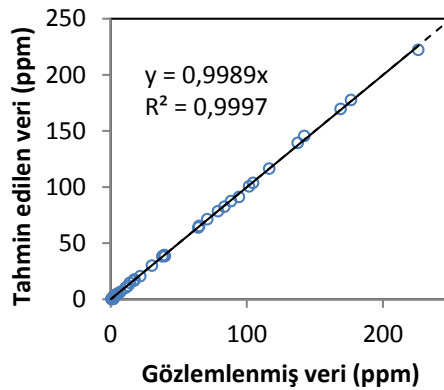
	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktı YSA modeli	1	0.9380	3.527	0.9068	3.104
	2	0.9363	3.933	0.9188	3.517
	3	0.9626	3.175	0.9466	3.248
	4	0.8399	4.426	0.8080	4.830
	5	0.9881	1.402	0.9467	1.336
	6	0.9593	3.214	0.9122	3.470
	7	0.9399	3.686	0.9128	3.410
	8	0.9743	2.837	0.9603	2.847
	9	0.9872	3.607	0.9866	3.172
	10	0.9602	3.243	0.9564	2.911

Yağışın gerçekleştiği günlük değerleri kullanılarak oluşturulan 3 girdili 10 nöronlu YSA hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için

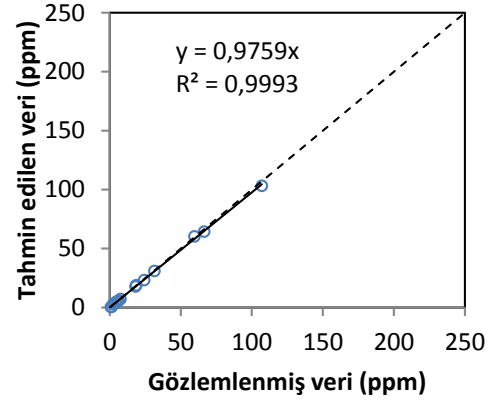
tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.5’de çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R^2 değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°’lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.13. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R^2	OYH	R^2	OYH
P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	1	0.9419	4.120	0.9302	3.660
	2	0.9944	3.040	0.9930	2.725
	3	0.8716	6.088	0.8676	5.332
	4	0.9724	3.387	0.9646	3.336
	5	0.9961	1.169	0.9949	1.224
	6	0.9513	2.644	0.9236	2.516
	7	0.9968	1.532	0.9922	1.491
	8	0.9979	1.022	0.9911	1.192
	9	0.9976	1.158	0.9928	1.048
	10	0.9719	2.970	0.9641	2.518



(a)



(b)

Şekil 5.5. 10 nöronlu YSA modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

5.3.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.14, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16’da verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS modelinin diğer oluşturulan ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulmuş olan 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS modelinin diğer

oluşturulan ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde 4 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin, test verilerinde ise yine 4 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.14. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıkıtlı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	3-3-3	0.8871	3.850	0.8697	3.694
	4-4-4	0.8864	2.637	0.8768	4.270
	5-5-5	0.9318	1.886	0.9071	3.701
	6-6-6	0.9325	2.002	0.9306	2.967
	7-7-7	0.9209	1.578	0.9013	3.278

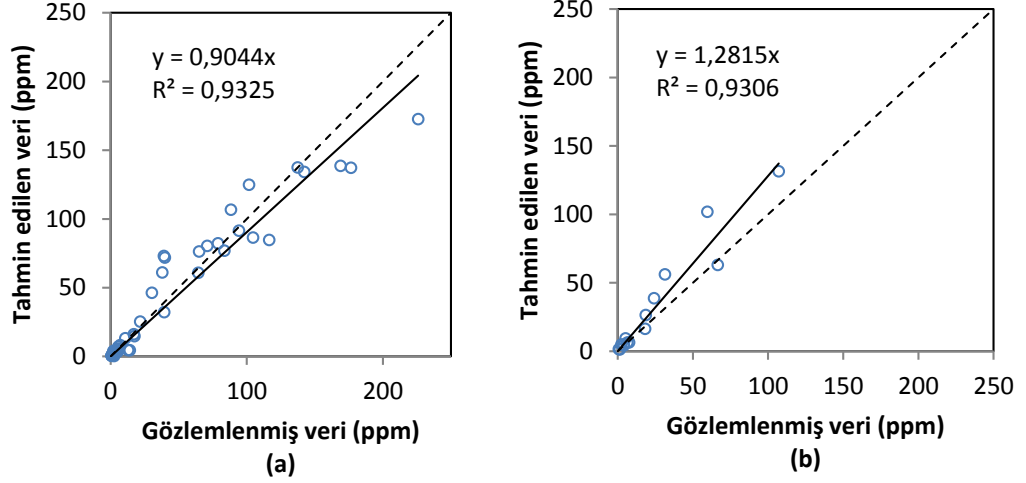
Çizelge 5.15. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıkıtlı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	3-3-3	0.8131	3.357	0.7515	4.075
	4-4-4	0.895	2.601	0.8776	4.197
	5-5-5	0.9284	1.733	0.9185	3.513
	6-6-6	0.9118	1.497	0.906	3.076
	7-7-7	0.9269	1.469	0.8743	2.820

Çizelge 5.16. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıkıtlı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
	3-3-3-3	0.8995	3.174	0.8785	4.323
	4-4-4-4	0.8928	2.472	0.8908	4.434
	5-5-5-5	0.9279	1.510	0.9122	3.760
	6-6-6-6	0.9176	1.221	0.8871	3.082
	7-7-7-7	0.9129	1.023	0.8706	2.462

Yağışın gerçekleştiği günkü değerleri kullanılarak oluşturulan 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.6'da çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R² değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.6. ANFIS modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

5.3.3. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.17, Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19’da verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinin diğer oluşturulan regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulmuş olan 3 adet girdili 1 adet çıktılı çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinin diğer oluşturulan regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

$$X_{2164} = X_P * (-0.086) + X_Q * (-0.232) + X_T * 4.032 + (-14.087) \quad (5.2)$$

Çizelge 5.17. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları

P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.8055	5.046	0.7462	4.903

Test verilerinde ise yine yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Denklem 5.2’de en iyi R^2 değerinin elde edildiği denklem verilmiştir.

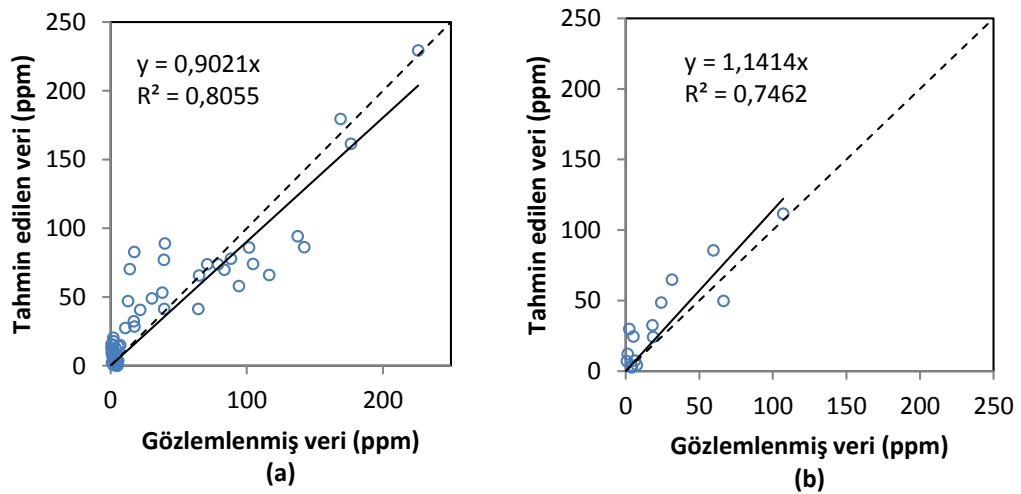
Çizelge 5.18. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.7914	5.062	0.6363	5.175

Çizelge 5.19. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları

P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.7284	5.151	0.6357	5.110

Yağışın gerçekleştiği günlük değerleri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.7’de çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R^2 değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°’lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.



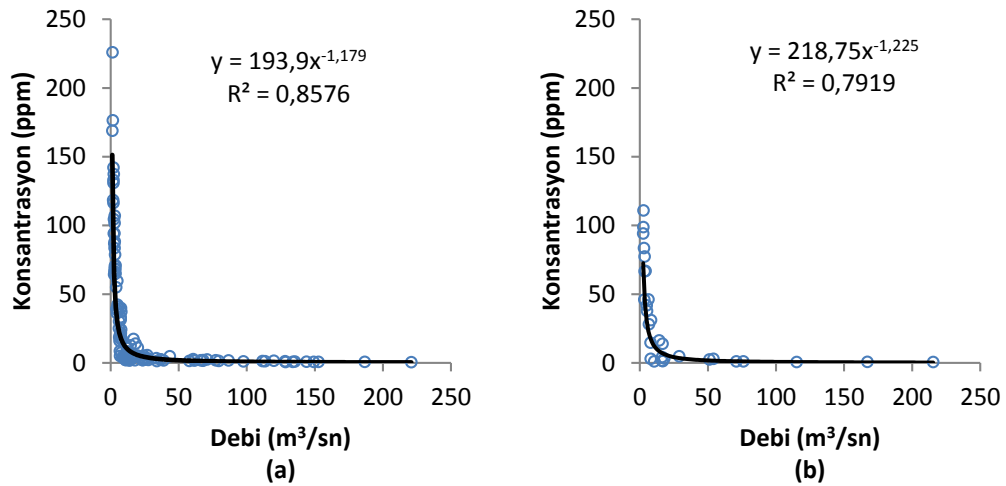
Şekil 5.7. MLR modeline ait saçılım grafikleri eğitim; (b) test

5.3.4. EİE üs metodu sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.20’de verilmiştir. Debi (Q) ve sediment konsantrasyonu (C) verileri kullanılarak oluşturulan modelin hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerleri ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerinden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20. EİE üs metodu modeline ait eğitim-test sonuçları

Q ve C verileri kullanılarak oluşturulan EİE üs metodu modeli	EĞİTİM		TEST	
	R ²	OYH	R ²	OYH
	0.8576	8.046	0.7919	8.376



Şekil 5.8. EİE üs metodu modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

2164 No’lu AGİ için eğitim aşamasında regresyon katsayıları (R²) açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan **birinci modelde** en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından birinci modelde en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **İkinci modelde** regresyon katsayıları (R²) açısından en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından ise en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **Üçüncü modelde** ise regresyon katsayıları (R²) açısından en iyi performansı sergileyen YSA

modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından ise en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Bu istasyonda eğitim aşaması için EİE üs metodu yönteminden $R^2=0.8576$ ve $OYH=8.046$ olarak elde edilmiştir.

2164 No’lu AGİ için test aşamasında regresyon katsayıları (R^2) açısından 1993-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan **birinci modelde** en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **İkinci modelde** regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **Üçüncü modelde** ise regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen YSA modeli olurken, sırasıyla bu performansı ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri MLR ve ANFIS modelleri takip etmiştir. Bu istasyonda test aşaması için EİE üs metodu yönteminden $R^2=0.7919$ ve $OYH=8.376$ olarak elde edilmiştir.

5.4. 2166 Numaralı Peri Suyu - Logmar İstasyonu Tahmin Sonuçları

5.4.1. Yapay sinir ağları (YSA) sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.21, Çizelge 5.22 ve Çizelge 5.23’te verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 4 nöronlu YSA modelinin diğer oluşturulan YSA modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulmuş olan 4 girdili 10 nöronlu YSA modelinin diğer oluşturulan YSA modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağıştan bir gün önceki değerler alınarak

oluşturulmuş olan 3 girdili 10 nöronlu YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağıştan bir gün önceki değerler alınarak oluşturulmuş olan 3 girdili 10 nöronlu YSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.21. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktı YSA modeli	1	0.8128	4.132	0.7785	3.987
	2	0.8120	5.400	0.7797	3.656
	3	0.8497	4.276	0.7785	3.480
	4	0.9528	4.647	0.7646	4.072
	5	0.8375	4.638	0.7489	5.045
	6	0.8886	4.103	0.7824	3.328
	7	0.8608	4.387	0.7871	3.493
	8	0.8112	5.194	0.7662	3.523
	9	0.8479	4.526	0.8142	2.527
	10	0.8770	3.284	0.8694	2.293

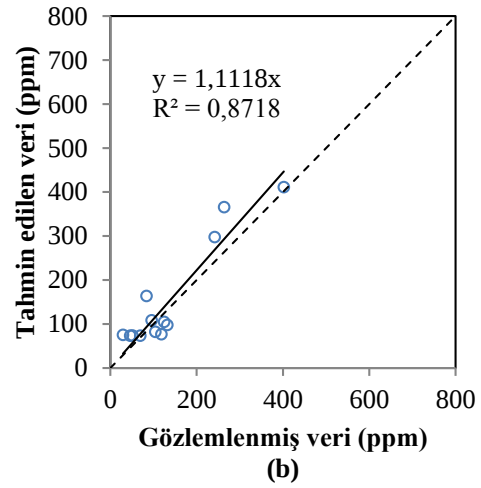
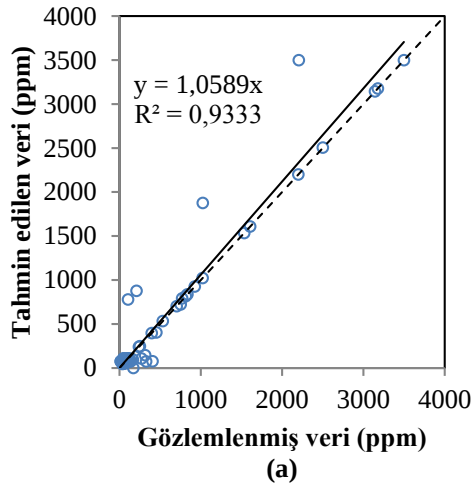
Çizelge 5.22. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktı YSA modeli	1	0.8395	5.126	0.7177	3.928
	2	0.7973	4.072	0.7292	4.168
	3	0.7688	5.886	0.7333	4.515
	4	0.8353	4.143	0.7429	3.812
	5	0.8207	4.500	0.7840	4.398
	6	0.9475	3.924	0.8059	2.742
	7	0.8605	4.254	0.7389	3.805
	8	0.9037	3.751	0.7567	3.602
	9	0.8432	3.852	0.8210	3.197
	10	0.9179	2.162	0.8654	2.121

Yağışın gerçekleştiği günkü değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerli alınarak oluşturulan 4 girdili 10 nöronlu YSA hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.9’da çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R² değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°’lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.23. YSA modellerine ait eğitim-test sonuçları

	Nöron Sayısı	EĞİTİM		TEST	
		R ²	OYH	R ²	OYH
P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı YSA modeli	1	0.8478	4.062	0.8041	3.123
	2	0.8482	5.829	0.7810	4.594
	3	0.8664	3.534	0.8116	4.683
	4	0.9411	3.832	0.8665	2.676
	5	0.8917	4.451	0.7524	4.528
	6	0.8371	5.585	0.7157	3.177
	7	0.8549	4.803	0.8203	3.538
	8	0.8345	5.077	0.7459	3.532
	9	0.9518	3.605	0.8062	2.671
	10	0.9333	2.701	0.8718	2.629



Şekil 5.9. YSA modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

5.4.2. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.24, Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26’da verilmiştir. Elde edilen R² değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin diğer oluşturulan ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yağış verisinin aynı gün değerleri alınarak oluşturulmuş olan 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS modelinin diğer oluşturulan ANFIS modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağış verisinin bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 7 alt kümeli ANFIS modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği

gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulan 3 girdili 3 alt kümeli ANFIS modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yağışın gerçekleştiği günkü değerleri kullanılarak oluşturulan 3 girdili 6 alt kümeli ANFIS hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.10'da çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R^2 değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°'lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.24. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

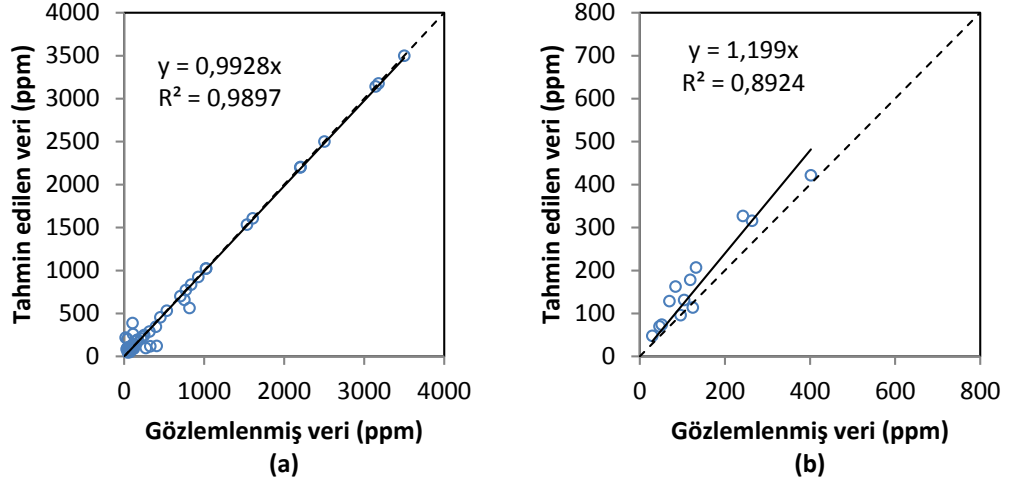
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıkıtlı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R^2	OYH	R^2	OYH
	3-3-3	0.8877	3.652	0.8345	3.559
	4-4-4	0.9432	3.213	0.8303	3.281
	5-5-5	0.9449	2.178	0.7999	3.405
	6-6-6	0.9897	2.198	0.8924	2.656
	7-7-7	0.9947	1.956	0.8861	3.170

Çizelge 5.25. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıkıtlı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R^2	OYH	R^2	OYH
	3-3-3	0.8922	3.606	0.8064	1.676
	4-4-4	0.9554	3.040	0.8279	1.992
	5-5-5	0.9523	2.750	0.8881	2.309
	6-6-6	0.9859	2.411	0.8315	3.067
	7-7-7	0.9960	1.815	0.8646	2.823

Çizelge 5.26. ANFIS modellerine ait eğitim-test sonuçları

P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıkıtlı ANFIS modeli	ANFIS Modelleri	EĞİTİM		TEST	
		R^2	OYH	R^2	OYH
	3-3-3-3	0.9219	2.779	0.8226	3.495
	4-4-4-4	0.9527	2.661	0.7805	2.572
	5-5-5-5	0.9452	2.081	0.8176	3.166
	6-6-6-6	0.9902	2.178	0.8455	1.963
	7-7-7-7	0.9935	2.169	0.8333	3.616



Şekil 5.10. ANFIS modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

5.4.3. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.27, Çizelge 5.28 ve Çizelge 5.29’da verilmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında eğitim verilerinde yağış verisinin bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinin diğer oluşturulan regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yine yağış verisinin bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulmuş olan 3 adet girdili 1 adet çıktılı çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelinin diğer oluşturulan regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bulunan ortalama yüzde hatası (OYH) sonuçlarına bakıldığında ise eğitim verilerinde yağış verisinin aynı gün değerleri ile yağıştan bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test verilerinde ise yağış verisinin bir gün önceki değerleri alınarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Denklem 5.3’te en iyi R^2 değerinin elde edildiği denklem verilmiştir.

$$X_{2166} = X_{P_{(-1)}} * 34.922 + X_Q * 7.037 + X_T * 0.47 + (-84.314) \quad (5.3)$$

Yağışın bir gün önceki değerleri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR hesaplamalarının sonucunda, hem eğitim verileri için hem de test verileri için

tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.11’de çizilmiştir. Sunulan grafikler test verilerinden elde edilen R^2 değeri en yüksek olan modele aittir. Bu grafiklerde, ölçülmüş sediment verileri ile tahmin edilen sediment değerleri arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için 45°’lik bir doğru da şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.27. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları

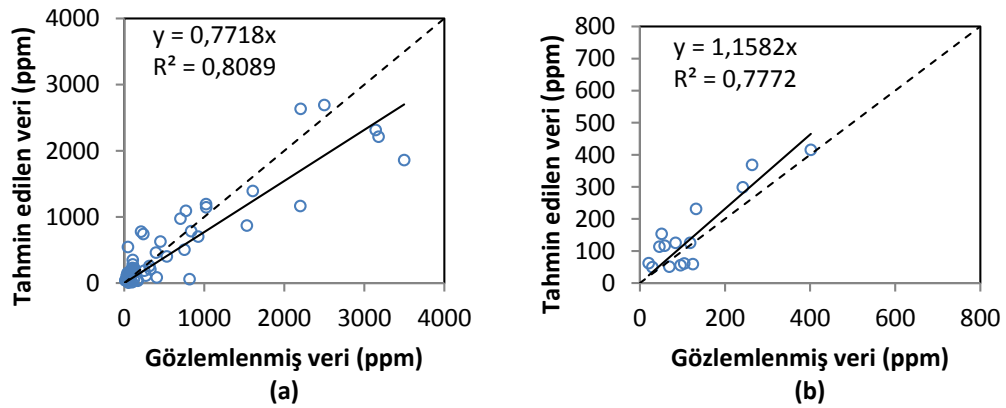
P, Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.7833	4.236	0.7040	4.309

Çizelge 5.28. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları

P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 3 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.8089	4.361	0.7772	3.862

Çizelge 5.29. MLR modeline ait eğitim-test sonuçları

P, P(-1), Q, T verileri kullanılarak oluşturulan 4 adet girdili 1 adet çıktılı MLR modeli	EĞİTİM		TEST	
	R^2	OYH	R^2	OYH
	0.8085	4.083	0.7061	4.749



Şekil 5.11. MLR modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

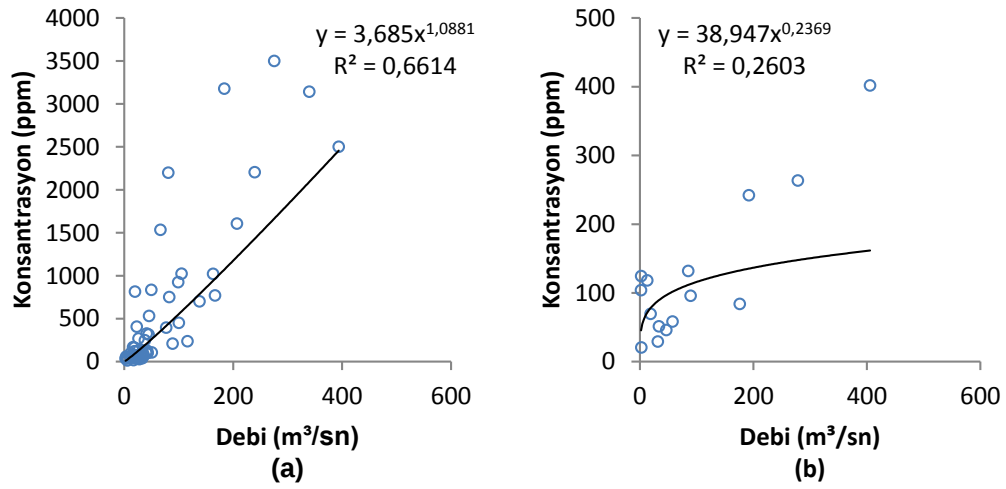
5.4.4. EİE üs metodu sonuçları

Oluşturulan modellerin istatistiksel hata sonuçları hem eğitim hem de test serileri için Çizelge 5.30’da verilmiştir. Debi (Q) ve sediment konsantrasyonu (C) verileri

kullanılarak oluşturulan modelin hem eğitim verileri için hem de test verileri için tahmin edilen değerler ile istasyondan elde edilen gözlemlenmiş verilerden elde edilen saçılma diyagramı Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.30. EİE üs metodu modeline ait eğitim-test sonuçları

Q ve C verileri kullanılarak oluşturulan EİE üs metodu modeli	EĞİTİM		TEST	
	R ²	OYH	R ²	OYH
	0.6614	7.304	0.2603	4.082



Şekil 5.12. EİE üs metodu modeline ait saçılım grafikleri (a) eğitim; (b) test

2166 No’lu AGİ için eğitim aşamasında regresyon katsayıları (R^2) açısından 1993-2000 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan **birinci modelde** en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından birinci modelde en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. **İkinci modelde** regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından ise en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. **Üçüncü modelde** ise regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından ise en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. . Bu istasyonda

eğitim aşaması için EİE üs metodu yönteminden $R^2=0.6614$ ve $OYH=7.304$ olarak elde edilmiştir.

2166 No'lu AGİ için test aşamasında regresyon katsayıları (R^2) açısından 1993-2000 yılları arasındaki veriler kullanılarak oluşturulan **birinci modelde** en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren YSA modeli olurken, sırasıyla bu değeri ANFIS ve MLR modelleri takip etmiştir. **İkinci modelde** regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. **Üçüncü modelde** ise regresyon katsayıları (R^2) açısından en iyi performansı sergileyen ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu performansı YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Ortalama yüzde hatası (OYH) açısından en iyi sonucu veren ANFIS modeli olurken, sırasıyla bu değeri YSA ve MLR modelleri takip etmiştir. Bu istasyonda test aşaması için EİE üs metodu yönteminden $R^2=0.2603$ ve $OYH=4.082$ olarak elde edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemlerinin sediment konsantrasyonunun tahminindeki performansları araştırılmıştır. Bu amaçla Fırat Havzası'na ait 2102 No'lu, 2164 No'lu ve 2166 No'lu AGİ'ler için sediment tahmin modelleri geliştirilmiştir. Fırat Havzası üzerinde bulunan bu istasyonlarda DSİ tarafından ölçülen sediment miktarı ile YSA, ANFIS ve MLR yöntemlerinin tahminleri karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlere ek olarak istasyonlardaki ölçülmüş debi ve sıcaklık verileri girdi parametresi olarak kullanılmıştır ve üç farklı senaryo halinde modellenmiştir. Birinci modelde yağışın aynı günlük değeri (P), debi ve sıcaklık verileri girdi olarak denenmiştir. İkinci modelde yağışın bir gün önceki değeri ($P_{(-1)}$), debi ve sıcaklık verileri girdi olarak denenmiştir. Üçüncü modelde ise yağışın aynı günlük değeri (P), yağışın bir gün önceki değeri ($P_{(-1)}$), debi ve sıcaklık verileri girdi olarak denenmiştir. Hazırlanan YSA, ANFIS modelleri ile yapılan sediment tahminlerinde, ölçülen değerlere makul ölçüde yakınsadığı saçılma grafiklerinden görülmüştür. Ancak MLR yöntemi ile bu konuda YSA ve ANFIS modellerine nazaran daha kötü sonuçlar elde edilmiştir.

- i. Elde edilen en kötü sonuçlar 2166 NO'lu AGİ'den elde edilmiştir. Bu duruma sebep olarak, EİE üs metodu yöntemi sonuçları ve veri sayısının az olmasını söyleyebiliriz.
- ii. Eğitim aşamasında tüm istasyonlarda ve oluşturulan tüm modellerde en iyi R^2 sonucu yapay sinir ağları (YSA) ile elde edilmiştir ($R^2=0.9997$).
- iii. Test aşamasında da tüm istasyonlarda ve oluşturulan tüm modellerde en iyi R^2 sonucu yine yapay sinir ağları (YSA) ile elde edilmiştir ($R^2=0.9993$).
- iv. Üzerinde çalışılan üç istasyon için genel olarak en kötü sonuçlar MLR modellerinde elde edilmiştir.

- v. Regresyon katsayıları (R^2) açısından test sonuçlarına göre en iyi sonuçlar genel olarak 2164 NO'lu AGİ'den elde edilmiştir.
- vi. Regresyon katsayıları (R^2) açısından test sonuçlarına göre en kötü sonuçlar genel olarak 2166 NO'lu AGİ'den elde edilmiştir.
- vii. Yapılan analizler sonucunda, YSA ve ANFIS modellerinin MLR modeline göre gözlenen değerlere daha yakın değerler elde ettiği görülmüştür.
- viii. Sonuç olarak; oluşturulan tüm modeller baz alınarak hem eğitim hem de test aşamalarında en başarılı sonuçlar YSA ve ANFIS modellerinden elde edilirken, sırasıyla bu performansı MLR ve E.İ.E. Üs metodu modelleri takip etmiştir.
- ix. İlerleyen çalışmada kullanılan girdi değişkenlerinden farklı girdi verileri kullanılarak sediment konsantrasyonu tahminine yönelik yeni çalışmalar yapılabilir.
- x. Hem eğitim hem de test aşamalarında modellerde kullanılan veri sayısının arttırılması ile modellerin performanslarının çok daha başarılı olabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağralıoğlu, N., & Erkek, C. (1998). Su Kaynakları Mühendisliği.
- Aksoy, H., & Mohammadi, M. (2016). Artificial Neural Network And Regression Models For Flow Velocity At Sediment İncipient Deposition. *Journal Of Hydrology*, 541, 1420-1429.
- Alışık, A. (1995). Sediment Taşınımı Ve Ölçüm Metodları. Hidrolik Etüdler Dairesi Sediment Etütleri Şubesi Müdürlüğü.
- Anonim. (2000). Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri Ve Sediment Taşınım Miktarları. Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü, Yayın No: 20 – 17, Ankara.
- Avcar, M., & Saplıoğlu, K. (2015). An Artificial Neural Network Application For Estimation Of Natural Frequencies Of Beams. *International Journal Of Advanced Computer Sciences And Applications*, 6, 94-102.
- Azamathulla, H., Chang, C., Ghani, A., Ariffin, J., Zakariya, N., & Hasan, Z. (2009). An Anfis-Based Approach For Predicting The Bed Load For Moderately Sized Rivers. *Journal Of Hydro-Environment Research*, 3(1), 35-44.
- Başkan, Ö. (2004). İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi,. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 120.
- Bayazıt, M. (1971). Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Buyukyildiz, M., & Kumcu, S. (2017). An Estimation Of The Suspended Sediment Load Using Adaptive Network Based Fuzzy İnference System, Support Vector Machine And Artificial Neural Network Models. *Water Resources Management*, 31(4), 1343-1359.
- Chen, S., Lin, Y., Chang, L., & Chang, F. (2006). The Strategy Of Building A Flood Forecast Model By Neuro-Fuzzy Network. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(7), 1525-1540.
- Choubin, B., Darabi, H., Rahmati, O., Sajedi-Hosseini, F., & Kløve, B. (2018). River Suspended Sediment Modelling Using The Cart Model: A Comparative Study Of Machine Learning Techniques. *Science Of The Total Environment*, 615, 272-281.
- Dietrich, W. (1982). Settling Velocity Of Natural Particles. *Water Resources Research*, 18(6), 1615-1626.
- Ebtehaj, I., & Bonakdari, H. (2014). Performance Evaluation Of Adaptive Neural Fuzzy İnference System For Sediment Transport İn Sewers. *Water Resources Management*, 28(13), 4765-4779.

- Ebtehaj, I., & Bonakdari, H. (2017). Design Of A Fuzzy Differential Evolution Algorithm To Predict Non-Deposition Sediment Transport. *Applied Water Science*, 7(8), 4287-4299.
- Eiei. (2000). Akım Gözlem Yıllığı.
- Eiei. (2006). [Http\Www.Eie.Gov.Tr\Turkce\Hidroloji\Havzalar Html Adresinden](http://www.eie.gov.tr/turkce/hidroloji/havzalar.html) Alınmıştır
- Erkek, C., & Ağırlioğlu, N. (1993). Su Kaynakları Mühendisliği.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals Of Neural Networks, Architectures, Algorithms,*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Ghavidel, S., & Montaseri, M. (2014). Application Of Different Data-Driven Methods For The Prediction Of Total Dissolved Solids In The Zarinroud Basin. *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, 28(8), 2101-2118.
- Gunawan, T., Kusuma, M., Cahyono, M., & Nugroho, J. (2017). The Application Of Backpropagation Neural Network Method To Estimate The Sediment Loads. In *Matec Web Of Conferences*, 101, 05016.
- Gümüş, V. (2006). Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi İle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hamzaçebi, C. (2011). Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab Ve Neurosolutions Uygulamalı. Ekin Yayınevi, Bursa, 14-45.
- Hamzaçebi, C., & Kutay, F. (2004). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3).
- Jang, J. (1993). Anfis: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*.
- Jang, J.-S., & Sun, C.-T. (1993). Functional Equivalence Between Radial Basis Function Networks And Fuzzy Inference Systems. *Ieee Transactions On Neural Networks*, 4(1), 156-159.
- Julien, P. (1995). *Erosion And Sedimentation* Cambridge University Press. Melbourne, Usa., 280.
- Kitsikoudis, V., Sidiropoulos, E., & Hrissanthou, V. (2015). Assessment Of Sediment Transport Approaches For Sand-Bed Rivers By Means Of Machine Learning. *Hydrological Sciences Journal*, 60(9), 1566-1586.
- Mamdani, E., & Assilian, S. (1975). An Experiment In Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller. *International Journal Of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.

- Mcculloch, S., & Pitts, H. (1943). A Logical Calculus Of The Ideas Immanent In Neural Net. Bulletin Of Mathematical Biophysics, 5.
- Meral, R., Doğan Demir, A., & Cemek, B. (2018). Analyses Of Turbidity And Acoustic Backscatter Signal With Artificial Neural Network For Estimation Of Suspended Sediment Concentration. Applied Ecology And Environmental Research, 16(1), 697-708.
- Mirbagheri, S., Nourani, V., Rajaei, T., & Alikhani, A. (2010). Neuro-Fuzzy Models Employing Wavelet Analysis For Suspended Sediment Concentration Prediction In Rivers. Hydrological Sciences Journal–Journal Des Sciences Hydrologiques, 55(7), 1175-1189.
- Necati, A., & Kenan, U. (2012). Hurman Çayı Havzasında Ölçülen Ve Ampirik Yöntemlerle Hesaplanan Sediment Verimlerinin Karşılaştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 15(3), 1-8.
- Özbek, T., & Özcan, Ç. (2001). Akarsularda Katı Madde. Tmmob İnşaat Mühendisleri Odası, 165.
- Öztemel, E. (2003). Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 232.
- Partovian, A., Nourani, V., & Alami, M. T. (2016). Hybrid Denoising-Jittering Data Processing Approach To Enhance Sediment Load Prediction Of Muddy Rivers. Journal Of Mountain Science, 13(12), 2135-2146.
- Samantaray, S., & Ghose, D. (2018). Evaluation Of Suspended Sediment Concentration Using Descent Neural Networks. Procedia Computer Science, 132, 1824-1831.
- Saplioglu, K., & Kucukerdem, T. (2018). Estimation Of Missing Streamflow Data Using Anfis Models And Determination Of The Number Of Datasets For Anfis: The Case Of Yeşilırmak River. Applied Ecology And Environmental Research, 16(3), 3583-3594.
- Saplıoğlu, K., & Çimen, M. (2010). Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini. Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi.
- Sari, V., Dos Reis Castro, N., & Pedrollo, O. (2017). Estimate Of Suspended Sediment Concentration From Monitored Data Of Turbidity And Water Level Using Artificial Neural Networks. Water Resources Management, 31(15), 4909-4923.
- Seyedian, S., & Rouhani, H. (2016). Assessing Anfis Accuracy In Estimation Of Suspended Sediments. Grağevinar, 67(12), 1165-1176.
- Sirabahenda, Z., St-Hilaire, A., Courtenay, S., Alberto, A., & Van Den Heuvel, M. (2017). A Modelling Approach For Estimating Suspended Sediment Concentrations For Multiple Rivers Influenced By Agriculture. Hydrological Sciences Journal, 62(13), 2209-2221.

- Şen, Z. (2004). Principles Of Artificial Neural Networks. Turkish Water Foundation Publication, İn Turkish.
- Şen, Z. (2004). Yapay Sinir Ağları İlkeleri. Su Vakfı Yayınları.
- Tayfur, G. (2002). Artificial Neural Networks For Sheet Sediment Transport. Hydrological Sciences Journal, 47(6), 879-892.
- Tayfur, G., & Guldal, V. (2006). Artificial Neural Networks For Estimating Daily Total Suspended Sediment İn Natural Streams. Hydrology Research, 37(1), 69-79.
- Thompson, J., Sattar, A., Gharabaghi, B., & Warner, R. (2016). Event-Based Total Suspended Sediment Particle Size Distribution Model. Journal Of Hydrology, 536, 236-246.
- Tsukamoto, Y. (1979). An Approach To Fuzzy Reasoning Method. In: M.M. Gupta, R.K. Ragade, And R. Yager, Eds. Advances İn Fuzzy Set Theory And Applications. Amsterdam: Elsevier Science Ltd., 137-149.
- Ulke, A., Tayfur, G., & Ozkul, S. (2017). Investigating A Suitable Empirical Model And Performing Regional Analysis For The Suspended Sediment Load Prediction İn Major Rivers Of The Aegean Region, Turkey. Water Resources Management, 31(3), 739-764.
- Widrow, B., & Hoff, M. (1960). Adaptive Switching Circuits. 1960 Ire Wescon Convention Record, Newyork, 4, 96-104.
- Wieprecht, S., Tolossa, H., & Yang, C. (2013). A Neuro-Fuzzy-Based Modelling Approach For Sediment Transport Computation. Hydrological Sciences Journal, 58(3), 587-599.
- Yang, C. (1996). Sediment Transport: Theory And Practice. The Mcgraw-Hill Companies, Inc., San Francisco.
- Yıldırım, A. (2006). Karakaya Barajı Ve Doğal Çevre Etkileri.
- Yüksel, Y. (2005). Deniz Tabanı Hidrodinamigi Ve Kıyı Morfolojisi, Arıkan.
- Zournemat-Kermani, M. (2017). Assessment Of Several Nonlinear Methods İn Forecasting Suspended Sediment Concentration İn Streams. Hydrology Research, 48(5), 1240-1252.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ramazan ACAR

Doğum Yeri ve Yılı : Arıcak, 1993

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ramaznacar@munzur.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Elazığ Kaya Karakaya Anadolu Lisesi, (2008-2012)

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

SYMB İş Ortaklığı Hızlı Tren Projesi–Sanat Yapıları Şefi 01.08.2017-22.02.2018

Munzur Üniversitesi—Araştırma Görevlisi 09.04.2018-... (halen)