



**FIRAT - DİCLE HAVZASINDAKİ AKIM VE SEDİMENT
TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ**

ÖMER FARUK KARACA

DOKTORA TEZİ

BİYOİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

PROF. DR. KADRI YÜREKLİ

Eylül- 2020

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

FIRAT - DİCLE HAVZASINDAKİ AKIM VE SEDİMENT
TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

ÖMER FARUK KARACA

TOKAT
Eylül – 2020

Her hakkı saklıdır



Bu Tez Çalışması;

**BOZOK ÜNİVERSİTESİ BAP BİRİMİ Tarafından “2015 MMF / A 216” No’lu Proje
ile Desteklenmiştir.**

Ömer Faruk KARACA tarafından hazırlanan “**FIRAT - DİCLE HAVZASINDAKİ AKIM VE SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 03.09.2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından oy birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Danışman Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	
Üye Prof. Dr. Hüseyin ŞİMŞEK Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	
Üye Prof. Dr. Tekin ÖZTEKİN Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	
Üye Prof. Dr. Bilal CEMEK Ondokuz Mayıs Üniversitesi	
Üye Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS Aksaray Üniversitesi	
....	

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 25/08/2020 Tarih ve 3 Sayılı Yazı 40 Sayılı Kararıyla Onaylanmıştır.

ONAY

.....

PROF. DR. MEHMET GÜNEŞ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

---/---/2020

TEZ BEYANI

Tez Yazım Kurallarına Uygun Olarak Hazırlanan Bu Tezin Yazılmasında Bilimsel Ahlak Kurallarına Uyulduğunu, Başkalarının Eserlerinden Yararlanılması Durumunda Bilimsel Normlara Uygun Olarak Atıfta Bulunulduğunu, Tezin İçerdiği Yenilik ve Sonuçların Başka Bir Yerden Alınmadığını, Kullanılan Verilerde Herhangi Bir Tahrifat Yapılmadığını, Tezin Herhangi Bir Kısımının Bu Üniversite veya Başka Bir Üniversitedeki Başka Bir Tez Çalışması Olarak Sunulmadığını Beyan Ederim.

ÖMER FARUK KARACA

.....

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FIRAT - DİCLE HAVZASINDAKİ AKIM VE SEDİMENT TAŞINIMININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

ÖMER FARUK KARACA

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. KADRI YÜREKLİ)

Yarı kurak bir iklim kuşağında olan ülkemizde ileriki dönemlerde kuraklığın daha fazla yaşanacağı tahmin edilmektedir. Bu anlamda su toplama havzalarının hidrolojik karakteristiklerinden olan akım ve sedimentin gelecekteki miktarlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma ile Fırat-Dicle havzasında ölçülen hidrolojik değişkenlerden akım ve sediment miktarlarının günümüzde birçok alanda kullanılabilen 3 farklı yapay sinir ağı (YSA) ile tahmin edilebilme imkânları araştırılmış ve en uygun ağ yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen YSA sonuçları çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 20 istasyondan alınan aylık ortalama akım ve sediment verisi ile 24 istasyondan alınan yağış, nem, rüzgar hızı, minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinin farklı kombinasyonları kullanılmıştır.

Farklı istatistik parametrelerden olan Korelasyon katsayısı (R), Hata kareler ortalaması (MSE), Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) kullanılarak model performansları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak YSA yöntemlerinin akım ve sediment tahmininde güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir. En iyi ağın RBANN ve LM kombinasyonu, en kötü ağın ise MLP ve CG kombinasyonu olduğu tespit edilmiştir.

2020, 226 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Fırat-Dicle Havzası, Akım, Sediment, Yapay Sinir Ağları, Çoklu Doğrusal Regresyon Modelleme.

ABSTRACT
DOCTORATE THESIS
PREDICTION OF FLOW AND SEDIMENT TRANSPORT in EUPHRATES -
TIGRIS BASIN BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK
ÖMER FARUK KARACA
TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
DEPARTMENT OF BIOSYSTEMS ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. KADRI YÜREKLİ)

In our country, which is in a semi-arid climate zone, it is estimated that drought will be experienced more in the future. In this context, it is very important to determine the future amounts of flow and sediment, which are among the hydrological characteristics of the catchment basins. In this study, the possibilities of estimating the amount of flow and sediment, among the hydrological variables measured in the Fırat-Dicle basin, with 3 different artificial neural networks (ANN) that can be used in many areas today, were investigated and the most appropriate network structure was tried to be determined. The ANN results obtained were compared with the multiple linear regression (MLR) method. For this purpose, different combinations of monthly average flow and sediment data from 20 stations and precipitation, humidity, wind speed, minimum and maximum temperature values from 24 stations were used.

Model performances were evaluated by using Correlation coefficient (R), Mean Square Error (MSE), Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE) which are among different statistical parameters. As a result, it was determined that ANN methods can be used safely in flow and sediment estimation. It was determined that the best network is the combination of RBANN and LM, and the worst network is the combination of MLP and CG.

2020, 226 PAGES

ANAHTAR KELİMELELER: Euphrates-Tigris Basin, Flow, Sediment, Artificial Neural Network, Multiple Linear Regression Modeling.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda benden maddi manevi desteğini esirgemeyen başta danışmanım Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ'ye, tez izleme komitesi ve tez jürimde olan Prof. Dr. Bilal CEMEK'e, Prof. Dr. Tekin ÖZTEKİN'e, Prof. Dr. Hüseyin ŞİMŞEK'e ve Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS'A tezime olan katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Özellikle verilerin düzenlenmesinde ve uygulanmasında bana yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Adil Koray YILDIZ ile bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tüm hocalarıma yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu süreçte her zaman yanımda olan, desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve büyük bir sabırla bekleyen eşime ve kızlarıma sonsuz teşekkürler ederim.

Ömer Faruk KARACA

.....

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	15
2.1 AKIM VE SEDİMENT GÖZLEMLERİ	15
2.1.1 Akım gözlemleri	15
2.1.2 Sediment Gözlemleri.....	21
2.1.3 Sediment Taşınımı	27
2.2 TAHMİN YÖNTEMLERİ VE KULLANILAN AĞ YAPILARI.....	36
2.2.1 Yapay sinir ağları tarihsel süreç.....	36
2.2.2 Yapay sinir ağlarının temel özellikleri	37
2.2.2.1 Ağların Sınıflandırılması.....	39
2.2.2.2 Çalışma Prensipleri ve Gizli Katman Sayısı	40
2.2.2.3 Aşırı Uydurma.....	42
2.2.2.4 Yenileme	42
2.2.2.5 Durdurma	42
2.2.3 Aktivasyon (transfer) fonksiyonları	43
2.2.3.1 Adımsal Aktivasyon Fonksiyonu	43
2.2.3.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	44
2.2.3.3 Parçalı Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu	45
2.2.3.4 Gaussian Aktivasyon Fonksiyonu	46
2.2.3.5 Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	46

2.2.3.6	Hiberbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu.....	47
2.2.4	Eğitim algoritmaları.....	48
2.2.4.1	Ölçekli Eşlenik Gradyan (Scaled Conjugate Gradient=SCG) Algoritması	48
2.2.4.2	Levenberg Marquardt (LM) Algoritması.....	49
2.2.5	İleri beslemeli ve geri yayımlı ağ yapısı (FFBP)	50
2.2.6	Çok katmanlı ağ yapısı (MLP)	52
2.2.7	Radyal tabanlı ağ yapısı (RBANN)	55
2.2.8	Çoklu doğrusal regresyon (sıradan en küçük kareler regresyonu) (MLR)	58
2.3	MODEL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	59
2.4	YSA VE AKIM TAHMİNİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	60
2.5	YSA VE SEDİMENT TAHMİNİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	66
2.6	YSA VE METEOROLOJİK TAHMİNLER İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	75
2.7	FIRAT-DİCLE HAVZASI İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	77
2.8	DİĞER ÇALIŞMALAR	80
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	81
3.1	MATERYAL	81
3.1.1	Çalışma alanı tarihçesi.....	81
3.1.2	Havza ve havza özellikleri.....	82
3.1.2.1	Fırat Havzası	96
3.1.2.1.1	Coğrafi Konum ve Genel Özellikleri.....	96
3.1.2.1.2	Topoğrafya	97
3.1.2.1.3	İklim Özellikleri	98
3.1.2.1.4	Su Kaynakları	99
3.1.2.2	Dicle Havzası	101
3.1.2.2.1	Coğrafi Konum ve Genel Özellikleri.....	101
3.1.2.2.2	Topoğrafya	102
3.1.2.2.3	İklim Özellikleri	103
3.1.2.2.4	Su Kaynakları	104
3.1.3	Gözlem istasyonları ve verilerin elde edilmesi.....	108
3.1.3.1	Akım ve sediment verilerinin elde edilmesi.....	110

3.1.3.2	Meteorolojik Verilerinin Elde Edilmesi.....	114
3.2	YÖNTEM.....	117
3.2.1	<i>Eksik verilerin tamamlanması.....</i>	117
3.2.2	<i>Veri istatistikleri ve istatistiksel hesaplamalar.....</i>	117
3.2.3	<i>Modellerin denenmesi.....</i>	118
3.2.3.1	Yapay sinir ağı (YSA) modelleri.....	119
3.2.3.2	Çoklu doğrusal regresyon (MLR) Modeli	122
3.2.4	<i>Coğrafi bilgi sistemleri ortamında hidrolojik veri analizi.....</i>	123
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	124
4.1	VERİ İSTATİSTİKLERİ VE İSTATİSTİKSEL HESAPLAMALAR.....	125
4.1.1	<i>Akım verileri.....</i>	125
4.1.2	<i>Sediment verileri</i>	128
4.1.3	<i>Meteorolojik veriler.....</i>	132
4.2	COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ ORTAMINDA HİDROLOJİK VERİ ANALİZİ	139
4.3	YSA MODELLERİ	142
4.3.1	<i>Akım tahminleri.....</i>	144
4.3.2	<i>Sediment tahminleri.....</i>	149
4.4	ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON (MLR) MODELİ.....	159
4.4.1.1	MLR yardımıyla akım değerlerinden sediment tahminleri.....	159
4.4.1.2	MLR yardımıyla akım değerlerinden akım tahminleri	161
4.5	MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI VE MODEL PERFORMANSLARI.....	164
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	170
6.	KAYNAKLAR	173
7.	ÖZGEÇMİŞ	196

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
ADALINE	Adaptif Doğrusal Sinir Ağı
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference)	Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım
AR (Auto-Regressive)	Öz-bağımlı
ARTNN (Adaptive Resonance Theory Neural)	Uyarlamalı Rezonans Teorisi Sinir
BR	Bayesian Düzenleme Ağı
CF (Cascade-Forward)	Kademeli İlerlemeli
CG (Conjugate Gradient)	Eşlenik Gradyan
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EI (Efficiency Index)	Verimlilik İndeksi
FFBP	İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı
Fuzzy Logic	Bulanık Mantık
GD (Gradient Descent Algorithm)	Gradyan Azalma Algoritması
GDM (Gradient Descent Algorithm with Momentum)	Momentumlu Gradyan Azalma
GRYSA	Genelleştirilmiş Regresyon Yapay
HTTF (Hyperbolic Tangent Transfer Function)	Hiperbolik Tanjant Transfer
LM	Levenberg–Marquardt Algoritması
MAE (Mean Absolute Error)	Ortalama Mutlak Hata
MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MLP	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı
MLR	Çoklu Doğrusal Regresyon
MNLR	Çoklu Doğrusal Olmayan
NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous	Doğrusal olmayan Otoregresif
NF (Neuro-Fuzzy)	Bulanık Sinir
NSE	Nash Sutcliff Verimlilik Katsayısı
RMSE (Root Mean Square Errors)	Kök Ortalama Kare Hataları
RA	Regresyon Analizi
RGa (Real-Coded Genetic Algorithm)	Gerçek Kodlu Genetik Algoritma
RBANN	Radyan Tabanlı Yapay Sinir Ağı
SCG (Scaled Conjugate Gradient)	Ölçeklenmiş Eşlenik Gradyan
SCGD (Scaled Conjugate Gradient Descent)	Ölçeklenmiş Eşlenik Gradyan
SD	Steepest Descent Algoritması
SGİ	Sediment Gözlem İstasyonu
SOM	Self-Organizing Map
SAE (Sediment Rating Curve)	Sediment Anahtar Eğrisi
SSEs (Sum of Square Errors)	Hataların Kareler Toplamı
SVM (Support Vector Machine)	Destek Vektör Makinesi
TLRN (Time Lag Recurrent Neural Networks)	Zaman Gecikmeli Tekrarlayan
ANFIS (Adaptive Neural Fuzzy Logic)	Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.2. Ortadoğu Bölgesinde Bulunan Akarsu Havzaları (Fao-Aquastat, 2011)	5
Şekil 1.3. Ocak 2003-Aralık 2009 Tarihleri Arasında Nasa'nın Yerçekimi İyileşme ve İklim Deneyi (Grace) Uyduları Tarafından Ölçülen Dicle ve Fırat Nehir Havzalarında Toplam Su Depolama Alanının Milimetre Cinsinden Değişimi. (Kırmızılar Kuru, Maviler Daha Nemli Koşullar) (Nasa, 2013)	12
Şekil 2.1. USDH-48 Yöntemi İle Sediment Ölçümü.....	22
Şekil 2.2. USD-49 Yöntemi İle Sediment Ölçümü.....	22
Şekil 2.3. Örnek Bir Sediment Anahtar Eğrisi.....	23
Şekil 2.4. Dünya Su Erozyonu Risk Dağılım Haritası (Usda-Nrcs, 1998).....	30
Şekil 2.5. Türkiye Akarsulara Ulaşan Toprak Kayıpları Haritası (Anonim, 2017).....	31
Şekil 2.6. Fırat-Dicle Havzası'na Ait Akarsulara Ulaşan Toprak Kayıpları Haritası (Anonim, 2017).....	33
Şekil 2.7. Sediment Tanelerinin Akarsuda Taşınım Şekilleri (Camenen ve Larson, 2004)	35
Şekil 2.8. Genel Bir YSA Yapısı	38
Şekil 2.9. Yapay Sinir Ağlarının İşleyiş Şeması (Demuth ve Ark., 2006)	40
Şekil 2.10. Tek Kutuplu Adımsal Aktivasyon Fonksiyonu	43
Şekil 2.11. Çift Kutuplu Adımsal Aktivasyon Fonksiyonu	44
Şekil 2.12. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	45
Şekil 2.13. Parçalı Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu	45
Şekil 2.14. Gaussian Aktivasyon Fonksiyonu	46
Şekil 2.15. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu	47
Şekil 2.16. Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu	47
Şekil 2.17. İleri Beslemeli ve Geri Yayılımlı YSA Yapısı.....	51
Şekil 2.18. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Bir YSA Yapısı	54
Şekil 2.19. Radyal Tabanlı YSA Yapısı (Okkan Ve Dalkılıç, 2012)	57
Şekil 3.1. Fırat-Dicle Havzası Coğrafi Konum.....	82
Şekil 3.2. Fırat-Dicle Havzası.....	83
Şekil 3.3. Fırat-Dicle Havzasında Ortalama Yıllık Yağış Oranları (Worldclim, 2011) .	84

Şekil 3.4. Nasa'nın Grace Uydusu İle Çekilmiş Orta Doğu'daki Su Kayıpları (Çarkoğlu ve Eder, 2001).....	85
Şekil 3.5. Fırat Havzası ve Akarsuları (Un-Escwa ve Bgr, 2013).....	96
Şekil 3.6. Çalışma Alanına Ait AGİ, SGİ ve MGİ İstasyonları.....	109
Şekil 3.7. Limnigraf Ölçüm İstasyonları	110
Şekil 3.8. Thiessen Çokgeni İle Belirlenmiş MGİ'lerin Kapsadığı AGİ ve SGİ İstasyonları.....	114
Şekil 4.1. E21a019 Nolu İstasyona Ait Akım Histogramı.....	126
Şekil 4.2. E21a019 Nolu Akım İstasyonuna Ait Q-Q Grafiği	128
Şekil 4.3. Sediment Değerlerine Ait Histogram Grafiği.....	130
Şekil 4.4. Sediment Değerlerine Ait Q-Q Grafiği	130
Şekil 4.5. E21a019 İstasyonu Meteorolojik Ölçütlere Ait Frekans Histogramları	138
Şekil 4.6. E21a019 İstasyonu Meteorolojik Ölçütlere Ait Q-Q Grafikleri.....	138
Şekil 4.7. Fırat-Dicle Havzasına Ait Sayısal Yükseklik Haritası (DEM).....	139
Şekil 4.8 Uzun Yıllar Ortalama Sediment Miktarları (Ton/Yıl/Km ²)	139
Şekil 4.9. Mevcut İstasyonlara Göre Oluşturulmuş Günlük Biriken Sediment Miktarı (Ton/Gün)	140
Şekil 4.10. Uzun Yıllara Ait Aylık Yağış Ortalamaları (mm).....	141
Şekil 4.11. Mevcut İstasyonlara Göre Oluşturulmuş Aylık Ortalama Akım Miktarları (m ³ /s).....	141
Şekil 4.12. En İyi Akım Girişleri İle Elde Edilen En İyi YSA ve Eğitim Algoritması	144
Şekil 4.13. E21a015 Akım İstasyonu Gözlem ve Tahmin Değerlerine Ait Saçılma ve Gidiş Grafiği	146
Şekil 4.14. Akım Tahmininde En İyi Model Olan RBANN ve LM Grafikleri	147
Şekil 4.15. Fırat Nehrinde RBANN Modeli ve LM Algoritması İle Ağların Eğitim Süreci	148
Şekil 4.16. Dicle Nehrinde RBANN Modeli ve LM Algoritması İle Ağların Eğitim Süreci	148
Şekil 4.17. En Başarılı RBANN Model LM Algoritmasının Model Grafiği.....	149
Şekil 4.18. En İyi Sediment Girişleri İle Elde Edilen En İyi YSA ve Eğitim Algoritması	150
Şekil 4.19. Sediment Test Değerine Karşılık Gelen Transfer Fonksiyonları	152

Şekil 4.20. E21a015 Sediment İstasyonu Gözlem ve Tahmin Değerlerine Ait Saçılma ve Gidiş Grafiği	153
Şekil 4.21. Sediment Tahmininde En İyi Model Olan RBANN ve LM Grafikleri	158
Şekil 4.22. E21a019 İçin RBANN Modeli ve LM Algoritması İle Ağların Eğitim Süreci	158
Şekil 4.23. En Başarılı RBANN Model LM Algoritmasının Model Grafiği.....	159
Şekil 4.24. Fırat-Dicle Nehirleri İçin Akım Tahmini Yapılan İstasyonlar	161
Şekil 4.25. Akım Tahmininde Nehrin MLR Tahmini Üzerine Etkisi	164



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Ortadoğu ülkelerinde su kaynakları (milyon m ³ /yıl)	6
Çizelge 1.2. Türkiye 25 su toplama havzası için su ve toprak kaynakları potansiyeli (DSİ, 2017)	9
Çizelge 2.1. 2015 yılı DSİ tarafından işletilen akım, göl-gözlem ve su kalitesi gözlem istasyonları	18
Çizelge 2.2. Farklı sediment taşınım denklemlerine ait performanslar ve diğer özellikler	26
Çizelge 2.3. Karadan okyanuslara doğru olan sediment akış tablosu.....	28
Çizelge 2.4. Dünya'nın bazı büyük nehirlerinde su ve sediment akım miktarları.....	29
Çizelge 3.1. Kıyıdaş ülkelerdeki Fırat-Dicle drenaj havza alanları (km ²).....	86
Çizelge 3.2. Havzadaki kıyıdaş ülkelerin hacimsel katkıları (km ³) (Bilen, 1997)	87
Çizelge 3.3. Fırat-Dicle nehir havzasının su potansiyeli ve kıyıdaş tüketim hedefleri ..	87
Çizelge 3.4. Fırat-Dicle havzasında bulunan önemli barajlar ve genel özellikleri	90
Çizelge 3.5. Fırat havzası yükselti kuşakları ve bazı havza özellikleri	98
Çizelge 3.6. Seçilen AGİ ve SGI'lere ait genel bilgiler.....	111
Çizelge 3.7. Thieesen çokgen analizi sonucu MGİ istasyonlarının kapsadığı AGİ ve SGI istasyonları	115
Çizelge 3.8. Seçilen MGİ'lere ait genel bilgiler	116
Çizelge 3.9. En uygun giriş kümesinin belirlenmesi için yapılan denemeler	120
Çizelge 3.10. En uygun YSA yapısı için kullanılan farklı deneme kombinasyonları ..	121
Çizelge 4.1. Sediment ile ölçülen akım değerlerine ait olasılık (P) değerleri	125
Çizelge 4.2. Akım değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler	127
Çizelge 4.3. Sediment değerlerine ait normallik testi olasılık (P) değerleri	129
Çizelge 4.4. Sediment değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler	131
Çizelge 4.5. MGİ verilerine ait normallik testi probability (P) değerleri	132
Çizelge 4.6. Kullanılan 13 MGİ verilerine ait tanımlayıcı istatistikler	135
Çizelge 4.7. Akım tahmininde elde edilen en iyi giriş küme sonuçları	144
Çizelge 4.8. Fırat nehri YSA analizi akım tahmini regresyon R ve mse hata değerleri	145
Çizelge 4.9. Fırat ve Dicle YSA ile elde edilen R değerleri için MANOVA tanımlayıcı istatistikleri.....	147

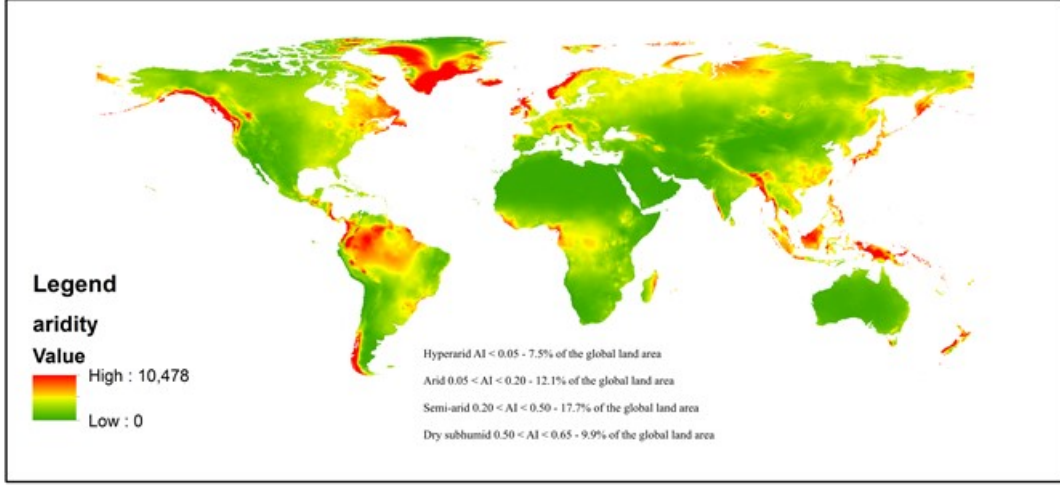
Çizelge 4.10. Sediment tahmininde elde edilen en iyi giriş küme sonuçları	150
Çizelge 4.11. Sediment analizinde uygun MLP katman sayısı MANOVA testi probability (P) değerleri.....	151
Çizelge 4.12. Fırat-Dicle havzası YSA analizi sediment tahmini regresyon R ve MSE hata değerleri.....	154
Çizelge 4.13. Sediment tahmin sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri	157
Çizelge 4.14. MLR yöntemi ile elde edilen sediment regresyon R değerleri	160
Çizelge 4.15. Fırat nehir kolları akım tahmininde kullanılan girdi ve çıktılar	162
Çizelge 4.16. Dicle nehir kolları akım tahmininde kullanılan girdi ve çıktılar	162
Çizelge 4.17. Fırat ve Dicle nehirleri MLR ile belirlenen akım tahmini regresyon R değerleri	163
Çizelge 4.18. Fırat-Dicle YSA ile elde edilen akım regresyon R değerlerinin karşılaştırılması.....	165
Çizelge 4.19. Fırat-Dicle YSA ile elde edilen sediment regresyon R değerlerinin karşılaştırılması.....	165
Çizelge 4.20. Akım değerlerinin MLR ile elde edilmiş regresyon R değerleri	167
Çizelge 4.21. Anlık sediment değerlerinin MLR ile elde edilmiş regresyon R değerleri	168
Çizelge 4.22. Tüm YSA denemeleri ve MLR sonuçları için elde edilen performans ölçütleri	169

1. GİRİŞ

Günümüzde su kaynakları küresel boyutlarda önemli problemlerle karşı karşıyadır. Dünyamızı tehdit eden en önemli problemlerin başında gelen küresel ısınma dünyanın farklı bölgelerinde farklı şekilde (kimi yerlerde kuraklık, kimi yerlerde ise şiddetli yağışlar ve buna bağlı olarak meydana gelen taşkınlar) kendini hissettirmeye başlamıştır. Küresel ısınma sonucu su kıtlığı giderek belirgin ve yaygın bir sorun haline gelmekte; su kalitesi hemen her ülkede hızla bozulmaktadır. Dünyada; endüstriyel, tarımsal ve içme suyu ihtiyacı her geçen gün artmakta; çevresel faktörler nedeniyle, kısıtlı su kaynakları artan talebi karşılayamamaktadır. Bunun yanında, şiddetli yağışlardan dolayı taşkınlar meydana gelmekte ve bunun bir sonucu olarak can kayıpları ve yaşam alanlarında zararlar oluşmaktadır.

Yapılan çalışmalara göre ülkemizin de küresel ısınmadan önemli oranda etkileneceği tahmin edilmektedir. Yarı kurak bir iklim kuşağında olan ülkemizde ileriki dönemlerde kuraklığın daha fazla yaşanacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde su kaynaklarının yönetimi ile ilgili problemlerin başında, konuyla ilgili çalışan kurumlar arasındaki koordinasyonun yeterince sağlanamaması gelmektedir. Ayrıca ekonomi-çevre sağlığı ile ilgili yeni teknolojiler kullanılmamakta ve su kirliliği ile ilgili önleyici çalışmalar yetersiz kalmaktadır.

Nasıl ki suyun varlığı tarihe geçen uygarlıkların doğmasını sağlamışsa, yokluğu da kuraklığa ve yaşamın son bulmasına neden olmuştur (Dursun, 2006). Şekil 1.1’de 2009 yılına ait küresel kuraklık haritası görülmektedir. Çölleşme, arazi tahribatı ve kuraklık Dünya’da 4 milyar ha alanı ve 168 ülkede yaşayan 1,5 milyar nüfusu doğrudan tehdit etmektedir. Her yıl 12 milyon hektar tarım arazi bozulmaktadır. Ziraî üretimde gelecek on yılda %2 azalma beklenmektedir. Her yıl 5,2 milyon hektar orman arazisi azalmaktadır. Savaşlardan sonra en büyük göç çölleşmeden kaynaklanmaktadır. Son 20 yılda 10 milyon kişi göç etmiş durumdadır. İklim değişikliğine sebep olan karbon emisyonlarının %25’i ise arazi tahribatından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.1. Küresel kuraklık haritası (FAO-Aquamaps, 2009)

Bu problemler sosyal ve ekonomik açıdan zincirleme pek çok soruna da neden olmaktadır. En önemlisi de yeryüzünde ekosistemlerdeki yaşamın sürdürülebilirliğinin tehdit altında olmasıdır. 1992’de Rio de Janeiro’da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Dünya Zirvesi sonucunda açıklanan Gündem 21 başlıklı rapor, doğal kaynakların yönetimine farklı bir bakış açısı getirmiştir (Alpaslan ve Harmancıoğlu, 1997). Raporda, çevre bütününe bir parçası olarak tanımlanan su kaynaklarının da sürdürülebilir kalkınma felsefesi içinde, havza bazında ve diğer doğal kaynaklarla bütünleşik biçimde yönetilmeleri gerektiği vurgulanmıştır.

Su kaynaklarının yönetimi; su kaynaklarının planlanması, geliştirilmesi ve koruma yöntemlerinin belirlenerek, zararlarının önlenmesi çalışmalarını içermektedir. Yerüstü ve yer altı su kaynakları olarak iki gruba ayırabileceğimiz tatlı su kaynakları zaman ve alan ölçeğinde sınırlı bir niteliğe sahiptir. Bu yüzden kaynakların iyi değerlendirilmesi ve gelecekte karşılaşılabilecek sorunlar göz önüne alınarak doğru dağıtımının yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı, suyun alan ve zaman içerisindeki dağılımının iyi analiz edilmesi, var olan su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi son derece önemlidir (Saplıoğlu, 2010).

Sahip olunan yüzeysel su miktarının belirlenmesi seviye gözlemleri ile sağlanabilir. Değişimlerin, başka bir ifadeyle eğilimlerin izlenmesi toplumun gereksinimleri için yeterli miktarda ve kalitede suyun sunulması açısından büyük önem taşımaktadır (Doğan, 2009). Bu sayede gelecek için işletme politikaları geliştirilmekte ve belli dönemler için

su bütçeleri tayin edilebilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki suya olan ihtiyacın gittikçe artması gerçeği yanında, su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik maliyetler de buna paralel olarak yükselmektedir (Rosegrant ve ark., 2002).

Bu durumun bir sonucu olarak, son yıllarda çok değişkenli modeller üzerinde daha fazla durularak su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için geleceğe dönük çıkarımlar yapılmaya çalışılmıştır (Pegram ve James, 1972). Özellikle karar destek sistemleri, bilgisayar teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi yeni teknolojiler bu alanlarda kullanılmaya başlanılmıştır. Karar destek sistemleri, karar verme konusunda destek hizmeti vermekte ve what-if (eğer, ne yapmalı) senaryolarının denenerek risk analizleri yapılmasını sağlamaktadır (Öner, 1995). Tüm bu bilgiler ışığında etkin bir çalışma olarak havza modellerinin bilgisayar ortamında karar destek sistemleriyle ele alınması, çeşitli senaryoların incelenerek olası kriz durumlarına hazırlıklı olmak açısından büyük önem taşımaktadır (Burak ve ark., 1997).

Su kaynaklarının geliştirilmesi, planlanması ve yönetiminde öncelikli olan konu, hidrolojik verilerin toplanması ve analiz edilmesidir. Özellikle meteoroloji çalışmalarında kullanılan istatistiksel yöntemlerin çoğu, gözlemlerin zaman içinde bağımsız olarak dağıldığı varsayımına dayanmaktadır. Bir olayın oluşumu, önceki tüm olaylardan bağımsız olarak kabul edilir. Bu varsayım, meteorolojik zaman serileri için her zaman geçerli değildir. Genel olarak, büyük değerler büyük değerleri takip ederken küçük değerler de küçük değerleri takip etmektedir. Bu anlamda hidro-meteorolojik değerlerin kümelenme eğilimi vardır. Bundan dolayı, çoğu hidro-meteorolojik gözlemler zaman içinde bağımsız olarak dağılmazlar. Kısacası, bahse konu gözlemler arasındaki bağımlılık zaman tabanındaki bir artış ile azalmaktadır (Yürekli ve ark., 2007).

Mevcut veriler genellikle sürecin tamamını tam olarak yansıtmadığından, daha güvenilir kararlar alabilmek için sürecin modellenmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere havza hidrolojik karakteristikleri birçok faktörün birlikte etkisi altında meydana geldiğinden hidrolojik değişkenlerin gelecekteki miktarları hakkında tahmin yapabilmek için istatistik ve tahmin (simülasyon) tekniklerinden faydalanılmaktadır. Modeller planlama ve tasarım aşamasında veri üretmede ya da süreçlerin gelecekteki değerlerini tahmini için kullanılabilir (Bayazit, 1998).

Ortadoğu'daki Su Varlığı

Kuraklık, hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme, kirlenme gibi nedenlerle, doğrudan veya dolaylı olarak zamanla azalan su kaynakları, geçmişte olduğu gibi gelecekte de bölgelerdeki farklı siyasi anlaşmazlıklarla da bağlantılı olarak devletler arasında ihtilaflara yol açmaktadır.

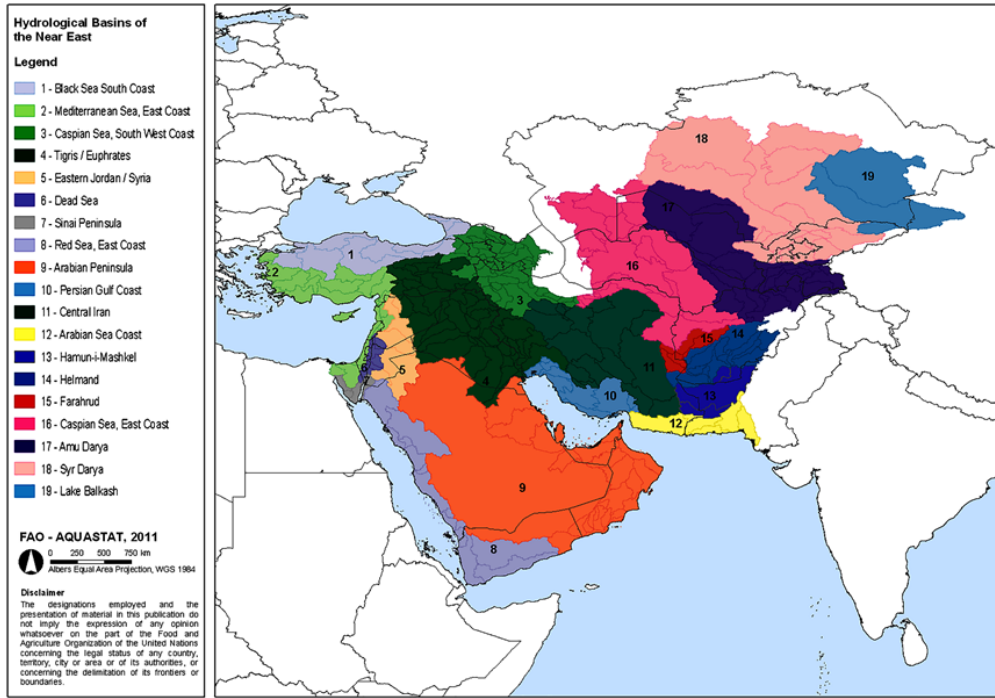
Suyun Orta Doğu'da yer alan ülkelerden bazılarında bol bazılarında ise kıt olması, suyu stratejik öneme sahip hale getirmiştir. Bunun en önemli nedeni, suyun içme suyu ihtiyacını karşılayan bir kaynak olmasına ek olarak; turizm, tarım ve benzeri birçok alanda verimliliği doğrudan etkileme kapasitesine sahip çok önemli bir kaynak olmasıdır. 2008'de Fırat-Dicle havzasında meydana gelen şiddetli bir kuraklık, gelecekte bu alanda neler olabileceğini açıkça ortaya koymuştur. Gelecekte daha sık ve yoğun olabilecek bu tür olayların, su varlığını ve gıda güvenliğini tehdit edeceği ve bölgede çatışmalara neden olacağı tahmin edilmektedir (Kibaroglu ve Maden, 2014).

Orta Doğu, yirminci yüzyılın başından bu yana çoğunlukla petrol kaynakları konusunda çatışmaların merkezi olmuştur. Yüzyılın sonlarına doğru, bölge diğer birçok doğal kaynaklı çatışmalara da tanık olmuştur. Bölgedeki çatışmanın önemli nedenlerinden birisi de kıt olan su kaynaklarıdır. Özellikle su varlığı yönünden en fakir bölge olan Ortadoğu'da, su kaynaklarının kıt olmasının bir sonucu olarak sınır-aşan suların paylaşımı veya kullanımı konusunda ciddi anlaşmazlıklar ortaya çıkmıştır ve bu sorunlar günümüzde de devam etmektedir (Bilgiç, 2006). Bilim insanlarının tespitine göre hâlihazırda su yoksulu olan 26 ülkenin 9'u Ortadoğu ülkesidir.

Çatışmalara yol açan diğer bir önemli mesele ise uluslararası akarsulardır. Bunlar, iki farklı devletin topraklarında yer alıp bu devletler arasında sınır oluşturan ve her iki ülke arasında paylaşımına tabi olan sulardır. Sınır-aşan akarsular ise, bir devletin sınırları içinde doğarak başka devletin sınırlarına geçip buralarda aktıktan sonra denize dökülen sulardır. Ancak son dönemlerde genel olarak uluslararası su kavramı, sınır-aşan sular tabiri yerine daha çok kullanılmaktadır. Akarsular, göller, kanallar yer altı suları bugün artık suyolları adı altında ele alınmaktadır (Pazarcı, 1996).

Ortadoğu; Mısır, Yemen, Umman, Birleşik Arap Emirlikleri, Bahreyn, Katar, Kuveyt, Suudi Arabistan, Irak, Suriye, Lübnan, İsrail, Filistin, Türkiye ile İran'ı içermekte ve 8

012 779 km² bir alanı kapsamaktadır. Ortadoğu dünyadaki en geniş kurak bölgedir. Bölgede toplamda 19 hidrolojik akarsu havzası bulunmaktadır (Şekil 1.2). Bölgede sadece Türkiye ve Lübnan'ın su kaynaklarının kendilerine yeterli olduğu ileri sürülmektedir (Koluman ve Şen, 2002). Bazı siyasi gözlemciler ve bilim adamlarına göre, 21. yüzyılın en değerli maddesi olarak görülen su, Ortadoğu Bölgesi için petrolden daha kıymetli ve yokluğu ancak havayla kıyaslanabilecek bir unsurdur (Tiryaki, 1994).



Şekil 1.2. Ortadoğu bölgesinde bulunan akarsu havzaları (FAO-AQUASTAT, 2011)

Arap ülkelerinde yüzey su kaynaklarının toplamı, 296 km³'tür. Yer altı su kaynakları ise 43 km³'tür. 1989'da 314 milyon olan bölge nüfusunun yüzde 2,8 oranındaki artış hızıyla 2000 yılında 420 milyona ulaştığı, 2020 yılında ise 400 milyona yükseleceği tahmin edilmektedir. Dünya nüfusunun %5'ine sahip olan Ortadoğu su kaynaklarının ancak %1'ine sahiptir ve bölgede hızla artan nüfusla beraber küresel ısınmanın da etkisiyle kıt olan su kaynaklarına olan olumsuz etki giderek artmaktadır. Sonuç olarak tüm bu olaylardan dolayı sorunun gelecekte daha da büyüyerek ciddi boyutlara ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca Fırat, Dicle, Ürdün ve Nil nehirlerinin bölgede birden çok devlet tarafından kullanılıyor olması, sorunun siyasi boyutu olduğunu da göstermektedir (Koluman ve Şen, 2002)

Ortadoğu’da, bölgeye hayat veren beş su kaynağı vardır. Bunlar; Nil Nehri, Seria (Ürdün) Nehri, Asi Nehri ile Fırat ve Dicle nehirleridir (Kona, 2004). Ortadoğu’da yer alan birçok ülke su ihtiyaçlarının %67’sini “sınır-aşan akarsulardan”, %24’ünü yeraltı kaynaklarından ve deniz suyu arıtma tesislerinden, %9’unu yağmur sularından karşılamaktadırlar. 1992 yılı verilerine göre, Dünyadaki tuz arıtma tesislerinin toplam kapasitesi günde 15,6 milyon m³ (yılda 5,7 km³) olarak tespit edilmiş olup, bu kapasitenin %24,4’ü Suudi-Arabistan’da, %10,6’sı Birleşik Arap Emirlikleri’nde, %9,1’i Kuveyt’te bulunmaktadır (Tiryaki, 1994).

Çizelge 1.1’de Ortadoğu ülkelerinde mevcut bulunan su kaynakları listesi verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi Irak ve Mısır dışındaki birçok ülkede su kaynakları sınırlıdır.

Çizelge 1.1. Ortadoğu ülkelerinde su kaynakları (milyon m³/yıl)

Ülke	Yüzey Suları	Yeraltı Suları	Toplam Potansiyel Su
Suriye	18.000	2.000	20.000
Ürdün	650	600	1.250
Irak	45.000	1.500	46.500*
Lübnan	3.300	600	3.900
İsrail	640	800	1.440
Filistin	-	600	600
Suudi Arabistan	200	4.000	4.200
Katar	0	50	50
BAE	50	750	800
Kuveyt	0	200	200
Bahreyn	0	100	100
Umman	1.400	700	2.100
Yemen	2.800	1.800	4.600
Mısır	56.000	3.500	59.500*
Toplam	128.040	17.200	145.240

Kaynak: (Uluatam, 2004)

İklim açısından bakıldığında, kurak ve yarı kurak bir bölge olan Orta Doğu'da yaz mevsimleri uzun ve sıcak sürmekte, en çok yağış da sonbahar ve kış aylarında düşmektedir. Kurak iklime ek olarak geniş çöl alanlarına sahip olması nedeniyle Orta Doğu her zaman ciddi bir su kıtlığı sorunu ile karşı karşıya kalmıştır.

Bölgedeki içme suyu kaynaklarının kıtlığı bölge ülkeleri için her zaman ciddi bir tehdit oluşturmuştur. Bölge ülkelerinin çoğunluğu 1 000 m³'ten daha az su kaynağına sahiptirler (Bou-Zeid ve El-Faled, 2002). Orta Doğu'da nüfus artış hızının bugünkü haliyle devam etmesi halinde 2025 yılı itibariyle bölgedeki kişi başına düşen yenilenebilir su kaynaklarının miktarının 667 m³ seviyesine düşmesi beklenmektedir. Bu oran, dünyada kişi başına düşen ortalama su kaynağı miktarı olan 4 780 m³'e oranla çok düşük bir değerdir (Berkoff, 1994).

Bölgedeki Yarmuk ve Ürdün nehirlerindeki su seviyelerinde ciddi oranda azalmalar olacağı beklenmektedir. Su kaynaklarında meydana gelecek azalmalar hem bu nehirlerden faydalanan İsrail, Filistin ve Ürdün'ü bireysel olarak hem de bu ülkeler arasındaki ilişkileri olumsuz yönde etkileyecektir. Özellikle İsrail'in su arzında önümüzdeki yüzyıla kadar %60 oranında bir azalma olacağı tahmin edilmektedir (Anonim, 2008).

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin Dördüncü Değerlendirme Raporu IPCC (2007), Akdeniz Havzasının doğusunda yer alan Orta Doğu'nun küresel iklim değişikliğine karşı en savunmasız bölgelerden biri olduğuna dikkat çekmektedir. Ayrıca, bölge için daha ayrıntılı bilgiler sağlayan ölçek azaltma çalışmaları ile, 21. yüzyılın sonuna doğru sıcaklık artışlarının yanı sıra yağışta önemli ölçüde düşüşler olduğu ortaya konulmuştur (Önol ve Semazzi, 2009).

Bu bağlamda, özellikle su fakiri ülkeler arasında ilk sıralarda Ortadoğu ülkeleri yer almaktadır. 2000 yılı itibariyle Afrika'da 15 ülke ile Ortadoğu'da 9 ülkenin su kıtlığı çektiği tespit edilmekle beraber, bu 9 Ortadoğu ülkesinin 2025'lere kadar nüfuslarını ikiye katlayacakları ve sorunun tırmanacağı tahmin edilmektedir (Esenyel, 2001).

Türkiye’deki Su Varlığı ve Fırat-Dicle Havzası

Türkiye orta iklim kuşağı içinde yer almaktadır. Bununla birlikte deniz düzeyine göre yükseklik, kıyıya koşut dağ sıralarının uzanışı, denize yakınlık ve uzaklık gibi nedenlerle iklim bölgesel değişiklikler göstermektedir. Ülkemizde yağışların zaman içinde ve bölgelere göre dağılımları değişken, nehirlerin akışları düzensizdir. Türkiye sınırlarının uzunluğu 2 753 km’dir ve bu uzunluğun %22’sini nehirler oluşturmaktadır. Türkiye hem sahip olduğu su potansiyeli hem de kullanılabilir su varlığı açısından, kişi başına düşen miktarlarına bakıldığında su zengini ülkelerin oldukça gerisindedir. Dünya Su Günü nedeniyle, 22 Mart 2005’te açıklanan BM’nin Su Raporu’nda; Türkiye’nin 2025 yılında su fakiri ülkeler arasında olacağı, kişi başına yıllık su tüketiminin 1 000 m³’ün altına ineceği, 2040 yılında ise Suriye ve Irak gibi şiddetli susuzluk çekecek ülkelerin hedefi haline geleceği değerlendirmeleri yer almıştır (Bilgiç, 2006).

Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre, gerekli önlemlerin alınmaması halinde 2025 yılından itibaren Türkiye’de ciddi su krizinin yaşanabileceği belirtilmektedir. Bu konuda BM’nin “Uluslararası Tatlı Su Yılı” olarak ilan edilen 2003 raporunda da 2025 yılının Türkiye’de kuraklık için bir yıldönümü olacağına dikkat çekilmiş ve su sıkıntısının yaşanacağına yer verilmiştir. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığına göre de 2025’te ülkenin nüfusu 80 milyonu aşacak ve bu tarihte kişi başına düşen yıllık tatlı su miktarı %37 oranında azalacaktır.

Kişi başına düşen yıllık ortalama su miktarlarının Asya için 3 000 m³, Batı Avrupa için 5 000 m³, Afrika için 7 000 m³, Kuzey Amerika için 18 000 m³, Güney Amerika için 23 000 m³ ve dünya ortalamasının da 7 600 m³ olduğu düşünüldüğünde, Türkiye’nin çok uzağında olduğu görülmektedir. Türkiye, yerüstü ve yeraltı tatlı su potansiyeli ile dünyada 14, kişi başına düşen yıllık tatlı su miktarı ile de 19. sırada bulunmaktadır.

Türkiye 25 havzaya bölünmüş olup 2016 yılı itibari ile DSİ tarafından belirlenen ve ölçümü yapılan 25 havza için su ve toprak kaynakları potansiyeli Çizelge 1.2’de verilmiştir. Akarsularımızın tuzluluk değerlerine göre, %85.5’i, 0.7 dS/m’den düşük tuzluluğa, %13’ü 0.7-2.0 dS/m arasında ve %15’i de 2.0 dS/m’den büyük tuzluluğa sahiptir. Kızılırmak nehri suyu ise 2.4 dS/m’lik yıllık ortalama tuzluluk değeri ile en tuzlu yüzey su kaynağımızdır ve üçüncü sınıf-orta tuzludur (Kendirli ve Benli, 2001).

Çizelge 1.2. Türkiye 25 su toplama havzası için su ve toprak kaynakları potansiyeli (DSİ, 2017)

Havza				Havzadaki Ortalama Su			Havzada Su		Havzadaki		Developman n Gerçekleşme si İçin Gerekli Yatırım	Developman Sonu Elde Edilecek Faydalar					
No	Havza Adı	Nüfus 2015 Yılı	Yüz Ölçümü (Km²)	Yıllık Ort. Yağış (Mm)	Yıllık Havza Verimi (L/S/K)	Yıllık Toplam Akiş (Km³)	Baraj (Adet)	Depo Edilen Su (Hm³)	Tarım Alanı (Ha)	Sulanab ilir Alan (Ha)		Sulama (Ha)	Taşkın Koruma (Ha)	Kurutma (Ha)	Enerji		İÇME SUYU (Hm³/Yı l)
															Kurulu Güç (Mw)	Ortalama Üretim (Gwh)	
1	MERİÇ	749510	14560	604	2,9	1,33	22	2310,87	109532	107799	6170374183	186582	83283	9018	55,45	162,13	98,7
2	MARMAR	17608408	24100	728,7	11	8,33	60	4779,16	865704	729957	26664499188	112168	8213	0	61,236	244,46	3664,66
3	SUSURLU	3793746	22399	711,6	7,2	5,43	35	3360,42	850046	755934	18942222643	335943	57228	5000	521,325	1576,975	471,671
4	KUZEY EGE	1112098	10003	624,2	7,4	2,09	16	940,65	367479	316348	0	0	0	0	0	0	0
5	GEDİZ	1588561	18000	603	3,6	1,95	18	3929,88	667207	623403	2924685875	75555	22300	0	76,3	215,7	287,62
6	KÜÇÜK MENDERES	4168415	6907	727,4	5,3	1,19	28	1162,18 8	222437	194799	8601161542	190693	77046	0	6,95	22,935	314,744
7	BÜYÜK MENDERES	1346490	24976	664,3	3,9	3,03	11	1951,79 4	104429 6	907383	7061816305	217880	36000	0	569,713	1739,669	34,53
8	BATI AKDENİZ	908877	20953	875,8	12,4	8,93	16	819,22	437356	406601	4244737677	73775,9 9	1500	0	339,198	1263,524	102,979
9	ANTALYA	3341962	19577	1000,4	24,2	11,06	29	3206,45	451224	448111	21851936659	243965	34384	17793	1335,54	4454,881	1121,72
10	BURDUR	680105	6374	446,3	1,8	0,5	19	1587,18	251403	249484	3969934474	113776	11085	2319	249,426	829,054	0

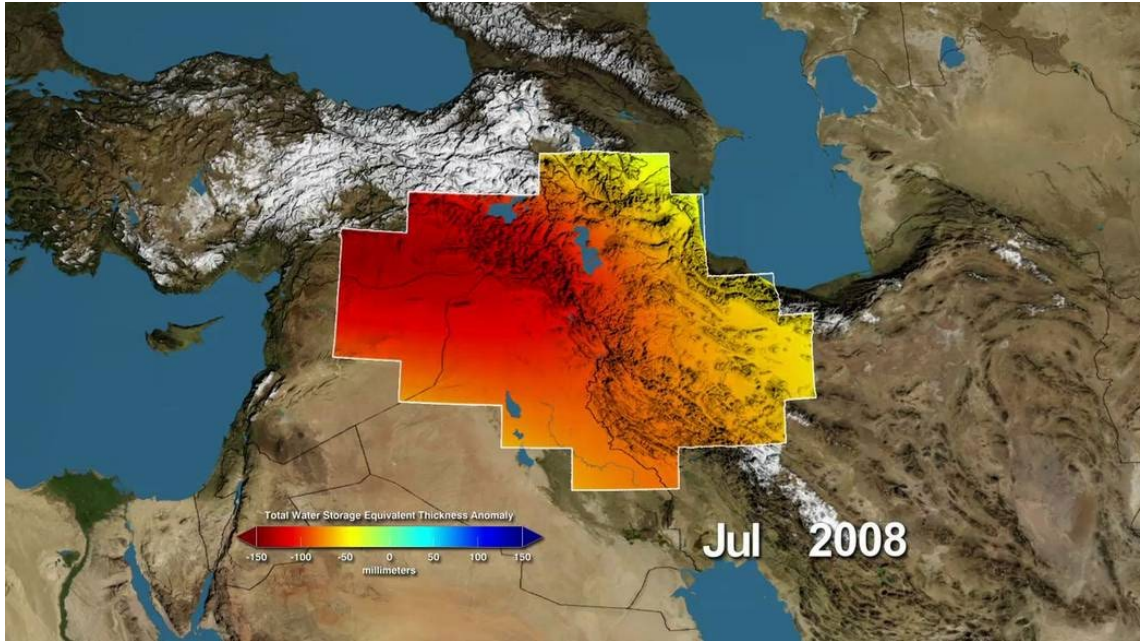
Çizelge 1.2. (Devam) Türkiye 25 su toplama havzası için su ve toprak kaynakları potansiyeli

Havza				Havzadaki Ortalama Su			Havzada Su Deposu		Havzadaki Toprak Kaynakları		Developman n	Developman Sonu Elde Edilecek Faydalar					
N o	Havza Adi	Nufusu 2015	Yüz Ölçümü (Km²)	Yillik Ort. Yağış (Mm)	Yillik Havza Verimi (L/S/Km²)	Yillik Toplam Akiş (Km³)	Baraj (Adet)	Depo Edilen Su (Hm³)	Tarım Alanı (Ha)	Sulanabili r Alan (Ha)		Sulama (Ha)	Taşkin Koruma (Ha)	Kurutm a (Ha)	Enerji		İçme Suyu (Hm³/Yı l)
											Gerçekleşme si İçin Gerekli Yatırım				Kurulu Güç(Mw)	Ortalama Üretim (Gwh)	
11	AKARÇAY	709015	7605	451,8	1,9	0,49	8	242,4	364411	359938	1601170529	77057	12737	0	3,95	25,62	23,44
12	SAKARYA	726283	58160	524,7	3,6	6,4	41	6928,04	2814341	2681137	29199752182	285758	55857	23250	1045,774	3146,94	1646,11
13	BATI KARADENİZ	1879209	29598	811	10,6	9,93	20	4433,128	855008	640557	5706350224	98265	13427	308	553,107	1857,802	167,59
14	YEŞİLIRMAK	2721221	36114	496,5	5,1	5,8	40	11504,69	1617206	1401213	24190657810	361500	128150	0	3094,142	10045,014	213,82
15	KIZILIRMAK	371529	78180	446,1	2,6	6,48	86	17355,9	4049796	3761142	28579214859	618192	5277	0	1503,6182	5435,455	197,55
16	KONYA KAPALI	3105368	53850	416,8	2,5	4,52	26	7301,44	2182762	2134915	25382179760	274197	207	5645	684,9448	2458,62	159,9
17	DOĞU AKDENİZ	1745221	22048	745	15,6	11,07	11	2417	438281	327790	7422861991	100955	3418	5265	770,15	2844,48	292,77
18	SEYHAN	218316	20450	624	12,3	8,01	14	6896,66	764673	714014	18269521800	461736	99094	9260	2300,187	7895,82	416

Çizelge 1.2. (Devam) Türkiye 25 su toplama havzası için su ve toprak kaynakları potansiyeli

Havza				Havzadaki Ortalama Su			Havzada Su Deposu		Havzadaki Toprak Kaynakları		Developman n	Developman Sonu Elde Edilecek Faydalar					
N o	Havza Adi	Nufus 2015 Yili	Yüz Ölçümü (Km²)	Yıllık Ort. Yağış (Mm)	Yıllık Havza Verimi (L/S/Km²)	Yıllık Toplam Akiş (Km³)	Baraj (Adet)	Depo Edilen Su (Hm³)	Tarım Alanı (Ha)	Sulanabili r Alan (Ha)		Sulama (Ha)	Taşkin Koruma (Ha)	Kurutm a (Ha)	Enerji		İÇME SUYU (hm³/yıl)
											Gerçekleşme si İçin Gerekli Yatırım				Kurulu Güç (Mw)	Ortalama Üretim (Gwh)	
19	ASİ	153350	7796	815,6	3,4	1,17	8	1145,07	376240	331719	3832251852	105400	33000	0	53,069	223,53	82,32
20	CEYHAN	160948	21982	731,6	10,7	7,18	21	5431,47	779792	713670	12456532182	220626	21272	2100	2467,852	7844,233	52
21	FIRAT- DİCLE	126464 09	184918	1347,3	21,4	52,94	147	152537, 04	5442031	5248944	25750508268 7	2394278	5000	0	20011,42	66894,037	945,96
22	DOĞU KARADENİ	240448 0	24077	1198,2	19,5	14,9	43	2757,15	712575	350717	28665101514	15109	1405	0	4257,639	14319,877	182,18
23	ÇORUH	246920	19872	629,4	10,1	6,3	9	4964,33	326220	303362	28099186399	25709	324	0	3340,168	10429,141	6,5
24	ARAS	584360	27548	432,4	5,3	4,63	20	5591,36	642017	641137	9797130059	292499	3740	0	713,2884	2375,2	43,76
25	VAN KAPALI	109639 7	19405	474,3	5	2,39	9	674,9	436485	433319	4830799277	88900	0	3000	435,962	1315,563	80
	TOPLAM	78 741 053	779452(XX)	658,9(X)	209,3	186,05	757	254228, 41	2805431 0	25753586	58596916167 2	6970518 ,99	713947	82958	44450,41	147620,66	10606,5 311

Fırat ve Dicle havzası, 25 havzaya ait yüzey suyunun 1/3'nü oluşturmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle olumsuz etkileneceği öngörülen havzanın su kaynaklarının durumu konusunda NASA'nın GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydularından alınan bilgilere dayanılarak, Kaliforniya Üniversitesi'ndeki bilim insanları ve NASA araştırmacılarının 2003-2010 yılları arasındaki gözlemlerde Fırat-Dicle nehir havzası boyunca 144 km³ içilebilir su rezervinin kaybolduğunu ortaya koymuşlardır. Bu su kaybı miktarı hemen hemen Lut gölünün tüm su miktarına eşittir (Şekil 1.3). Bu kaybın, Hindistan'daki kaybın ardından dünyada bir su kaynağında en hızlı ikinci su kaybının yaşandığı havza olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1.3. Ocak 2003-Aralık 2009 tarihleri arasında NASA'nın yerçekimi iyileşme ve iklim Deneyi (GRACE) uyduları tarafından ölçülen Dicle ve Fırat nehir havzalarında toplam su depolama alanının milimetre cinsinden değişimi. (Kırmızılar kuru, maviler daha nemli koşullar) (NASA, 2013)

Su kaynakları analizleri dışında özellikle IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 3. değerlendirme raporu iklim modellemelerine göre, Türkiye'de gerçekleşmesi beklenen ortama sıcaklıkların 2050 yılına kadar, sera gazlarının da etkisi dikkate alınarak yapılan öngörülerle 1 ile 3 °C arasında artacağı öngörülmektedir (Bahadır, 2011).

Fırat-Dicle Havzası, Ortadoğu'nun kar suyuyla beslenen iki önemli nehrine ev sahipliği yapmaktadır. Türkiye, Suriye, Irak ve İran hidroelektrik enerji üretimi, sulama ve evsel tüketimde yararlandıklarından, bu akarsular kritik önem taşımaktadır (Kavvas ve ark.,

2011). Ülkemizin stratejik anlamda en önemli su kaynaklarından olan Fırat ve Dicle nehirlerinin üst havzası ülkemiz sınırları içindedir. Ayrıca Cumhuriyet tarihinin en büyük yatırım projelerinden olan GAP projesi de bu havza içinde yer almaktadır. Bu anlamda GAP projesinin başarısı her şeyden önce bu havzanın su kaynaklarının optimal kullanımına bağlıdır.

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bugün dünyamızı tehdit eden en önemli problemlerin başında gelen küresel ısınma dünyamızın farklı bölgelerinde farklı şekilde (kimi yerlerde kuraklık, kimi yerlerde ise şiddetli yağışlar ve buna bağlı olarak meydana gelen taşkınlar) kendini hissettirmeye başlamıştır. Elbette ülkemizde küresel ısınmanın tehdidi altında bulunmaktadır.

Yarı kurak bir iklim kuşağında olan ülkemizde ileriki dönemlerde kuraklığın daha fazla yaşanacağı tahmin edilmektedir. Bu anlamda su toplama havzalarının hidrolojik karakteristiklerinden olan akım ve sedimentin gelecekteki miktarlarının tahmini önemli olmaktadır. Bilindiği üzere havza hidrolojik karakteristikleri birçok faktörün birlikte etkisi altında meydana geldiğinden hidrolojik değişkenlerin gelecekteki miktarlarını doğru bir şekilde belirleyebilmek için istatistik ve tahmin tekniklerinden faydalanılmaktadır.

Bu çalışma ile Fırat-Dicle Havzasında ölçülen hidrolojik değişkenlerden akım ve sediment miktarlarının günümüzde birçok alanda kullanılabilen yapay sinir ağları (YSA) tekniğiyle tahmin edilebilme imkânları araştırılmış ve en uygun ağ yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Gerekli meteorolojik veriler ise havza içerisinde ve yakın çevresinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden sağlanmıştır.

Akım tahminleri için; eldeki aylık ortalama meteorolojik veriler ve aylık ortalama akım verileri kullanılmıştır. Fırat ve Dicle nehir kolları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Herbir nehir kolu en üst noktadan başlayarak, sınırdan çıkışa kadar olan bölgede yığılmalı olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bir sonraki akımın tahmininde kendinden önceki istasyonların akım değerlerinin tümü kullanılmıştır. Örneğin Dicle nehrinde E26A010 nolu istasyonun tahmini için kendinden bir önceki E21A074 istasyonu kullanılmıştır. Bir sonraki E26A026 nolu istasyonun tahmini için yine kendinden önceki iki istasyon olan E21A074 ve E26A010 istasyonları kullanılmıştır. Bu amaçla Fırat için 5 akım tahmini ve Dicle için 3 akım tahmini gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak YSA yapıları temelde en çok

kullanılan Radyan Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RBANN), İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (FFBP), Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (MLP) olarak belirlenmiştir.

Sediment tahminleri için; Havzada Fırat ve Dicle nehirleri ve çevre kollarında bulunan, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmış Akım Gözlem İstasyon (AGİ)'lerinden ölçülen aylık ortalama akım ve sediment verileri ile meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu amaçla akım tahminlerine benzer şekilde RBANN, FFBP, MLP yapıları karşılaştırılmıştır. Akım tahmininden farklı olarak, her sediment istasyondaki akım ve yakınındaki meteorolojik veriler kullanılarak sadece o istasyondaki sediment tahmin edilmeye çalışılmıştır. 20 Sediment Gözlem İstasyonu (SGİ) için 20 ayrı sediment tahmini yapılmıştır.

Ayrıca hem akım hem de sediment tahminlerinde elde edilen sonuçlar, Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) yöntemi ile kıyaslanmıştır. Bu sayede kullanılan YSA yöntemlerinin doğru ve gerçekçi bir şekilde tahmin başarısı ölçülmüş olacaktır. Deneme sırasında eksik veya ölçülmemiş verilerin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi ile, veri ölçümü için kullanılması muhtemel girdiler azaltılmış olacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Akım ve Sediment Gözlemleri

2.1.1 Akım gözlemleri

Su kaynakları ile ilgili analizlerin doğru bir biçimde yapılabilmesi için su kaynaklarının değerlendirme safhasında doğru ve uzun vadeli ölçümlerin elde edilmesi son derece önemlidir. Uygun bir yönetim için havza karakteristiklerinden olan su kalite ölçütleri, sediment, kuraklık, nehir akım miktarları, yağış-akış ilişkisi gibi karmaşık birçok parametrenin doğru bir şekilde belirlenmesi veya tahmin edilmesi zorunludur.

Gelişmiş ülkelerde bu ölçümler çok sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesine rağmen ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler ile az gelişmiş ülkelerde doğru ve uzun süreli veri elde edilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda eldeki güvenilir verilere dayanarak doğruluğundan şüphe edilen veya uzun süreli ölçümü bulunmayan noktalardaki hidrolojik verilerin, mevcut ya da yeni geliştirilecek yöntemlerle iyileştirilmesi veya elde edilmesi gerekmektedir. Su kaynakları potansiyelimizin ortaya konulabilmesi için bu kaynaklar üzerine gözlemlerin yapılarak değerlendirilmesi ve en iyi fayda için projelendirilmesi zorunlu hale gelmektedir (Saplıoğlu, 2010).

Tahmin işlemi, karmaşık ve birbiriyle etkileşim içinde olmayan binlerce veri içerebildiği için oldukça karışık bir sistemdir. Bir akarsudaki akım havzaya düşen yağışa bağlı olmakla birlikte yağış olayının görülmesi ile akımın oluşması arasında belli bir gecikme vardır. Akım tahminlerini yaparken bu gecikmeden yararlanılır. Ancak tahmin edilmek istenen akım tahminin yapıldığı andan sonra meydana gelecek meteorolojik olaylara da bağlı ise bu olayların da tahmin edilmesi gerekir (Alp ve Cigizoglu, 2004). Akımın tahmin edilmek istendiği süre uzadıkça tahminlerde beklenen hatalar büyür. Bu nedenle bazen ölçüm yapılmamış havzalardaki nehir akış ve tahmini, eski akış verileri (Turan ve Yurdusev, 2009) veya sadece meteorolojik veri kullanılarak yapılmış akış tahminleri ile belirlenebilmektedir.

Gelecekteki belli bir tarihte görülecek akımın tahmini; yağış kaynaklı doğal afetlerin (sel, taşkın, vb.) önlenmesi, su yapılarının planlanması ve işletilmesi, suyun verimli kullanımı, enerji üretimi, akarsuyun su potansiyelinin belirlenmesi ve dağıtımı, kurak dönemlerde hidroelektrik üretiminin, şehir suyu ve sulama suyunun dağıtımı ve akarsularda ulaşımın

planlanması açısından önem taşır (Bayazıt, 1998). Bunun yanında doğru bir akım tahmini için de akarsu debi ölçümlerinin doğru ve düzenli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

İstatistik ortalamalar kullanılarak tahminler yapılabilmektedir. Yedi günden kısa bir süre için yapılan tahminlere kısa süreli, daha uzun süreler için yapılan tahminler de uzun süreli olarak tanımlanmaktadır (Alp, 2003). Kısa süreli tahminler taşkın uyarıları ve su kaynakları sistemlerinin gerçek zamanda işletmesi açısından önem taşır. Uzun süreli tahminler ise daha çok akarsuların sağlayabileceği su miktarının belirlenmesi ve kurak dönemlerde su kısıtlama planlarının uygulanması bakımından önemlidir. Kısa bir süre sonra görülecek akımın tahmini için yağış-akış modelleri ve akım öteleme modelleri kullanılmaktadır.

Bir havzada özellikle meydana gelen yağış sonucu oluşan dolaysız akış yüksekliğini belirlemek için öncelikle yağış-akış bağıntılarının kurulması gerekmektedir. Geliştirilen bu ilişkiler, akım ölçümleri bulunmayan havzalarda akış yüksekliğinin tahmininde kullanılabilir. Yağış ile akış arasında bir ilişki kurmanın en kolay yolu, çeşitli yağışlara ait akış yüksekliklerini yağış yükseklikleri ile ilişkilendirmek şeklinde olabilir. Bir eksene yağış, diğer eksene akış yüksekliğini yerleştirdiğimizde elde edilen noktalar bir eğri etrafında yoğunlaşır. Eğer eğriden sapmalar çok fazla ise, olayda başka parametrelerin de etkili olduğu söylenebilir. Bu parametrelerin en önemlisi sızma olayını ve dolayısıyla da yüzeysel akışı etkileyen zeminin başlangıç nemidir (Fırat, 2007).

Hidrolojide kullanılan coğrafi birim olan akarsu havzası (su toplama havzası, drenaj havzası) ise akışını bir yüzeysel su yolu (akarsu) üzerinde alınan bir çıkış noktasına gönderen yüzey olarak tanımlanır. Bu şekilde tanımlanan akarsu havzasına; üzerine düşen yağışı çıkış noktasında akış haline dönüştüren sistem gözüyle de bakılabilir (Bayazıt, 1999).

Hidroloji ve su kaynakları sistem çalışmalarının temelini oluşturduğu için pek çok kurum ve bireysel araştırmacı su verilerini gözlemlemekte ve arşivlemektedir. Türkiye’de su verilerini gözlemleyen ve arşivleyen kurumlar arasında: DSİ, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ - yeni adı ile YEGM), Çevre ve Orman Bakanlığı ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) sayılabilir (Şarlak ve Karagöz, 2011). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), Hidroelektrik yapıların rasyonel kullanımı ve korunumu ile ilgili olarak çalışmalar için gerekli olan su verilerinin toplanmasından sorumludur. YEGM,

hidrometrik verilerin toplanmasında DSİ ile koordinasyon halinde çalışmaktadır. YEGM, yurdumuzda 700'den fazla istasyondan elde edilen şu anki ve geçmiş su verilerine sahiptir (YEGM, 2017).

DSİ, Türkiye'nin su faaliyetlerini sürdüren öncelikli kurumlarından biridir ve su bilgisinin %85-90'nına sahiptir. DSİ'nin başlıca amacı su kaynaklarını geliştirmek için fizibilite çalışmaları hazırlamak, gerekli projeleri tasarlamak ve hidrolik tesislerin işletimini ve inşasını yapmaktır. Diğer bir amacı da bu projelerin planlanmasında ve yapımında kullanılan ve kullanılacak hidrometrik verileri ülke genelinde toplamaktır. 2011 yılı itibariyle; yaklaşık olarak 1 117 Akım Gözlem İstasyonu (AGİ), 126 göl seviyesi gözlem istasyonu, 150 kar gözlem istasyonu, 392 Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) ve 1 000 su kalitesi ölçüm istasyonu işletilmektedir (Şarlak ve Karagöz, 2011).

DMİ ise, Türkiye'deki tüm meteorolojik bilgileri sağlamakla yükümlü tek yasal organizasyondur. Sayısal hava tahmin ürünleri, radar ve uydu verileri ve diğer meteorolojik veriler DMİ ve diğer uluslararası meteorolojik organizasyonlar tarafından üretilmektedir. DMİ; yaklaşık olarak 339 (161 otomatik) iklim istasyonu, 110 (45 otomatik) sinoptik istasyonu, 65 (22 otomatik) hava alanı istasyonu, 41 otomatik rüzgâr ölçüm ve gözlem sistemleri, 4 hava radarları, 7 radyosonde istasyonu ve 1 uydu alıcı sistemi işletmektedir (Şarlak ve Karagöz, 2011).

Ülke genelinde yer alan akarsu ve göllerde, mevcut su potansiyelinin tam olarak belirlenebilmesi ve yıl boyunca su miktarındaki dağılımın incelenmesi, akım verilerinin sürekli olarak izlenmesine bağlıdır. Bu amaçla küçük ve büyük akarsularımızda sistematik bir şekilde hidrometrik ölçümlerin yapılması gerekmektedir (Gündüz, 2011). Ülkemizde ilk (AGİ) 1935 yılında YEGM tarafından baraj proje yerlerinde kurulmuş ve 1936 yılından itibaren de sistematik olarak akım ölçümlerine başlanmıştır. 1962 yılında yeni bir anlayışla, gözlem ve değerlendirmeler teknik yönden ele alınmıştır. Bu yaklaşımla oluşturulan gözlem ağı; Baz Akarsu Gözlem İstasyonları (AGİ), Aylık Akarsu Gözlem İstasyonları (AAGİ), Yıllık Akarsu Gözlem İstasyonları (YAGİ), Göl Gözlem İstasyonları (GGİ), Kar Gözlem İstasyonlarından (KGİ) oluşturulmuştur (EİEİ, 2006). En son elde edilen verilere göre 2015 yılı itibari ile DSİ tarafından ölçüm yapılan istasyonların güncel listesi ise Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. 2015 yılı DSİ tarafından işletilen akım, göl-gözlem ve su kalitesi gözlem istasyonları

Havza No	Akım ve Göl Gözlem İstasyonları				Kar	Su Kalite Gözlem	
	2015 Sonu Aktif	Gözlem Aletleri			Yoğunluk Ölçümü	2015 Sonu İtibariyle	Kapatılanlar
		Limnigraf	Mulin ve	Sediment			
1	140	35	9	14	20	90	110
2	169	19	11	3	2	79	41
3	182	63	11	6	12	74	87
4	211	65	9	4	21	56	36
5	196	35	9	6	29	89	61
6	172	30	15	5	15	99	59
7	220	38	10	10	1	63	48
8	191	67	8	7	35	57	34
9	115	19	10	3	24	29	122
10	73	13	11			36	89
11	119	26	11	4	8	31	17
12	158	30	7	10	47	53	80
13	131	37	9	2	9	41	60
14	64	17	2	2	3	44	69
15	28	8	8	2		18	95
17	125	19	4	3	20	31	17
18	181	45	8	6	12	60	30
19	153	33	7	2	19	50	52
20	116	42	12	2	10	75	130
21	190	65	12	7	2	67	143
22	167	35	10	3	5	55	4
23	94	14	11	2	7	61	21
24	69	20	9	3	12	21	
25	137	40	6	2	2	97	48
26	43				2		
TOPLAM	3444	815	219	108	317	1376	1453

(DSİ, 2017)

Kurulan AGİ’lerde yapılan gözlem ve ölçümlerle akarsu hakkında hidrometrik veriler toplanmaktadır. Bir akarsu gözlem istasyonunun çalıştırılmasındaki esas amaç o akarsuyun, istasyonun bulunduğu kesitinden geçirdiği su miktarının tespitidir (EİEİ, 2006). Akarsu gözlem istasyonlarında; seviye ölçüm tesisleri (eşel, limnigraf, ultrasonik

veya basınçlı sensör...), akım ölçüm tesisleri (Teleferik, donav, akım ölçüm köprüsü...), kontrol kesitleri (suni veya doğal eşikler, kurb, boğaz...) gibi elemanlar bulunmaktadır.

Ülkemizde yeni adı YEGM olan kurumca işletilen gözlem ağını oluşturan istasyonlarda aşağıda sıralanan parametrelerin tespiti yapılmaktadır (EİEİ, 2006).

- Akarsularda seviye ölçümü,
- Akarsularda akım ölçümü,
- Akarsulardan sediment örneği alma,
- Su kalitesi örneği alma,
- Hava sıcaklığı ve su sıcaklığı,
- Yüzeysel sularda buzlanma durumu,
- Hava durumu (Açıklık, kapalılık, yağış vb.),
- Su durumu (Berraklık, bulanıklık vb.),
- Akarsu yatağı durumu (Oyulma, dolma vb.)

Son derece karmaşık yapıya sahip günlük akış serilerinin geleneksel yöntemlerle tahmininde yanılma payı, serinin yapısına bağlı olarak bazı durumlarda kabul edilebilir sınırlarda olurken bazı serilerde yanılma payı oldukça büyük olabilmektedir (Gündüz, 2011). Özellikle, zaman serisindeki anlık değişimler, doğrusal modellerin yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Rastgele bir karakter taşıyan bu gibi olayların incelenmesinde olasılık teorisi ve istatistik yöntemler kullanılmaktadır (Yürekli, 1999).

İleriye yönelik tahminlerin yapılabilmesi için öncelikle suyun belirsizlik içeren yönlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Rezervuara giren akımların rastgele karakterli olmasından dolayı gelecekteki miktarını öngörmek ve haznenin işletme planını doğru tasarlamak son derece önemlidir (Sattari ve ark., 2007).

Bu amaçla temeli çeşitli bilimsel yöntemlere dayanan ve içerisinde meteorolojik, hidrolik ve jeolojik değişkenleri içeren modeller geliştirilmeli ve yaklaşımlar bu modellerle irdelenmelidir. Pratikte karşılaşılan problemlerin çözümünde incelenen olayın doğasına uygun olan doğrusal olmayan modellerin kullanılması gerekmektedir (Özkaya ve ark., 2006).

Doğal olayların hâkim olduğu hidroloji bilim alanında klasik yöntemlerle modelleme yapmak her zaman zordur. Çünkü doğal olaylar, belirsiz birçok rastgele değişkenden etkilenmektedir ve doğal olaylarla değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri

açıklamak oldukça güçtür (Ülke, 2010). Ayrıca, hidrolojik olayın davranışını belirlemek için, etki eden parametrelerin birbirlerine olan ve birleşik etkileri de incelenmelidir. Problemlerin çözümünde çoğunlukla ilk olarak matematiksel modeller kurulur ve bu modellerin de bilgisayar yardımıyla çözülmesi ile sonuca gidilmeye çalışılır.

Üzerine düşen yağışı akışa dönüştüren bir sistem olarak tanımlayabileceğimiz havza davranışının modellenmesinde başlıca iki yöntemden bahsedilebilir. Bunlardan biri parametrik modeller olup bu modeller dönüşüm işlemini sızma, yeraltı akışı, yüzeysel akış gibi bileşenlerine ayırarak, bu bileşenlerin aralarındaki ilişkileri fiziksel açıdan oldukça ayrıntılı bir şekilde ifade ederler (Ulukaya, 2011). Pratikte çoğu zaman parametrelerin havza üzerinde sabit kaldığı kabul edilen toplu modeller de kullanılmaktadır (Bayazıt, 1998).

Havza davranışının analizi fiziksel açıdan çok karmaşık olduğundan tüm bu modellerin kurulması oldukça zordur. Çünkü bu tip modellerin kurulumu için genellikle bazı basitleştirmelerin (kabuller) yapılması gerekmektedir. Fakat her kabul ile model gerçeklerden biraz daha uzaklaştırılmış olur.

Mevcut bilgisayarlarla ya da algoritmalarla çözülemeyen veya iyi sonuç alınamayan, hidrolojik olaylara ait karmaşık problemlere çözümler üretmek için, son yıllarda yeni bir bilgi işleme yöntemi olarak yapay zeka çalışmalarından bir tanesi olan yapay sinir ağları (YSA) kullanılmaktadır.

YSA, mühendisler veya nörohidrolojistler tarafından yağış-akış ilişkisi: yağış-girdi, akış çıktı olarak kabul eden kara kutu sistemi olarak değerlendirilmiştir (Sattari ve ark., 2007). Uygulamasındaki kolaylık, fazla veri gerektirmemesi gibi nedenlerle tahmin amacıyla kullanılan çok iyi bir yöntemdir (Gümüş ve ark., 2010).

Nehir akımlarının tahmini, eksik verilerin tamamlanması gibi birçok hidrolojik değişken üzerine başarılı uygulamaları olan YSA, modelin fiziksel yapısı ile ilgilenmeyen bir tür kapalı-kutu modelidir. YSA tahmininde kullanıcının etkisi daha çok modelin girdileri üzerindedir. Girdi seçimi YSA modellerinin en önemli aşamasıdır. Verileri zaman ve frekans ortamında ayrıştırarak ayrıntılı bir sunumunu veren dalgacık dönüşümü bu yeteneği ile tahmin için önemli avantajlar sağlar. Dalgacık dönüşümünün hidrolojik ve meteorolojik sahalarda uygulanışı ise oldukça yeni bir konudur (Partal ve ark., 2007).

YSA, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli taklit edilerek tasarlanan programlama yaklaşımıdır. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler (Öztemel, 2003). YSA modelleri sınırlı sayıda verinin bulunması halinde, doğrusal olmayan modellemelerde dahi başarı gösterebilmektedirler. Bu başarısından dolayı en etkin tahmin yöntemlerinden olan YSA, hidroloji ve hidrolik konularındaki çalışmalarda daha sık kullanılmaya başlanmıştır.

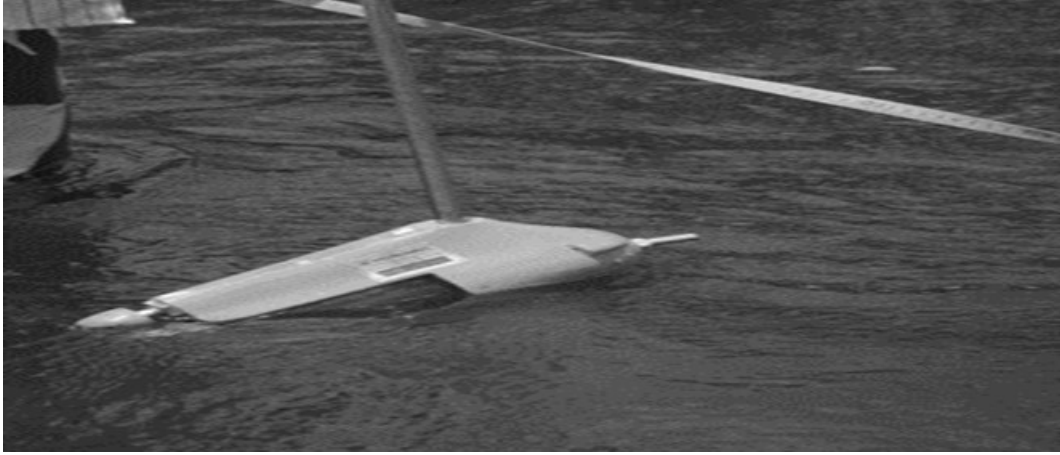
Gerek dünyada gerekse yurdumuzda imkânların el vermediği bölgelerde yapılacak çalışmalara yardımcı olması maksadı ile akım tahminlerinde oluşturulan modellerin başarısının artırılması ve daha iyi tahminler elde edilmesi, hem ekonomik olarak bir kazanç sağlayacak hem de kullanım açısından pratiklik getirecektir.

2.1.2 Sediment Gözlemleri

Sedimentasyon konusu Türkiye gibi yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topoğrafik yapısı olan ülkelerde çok önemlidir. Aşırı miktardaki askıda katı madde birikimi toprağın infiltrasyon hızını azaltır, verimli arazilerde birikerek arazinin değerini düşürür ve akarsuların akış düzenini bozar. Akarsu yatağını yükselterek taşkın riskini ve zararını artırır, su alma yapılarının girişini tıkar, sulama ve drenaj kanallarının kapasitesini azaltır ve bakım giderlerini artırır.

Ayrıca, sudaki çözünmüş oksijen miktarını azaltarak sudaki yaşamı kısıtlar, balık yumurtalarını örterek balıkların çoğalmasını engeller. İçme ve kullanma suyunun arıtma giderlerini arttırarak tarım, sanayi ve diğer kesimlerden kaynaklanan çeşitli kirleticileri taşıyarak çevreyi kirletir.

Türkiye'deki akarsularda katı madde taşınımını 1962 yılından itibaren sistemli bir şekilde Eİİİ ölçmekteydi, ancak günümüzde artık DSİ yapmaktadır. DSİ tarafından yapılan ölçümler, derinlik entegrasyonu yöntemi ile nehirlerde su seviyesinin düşük olduğu zamanlarda suya girerek USDH-48 (Şekil 2.5) ile, seviyenin yüksek olduğu zamanlarda ise teleferikten USD-49 (Şekil 2.6) ile gerçekleştirilmektedir.



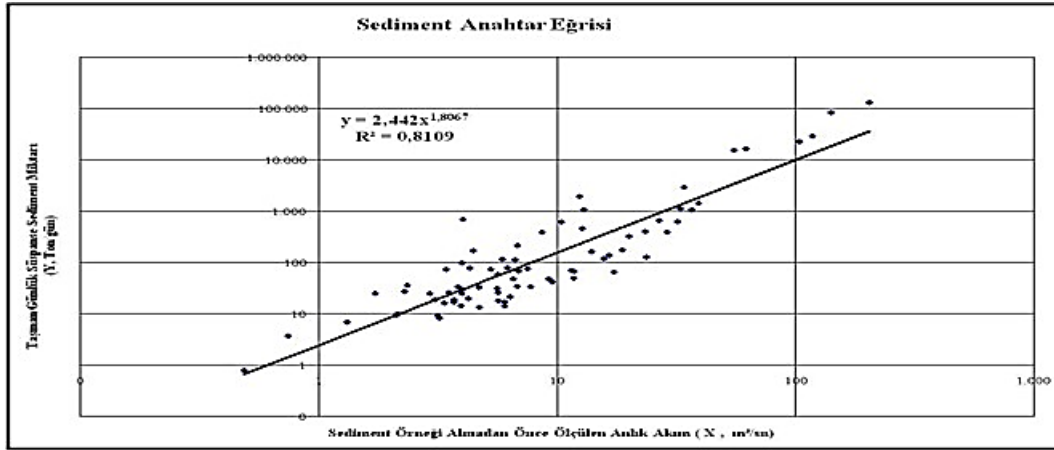
Şekil 2.1. USDH-48 Yöntemi ile sediment ölçümü



Şekil 2.2. USD-49 Yöntemi ile sediment ölçümü

Toplanan anlık debi ve askıda katı madde konsantrasyonlarından yararlanılarak anlık sediment yükleri hesaplanmakta, daha sonra bu anlık debi ve sediment yükleri arasındaki regresyon ilişkisine dayanan sediment anahtar eğrileri elde edilmektedir. Bu anahtar eğrileri, askı maddesi miktarı (ton/gün), askı maddesi konsantrasyonu (ppm) ile bu örneklerin alındığı anda ölçülen akarsu debisi (m^3/s) değerlerinin logaritmik dönüşümleri kullanılarak çizilmektedir (Gümüş ve ark., 2013) (Şekil 2.7).

Son olarak sediment anahtar eğrisinden, günlük ortalama akıma karşılık gelen sediment yükü belirlenmektedir (Eİİİ, 2006). Anahtar eğrilerinden faydalanılarak yapılan tahminler özellikle rezervuarların planlanmasında Türkiye’de başarısız kalmaktadır. Tüm ölçüm sonuçları değerlendirilerek DSİ tarafından yıllık olarak yayınlanmaktadır. Bu Sediment Yıllığı, SGI’lerin sedimentolojik bilgilerini içermektedir.



Şekil 2.3. Örnek bir sediment anahtar eğrisi

YEGM kurumuna ait ülke sınırları içinde ölçüm yapan 157 adet SGI'den hesaplanan ağırlıklı ortalama askıda katı madde verimi 155 ton/yıl/km² veya 119 m³/yıl/km² ve sediment birim hacim ağırlığı da 1.3 ton/m³ tür. Buna göre ülkemiz akarsularından yılda 118 866 090 ton askıda katı madde taşınımı gerçekleşmektedir. Bu değere %25'lik yatak yükü miktarı da eklendiğinde taşınan toplam katı madde miktarı 148 582 613 tona ulaşmaktadır.

Erozyon sonucu toprağın oluştuğu yerden koparılan miktarı akarsuya ulaşan miktardan çok daha fazladır. Ülkemizde %20 olarak kabul edilen bu iletim oranını da dahil ettiğimizde erozyonla taşınan toprak miktarı 571 471 585 m³/yıl'a ulaşmaktadır. Bu miktar da her yıl ülkemizin yüzey alanını 0.8 mm kalınlığında örtebilecek toprak miktarına denk düşmektedir (EİEİ, 2006). Hesaplanan bu değerler, toprak oluşum hızları ile kıyaslandığında, toprak kayıp hızının yaklaşık 48 kat daha fazla olduğunu işaret etmektedir (Erpul ve Saygın, 2012).

Ülkemizde taşınan toprak miktarı diğer ülkelerle karşılaştırılırsa Türkiye dünyada en fazla aşınmaya uğrayan ve aşırı derecede katı madde veren ülkelerin başında gelmektedir. Fırat Nehri yaklaşık olarak Nil Nehri kadar katı madde taşımaktadır. Öte yandan, Büyük Menderes Nehri Yenisey (Moğolistan ve Rusya) kadar, Seyhan ise Obi (Rusya) ve Po'dan (İtalya) daha çok sediment taşımaktadır. Türkiye'de birim alandan taşınan sediment miktarı Afrika'dan 22, Avrupa'dan 17 ve Kuzey Amerika'dan 6 kat daha fazladır. Ayrıca, 1 km² alandan taşınan askıdaki sediment miktarı yılda ortalama 600 ton civarında iken, bu miktar dünyada ortalama 142 tondur (Terzi ve Baykal, 2012).

Genel olarak nehirlerde taşınan katı madde miktarı akım debisiyle ilişkilidir ve bu ilişki kullanılarak regresyon analizi (RA) yapılmaktadır. Ancak bu klasik RA, problemin doğasından kaynaklanan doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerden ötürü iyi sonuçlar vermemektedir (Cigizoglu, 2002). Katı madde miktarı ya SGI'lerden yapılan doğrudan ölçümlerle ya da literatürde olan katı madde taşınım denklemlerinden belirlenebilmektedir.

Doğrudan ölçüm yöntemi askı maddesinin belirlenmesinde en güvenilir yol olmasına rağmen oldukça zaman alan, maliyetli ve örnek alma yöntemlerine bağlı olarak hata olasılığı değişkenlik göstermektedir. Bunlara ek olarak, birçok gözlem istasyonunda su debisi ölçülmesine karşın katı madde miktarı ölçümü yapılamamaktadır. Ayrıca taşkınlar sırasında da SGI'lerde katı madde miktarı ölçümü yapılamamaktadır (Öztürk ve ark., 2001).

Bir havzada taşınan sediment miktarı zaman serisi analizleri ile (Phien, 1981); uygun veri yığınlarının ilişkilendirilmesi yardımıyla (Tingsanchali ve Lal, 1992); Einstein, Laursen, Colby, Goncharov, Egiazaroff ve Bagnold gibi veri tabanlı ampirik denklemleri veya mekanik denklemleri kullanılarak (Garde ve Ranga Raju, 1977); izleme, örnekleme ve ölçme ile (Araujo ve ark., 2006) veya uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması ile hesaplanabilmektedir (Baban ve Yusof, 2001).

Sediment taşınımının belirlenmesinde modelleme yöntemleri de kullanılmaktadır. Evrensel toprak kaybı denklemi (USLE) (Wischmeier ve Smith, 1978) gibi yaygın olarak kullanılan ampirik modellerin yanı sıra KINEROS (Smith, 1981), SHESED (Wicks, 1988) ve WEHY gibi süreç tabanlı hidrolojik havza modelleri de kullanılabilmektedir. Bu denklemler yağış-akış ilişkisi sonucu aşınmış, eğim ve mevcut nehir kanalı yoluyla rezervuara taşınan sediment miktarının tahmin edilebildiği taşınım birimlerini kapsamaktadır.

Literatürde birçok katı madde taşınımı denklemi bulunmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanlarından biri Eşitlik 1'de verilmiştir. Sediment taşınım denklemleri, fiziksel, ampirik ve regresyon temelli olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Fiziksel temelli modeller, çok büyük veri kümeleri ve parametre gerektirirler (Öztürk ve ark., 2001). Ampirik modeller ise kapsamlı değildirler ve sadece geliştirildikleri durumlar için

geçerlidirler. Sediment anahtar eğrisi (SAE) gibi regresyon temelli modeller basit ve kolay uygulanabilir niteliktedir (Jain, 2001).

$$Q_s = aQ_w^b \quad (1)$$

Q_s = Sediment miktarı; Q_w = Akım miktarı; a, b = Sabit değerler

SAE, basit bir biçimde, asılı haldeki sediment konsantrasyonunun doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon denklemi yoluyla nehir akımı ile ilişkilendirilmesidir. Eğri, sediment ve akım arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir (Jain, 2001). Uygulamada, SAE genellikle kullanım kolaylığı ve akış ölçme istasyonlarının bulunması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir. Ancak, regresyon temelli olduğu için doğruluk sınırlamaları da vardır. Bundan dolayı, SAE ile nispeten düşük R^2 istatistikleri elde edilmektedir. Belirli akış aralıkları ve kısa vadeli yük tahminleri için nispeten kötü tahminler üretir (günlük ve haftalık gibi) (Crowder ve ark., 2007).

Literatürde bulunan detaylı akım ve katı madde özelliklerine ihtiyaç duyan katı madde denklemleri içerisinde en iyi çözümü veren denklemi belirlemek zordur. Çizelge 2.4’de bazı sediment taşıma denklemlerine ait performanslar verilmiştir. Bu denklemlerin çoğu laboratuvar ortamında geliştirildikleri için doğal akarsularda birbirlerinden farklı sonuçlar verebilmektedir, dolayısıyla doğal nehirlerin özelliklerini yansıtmayabilirler (Doğan, 2009). Genellikle bu formüller kendi aralarında da çelişmektedir. YEGM kurumunun kullandığı sediment anahtar eğrisi metodu ise askıda katı maddeyi sadece o andaki akım değeri ile ilişkilendiren bir çeşit regresyon yöntemidir.

Çizelge 2.2. Farklı sediment taşınım denklemlerine ait performanslar ve diğer özellikler

Araştırmacı	Denklem	Veri Miktarı	Başarı Oranı (%)	Toplam Veri / Nehir
(Alonso, 1980)	(Ackers & White, 1973)	35	87.8	40 (3 ABD nehri)
	(Engelund & Hansen, 1967)	33	82.9	
	(Laursen, 1958)	22	56.1	
	MPME	23	58.5	
	(Yang, 1996)	37	92.7	
	Bagnold	13	32.0	
	Meyer-Peter-Muller	0	0.00	
	Yalin	19	46.3	
(Abu Hassan, 1998)	(Yang, 1996)	6	54.6	11 (3 Malezya nehri)
	(Engelund & Hansen, 1967)	3	27.3	
	(Ackers & White, 1973)	5	45.5	
	Graf	5	45.5	
(Yahaya, 1999)	(Yang, 1996)	39	65.0	60 (3 Malezya nehri)
	(Ackers & White, 1973)	2	3.3	
	Graf	37	61.7	
(Wu, et al., 2000) (Molinas & Wu, 2001)	(Ackers & White, 1973)	NA	82.4	-
	(Yang, 1996)	NA	76.6	
	(Engelund & Hansen, 1967)	NA	77.0	
	(Wu, et al., 2005)	NA	81.3	
	Molinas and Wu	323	78.0	414 (ABD geniş nehirleri)
	(Engelund & Hansen, 1967)	242	58.4	
	(Ackers & White, 1973)	257	62.1	
	(Yang, 1996)	112	27.1	
	Toffaleti	297	71.7	
(Molinas & Wu, 2001)	Molinas and Wu	336	62.9	534 (ABD orta derece nehirleri)
	(Engelund & Hansen, 1967)	300	56.2	
	(Ackers & White, 1973)	219	41.0	
	(Yang, 1996)	161	30.2	
	Toffaleti	112	21.0	

(Ariffin ve ark., 2008)

Çizelge 2.4. (Devamı) Farklı sediment taşınım denklemlerine ait performanslar ve diğer özellikler

(Ariffin, et al., 2001)	(Yang, 1996)	6	10.7	56 (3 Malezya nehri)
	(Engelund & Hansen, 1967)	3	5.4	
	(Ackers & White, 1973)	13	23.2	
	(Wu, et al., 2005)	9	34.6	
(İbrahim, 2002)	(Einstein, 1950)	0	0.0	108 (5 Malezya nehri)
	(Yang, 1996)	30	28.0	
	(Engelund & Hansen, 1967)	19	18.0	
	(Ackers & White, 1973)	22	20.0	

Karşılaşılan tüm bu zorluklardan dolayı araştırmacılar, basit ve zaman almayan, aynı zamanda doğrusal olmayan karmaşık hidrolojik problemlerin çözümünde etkin olan yapay zeka yöntemlerine yönelmişlerdir (Cigizoglu, 2002). Esnek hesaplama yöntemleri, askıda katı maddeyi çeşitli girdiler kullanarak YSA, bulanık sinir (NF), ANFIS ya da Genetik Algoritma gibi tekniklerle modellemeye çalışır.

2.1.3 Sediment Taşınımı

Tarihe bakıldığında eski Çin, Mısır ve Mezopotamya medeniyetlerinde doğal akışların taşıdığı sediment sebebiyle insanların ilk çağlardan beri birtakım güçlüklerle karşı karşıya kaldığı bilinmektedir. Sediment problemi ilk olarak 18. yüzyılda Fransa’da ele alınmıştır. İlk ölçümler ise Fransa’da Rhone nehrinde 19. yüzyılın başlarında gerçekleşmiştir. Daha sonraki ölçümler 1837 yılında yine Avrupa’da Elbe ve Garonne nehirlerinde gerçekleşmiş, ABD’deki ölçümlere ise 1877 yılında Mississippi nehri ile başlanmıştır (Alışık, 1995). Günümüzde modern sediment taşınım araştırmalarının temelleri (du Boys, 1879), (Einstein, 1950) tarafından atılmıştır.

Nehirler aracılığıyla sedimentin kıtalararası okyanuslara taşınması olayı nehir kıyısındaki dengenin düzenlenmesi, toprak oluşumu, elementlerin biyo-jeokimyasal döngüleri, yerkabuğunun gelişimi ve daha pek çok toprak ile ilgili olayları düzenleyen önemli bir süreçtir. Jeolojik olarak kıtalardaki değişiklikler nedeniyle, nehirlerdeki su akışı ve sediment yükleri de farklı zaman periyotlarında farklılıklar göstermiştir. Son tahminlere göre havza büyüklüğü, yağışın mevsimselliği ve tektonik hareketler nedeniyle

nehirlerden okyanusa olan sediment taşınımının yıllık yaklaşık olarak 18×10^9 ton olduğu belirlenmiştir (Chakrapani, 2005).

Rezervuarlarındaki sedimentin çökmesi sonucu Kuzey Amerika, Çin ve Afrika'daki nehirlerin sediment veriminde azalma meydana gelmiştir. Bunun tersine, yüksek engebeli alanlar ve tektonik bozukluklara bağlı olarak Pasifik okyanusuna dökülen Himalaya nehirlerinden özellikle Ganj ve Brahmaputra'nın, daha çok sediment verimine sahip oldukları belirlenmiştir.

Holeman (1968), 62 büyük nehrin akım verilerine dayanarak ilk kapsamlı küresel sediment taşınımını yılda 18,3 milyar ton olarak tahmin etmiş ve (Holland, 1981) daha sonra yatak yükü taşınımını da dikkate alarak bu değeri 20 milyar tona çıkarmıştır. Milliman ve Syvitski (1992), küçük dağlık bölgelerde bulunan ve nehir ağızlarına yakın yerlerde ölçüm istasyonları olan 280 nehrin akım verilerini kullanarak bu değeri yılda 18 milyar ton olarak belirlemişlerdir.

Ancak bazı durumlarda, sedimentin çoğu denize yakın veya kıyı ile deniz arasındaki deltalarda birikmiş de olabilir. Özellikle Amazon nehri söz konusu olduğunda, yıllık birikimin (yılda 1 milyar ton) %20'si deltada kalır; geri kalanı %80'i ise kıta sahanlığında ve sahilde kalır. Himalaya nehirleri Ganj ve Brahmaputra'da yıllık toplam sediment birikiminin %55'i (yılda 1,1 milyar ton) deltalarda kalırken, %36'sı kıta sahanlığında, %9'u da derin denizlere ulaşmaktadır. Suyun yaklaşık %65'i ve sedimentin %80'inin küresel olarak güney Asya, Okyanusya ve Kuzeydoğu Güney Amerika'dan geldiği tahmin edilmektedir (Syvitski, 2003). Halen okyanusa giden sedimentlerin %95'i nehir kaynaklıdır. Karadan okyanuslara doğru olan sediment akış tablosu Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Karadan okyanuslara doğru olan sediment akış tablosu

Taşıma Mekanizması	Küresel Akış
Nehirler: Asılı Haldeki ve Yatak Yükü	18
Yatak Yükü	2
Çözünmüş Yük	5
Buzullar, Deniz Buzu, Buzdağı	2
Rüzgar	0.7
Kıyı Erozyonu	0.4

(Syvitski, 2003).

Dünya nehirleri aracılığıyla okyanuslara dökülen suyun $32-37 \times 10^3 \text{ km}^3/\text{yıl}$ arasında olduğu tahmin edilmektedir (McLennan, 1993). Dünyada en yüksek debiye sahip olan Amazon nehri, diğerlerine oranla en az toprak taşıyan akarsudur. Bunun ilk nedeni, Amazon ve kollarının su toplama havzalarının zengin bitki örtüsü ve ormanlarla kaplı olmasıdır. İkinci nedeni ise, Amazon nehrinde sedimentin çoğunu, Brezilya ovaları yerine nehir havzasının yaklaşık %10'unu oluşturan And Dağlarından almasıdır (Gibbs, 1967).

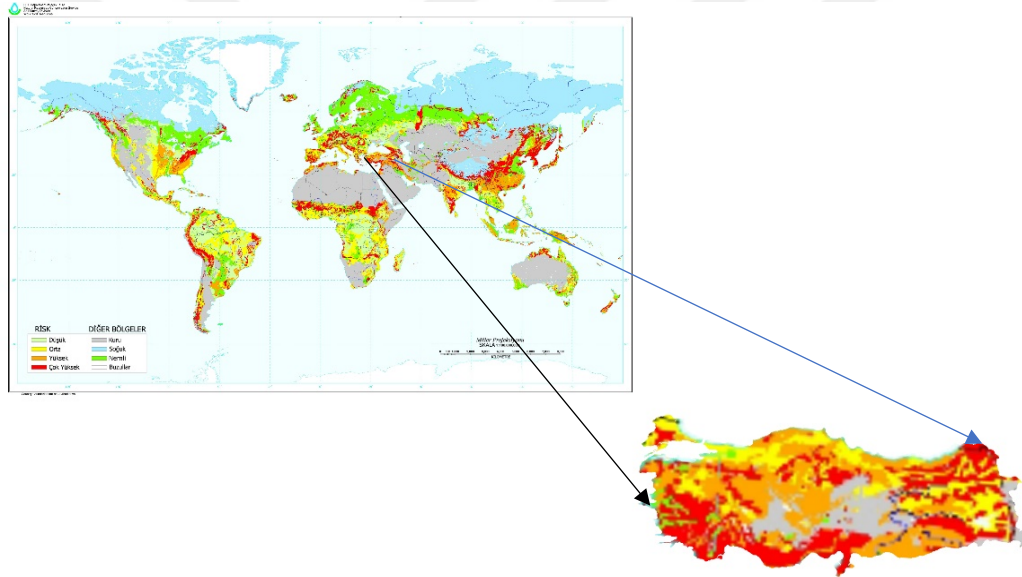
Buna karşın, Pasifik ada okyanuslarındaki küçük bazı nehirler, büyük miktarlarda sediment taşıyabilmektedirler. Yılda ortalama dört tayfun, ortalama 2,5 m yağış ve sık sık deprem görülen Tayvan'ın nehirlerinde yarı tropikal iklim, hızlı yük değişimleri nedeniyle yüksek sediment taşınımına rastlanmaktadır (Dadson, 2003). Dünya'nın bazı büyük nehirlerindeki su ve sediment akım miktarları ise Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Dünya'nın bazı büyük nehirlerinde su ve sediment akım miktarları

Nehir	Su Miktarı ($\text{km}^3/\text{yıl}$)	Drenaj (10^6 km^2)	Sediment (10^6 t/yıl)	Sediment ($\text{t/km}^2/\text{yıl}$)
Amazon (Güney Amerika)	6300	6.15	1200	195
Colorado (ABD)	20	0.64	0.01	0.02
Columbia (ABD)	251	0.67	10	15
Kongo (Afrika-Zaire)	1250	3.72	43	12
Tuna (Avrupa)	206	0.81	67	83
Ganj/Brahmaputra (Asya-Hindistan)	971	1.48	1060	716
Huang He (Asya-Çin)	49	0.75	1050	1400
Indus (Asya)	238	0.97	59	61
Mackenzie (ABD)	306	1.81	42	23
Mekong (Asya-Güney Çin)	470	0.79	160	202
Mississippi (ABD)	580	3.27	210	64
Nijer (Afrika)	192	1.21	40	33
Nil (Afrika)	30	3.03	0	0
Orinoco (Güney Amerika)	1100	0.99	150	152
St. Lawrence (ABD)	447	1.03	4	4

(McLennan, 1993).

Günümüzde Dünya ülkelerinin pek çoğu, sediment taşınımı ile ortaya çıkan erozyon sorunuyla karşı karşıyadır. Yapılan araştırmalara göre, dünyada her yıl yaklaşık olarak ortalama 24 milyar ton toprak erozyonla kaybedilmektedir. Dünyada erozyon sebebiyle 110 ülke çölleşme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından yapılan hesaplamalarla, Dünyada çölleşme ve erozyonun önüne geçebilmek için yılda 42 milyar dolar harcanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Genel olarak akarsuların denizlere, göllere ve barajlara taşıdığı toprak miktarı; yörenin iklimi, bitki örtüsü, arazi şekli, toprak yapısı, zirai sistemi ve erozyon tedbirlerinin alınıp alınmaması gibi etkenlere göre değişiklik göstermektedir (Anonim, 2017) (Şekil 2.1).



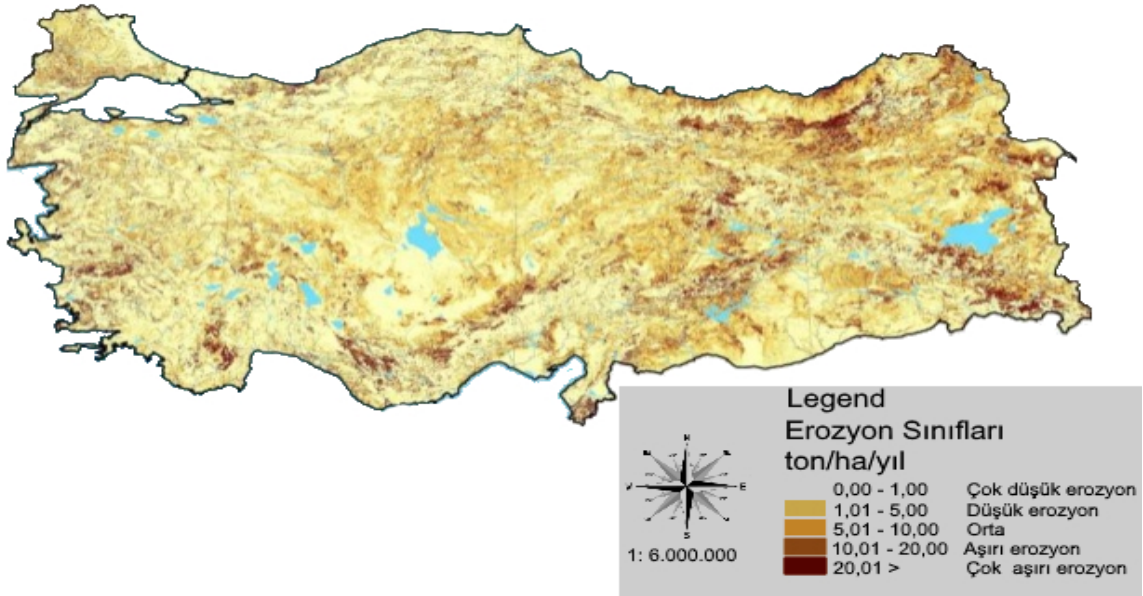
Şekil 2.4. Dünya su erozyonu risk dağılım haritası (USDA-NRCS, 1998)

Çin’de Sarı Irmak ve Hindistan’da Ganj Nehri, dünyanın en çok toprak taşıyan akarsularıdır. Hindistan’da, 175 milyon hektarlık (Mha) yüzölçümünün yaklaşık %53’ü toprak erozyonunun zararlı etkilerinden ve diğer arazi bozulmalarından etkilenmektedir. Toplam alanın yaklaşık 150 Mha’ı yalnızca su ve rüzgâr erozyonunun etkisi altındadır. Geri kalan 25 Mha kısmı ise derin vadi/çukur alanlar, ekilip-dikilen alanlar ve tuzlu-alkali alanlardır (Pandey ve ark., 2008).

Türkiye’de ise durum biraz daha farklıdır. Ülkemizin, yüzölçümünün %45,9’u yüksekliği 1 000 - 2 000 m arasında değişen dağlık bölgedir. Yine yüzölçümünün %80,2’sinde eğim

%15'ten fazladır (Korucu ve ark., 1998). Başka bir kaynakta ise toplam arazi varlığımız göz önüne alındığında, %62.15'inde eğim dikliği %12'den, %47.98'inde ise %20'den daha fazladır. Buna karşılık %2-20 eğime sahip arazilerimizin miktarı ise ancak 29.7 Mha'dır. Bu sebeple etkili toprak derinliğine göre, arazilerin %37,2'si işlemeli tarıma uygun olmayan 0-20 cm derinliktedir.

Topoğrafyanın engebeli olması, bölgelerarası iklimin çok değişiklik göstermesi ve kolay ayrışabilen ana kayaya sahip olması nedeniyle Türkiye, dünyanın erozyona karşı en hassas bölgeleri içerisinde bulunmaktadır. Türkiye'de yılda 450 milyon ton toplam katı maddenin, askı malzemesi olarak taşındığı bilinmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.5. Türkiye akarsulara ulaşan toprak kayıpları haritası (Anonim, 2017)

Ülkemizde bu durum, tarımsal ekonomimizin en önemli üretim kaynaklarından birisi olan toprağın üst tabakasının yok olmasına neden olmaktadır. Bunun doğal sonucudur ki çıplaklaşan ve çoraklaşan ülke topraklarında erozyon ve sedimantasyon olayları ile birlikte çevre kirliliği sorunu da gündeme gelmiş bulunmaktadır.

Bir akarsuda taşınan toplam katı madde, erozyondan ve akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanmaktadır. Akarsu yatağındaki aşınmalar o bölgede oyulmaların oluşmasına, akımın gücünün azaldığı bölgelerde ise yığılmalara neden olurlar ve sonuçta akarsu morfolojisinde değişimler meydana getirirler (Fırat, 2007).

İnsan müdahalelerinin söz konusu olmadığı nehirlerde sediment giriş ve çıkışı büyük oranda dengededir (Morris ve Fan, 1998). Ancak barajlar gibi nehrin doğal akış rejimini

değiştiren yapılar nedeniyle denge bozulmakta, suyun akış hızının ve taşıma gücünün azaldığı rezervuar sahalarında kademeli olarak sediment birikimi gerçekleşmektedir (Bravard ve ark., 2014).

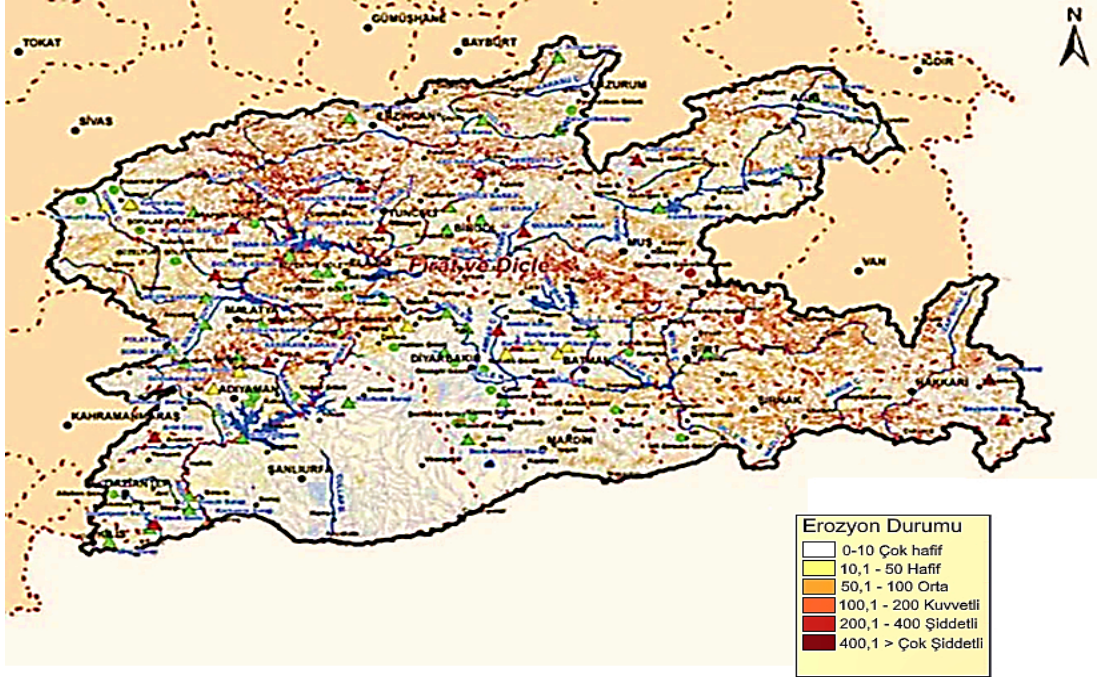
Akarsuların taşımış olduğu askı maddesi miktarı akarsuyun taban eğimine, topoğrafyasına, akarsuyun debisine, zamana ve bölgenin iklim şartlarına bağlı olarak değişir. Ayrıca akarsu üzerinde yapılacak olan yapıların da sediment taşınımına etkisi vardır. Taşınan bu katı maddeler ya bu akarsu üzerinde yapılacak olan su yapılarına zarar vermekte ya da sulama sırasında taşındığı araziye verimsizleştirmektedir. Ancak askı maddesi miktarı, zamanla değişen çok sayıda parametreye bağlı olduğu için formüllerle ifade edilmesi oldukça güçtür (Fırat ve Güngör, 2004).

Ülkemizde akarsuların su rejimleri düzensiz olduğundan ve akarsu eğimleri fazla olduğu için taşınan katı madde miktarı oldukça fazladır. Taşınan sedimentin %50-%95'i askıdaki sediment olduğundan, su içerisindeki miktarının belirlenmesi son derece önemlidir. Yatak yükü miktarı askıdaki sediment yükünün %5-%25 arasında değişebilmektedir. Eğimin çok fazla olduğu dağlık arazilerde, bu oran %50'ye kadar ulaşabilmektedir. Dolayısıyla taşınan sedimentin miktarını belirlemek için askıdaki sediment konsantrasyonunun bilinmesine ihtiyaç vardır (Yanmaz, 1997).

Resmi verilere göre, herhangi bir erozyon sorununun görülmediği alanlarımız sadece %13.86 iken, şiddetli ve çok şiddetli erozyon vakalarının gözlemlendiği alanlar toplam arazi varlığının %58.74'ünü oluşturmaktadır. Gerek ülkemizde gerekse dünya genelinde en yaygın görülen su erozyonu, ülkemizde 57.15 Mha arazide başlıca arazi bozulma problemidir. Rüzgâr erozyonu ise su erozyonu kadar yaygın olmamakla birlikte 506 309 ha arazide ekosistemi sürdürülebilir bağlamda işlevsiz hale getirmektedir. Sadece işlemeli tarım yapılan 27.7 Mha arazi göz önüne alındığında, 16.4 Mha arazide ortaya çıkan başlıca sorun yine erozyondur (Erpul ve Saygın, 2012). Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat-Dicle havzasında benzer şekilde erozyon sonucu büyük miktarlarda toprak kayıpları görülebilmektedir.

Türkiye yüzölçümünün %22.6'sını oluşturan Fırat-Dicle Havzası, yaklaşık 26 ili kapsamaktadır. Havza ayrıca doğuda İran, güneyde Irak ve Suriye ile komşudur. Havza alanı yaklaşık olarak 17 613 063 ha'dır. Havza genelinde yükseklik farklılıklarına bağlı olarak ortalama sıcaklıklarda çok büyük değişkenlikler görülebilmekte ve belli

zamanlarda akarsularla çok miktarda askıda katı madde taşınabilmektedir (Anonim, 2017). Fırat-Dicle Havzası'na ait akarsulara ulaşan toprak kayıpları haritası Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.6. Fırat-Dicle havzası'na ait akarsulara ulaşan toprak kayıpları haritası (Anonim, 2017)

Dicle Nehri'nin 1960-1990 yılları arasındaki ortalama yıllık sediment yükü $609 \text{ ton/km}^2/\text{yıl}$ (Öztürk ve ark., 2001), nehrin Bağdat'taki ortalama sediment verimi ise 1969-1975 yılları için $34,3 \text{ ton/km}^2/\text{yıl}$ olduğu bildirilmiştir. Aradaki bu farkın temel nedeni ise, Bağdat ve daha aşağı bölgelerdeki şehirlerin taşkından korunması amacıyla 1956'da yapılan Samarra Barajı'dır. Barajda görülen sediment birikiminden dolayı, Türkiye ve Irak arasında kalan bölgedeki nehirlerde daha düşük bir sediment konsantrasyonuna rastlanmaktadır.

Havza ile ilgili erozyon kontrol çalışmalarında katı madde miktarlarının zamana göre dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Doğrusal ve doğrusal olmayan çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizleri ile ilişkilendirmek için nehirlerdeki akış hızı, bitki örtüsü, sediment taşınımı, yatak yükü geometrisi gibi birçok parametrenin dikkate alınması gerekmektedir. Ancak hesaplamalarda bazı sınır şartlarının oluşması nedeni ile herhangi bir formülün farklı nehirlere başarı ile uygulanması oldukça zordur.

Akarsularımız üzerine içme, kullanma suyu ihtiyacı ile tarım alanlarının sulanması için, diğer yandan enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi birçok nedenlerle barajlar yapılmaktadır. Hangi amaçla yapılırsa yapılsın, sedimentasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıların göllerini besleyen akarsuların taşımış olduğu toprak, kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır (Alp, 2003). Özellikle baraj haznesine katı madde taşınımını tamamıyla önlemek mümkün değildir. Ancak akarsu havzasını ağaçlandırmak ve teraslama ile yani havza düzenlemesiyle akarsuyun taşıdığı katı madde miktarı azaltılabilir (Bayazıt, 1971).

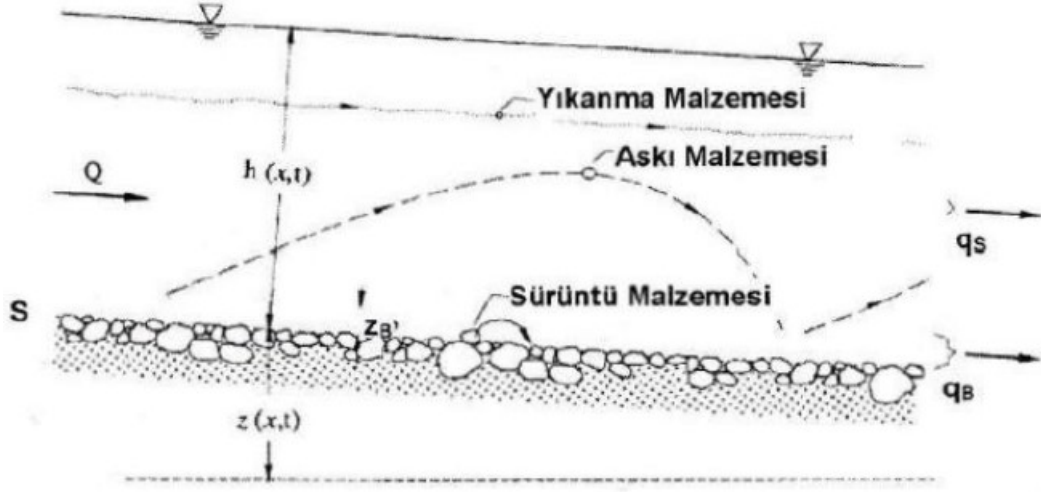
Bu durum aynı zamanda tarımsal ekonomimizin en önemli üretim kaynaklarından birisi olan toprağın üst tabakasının yok olmasına da neden olmaktadır. Bunun doğal sonucudur ki çoraklaşan ülke topraklarında erozyon ve sedimentasyon olayları ile birlikte işlenebilir tarım arazilerinin yok olması ve çevre kirliliği sorunları da gündeme gelmiş bulunmaktadır.

Katı madde taşınımı su kalitesini etkilediği gibi sağlık açısından da büyük önem taşımaktadır. Çünkü katı maddelerin kirlilik taşıyıcı bir yönü vardır. Kirilenmiş suların ekolojik dengeyi bozucu birçok problemi beraberinde getirdiği ise bilinen bir gerçektir. Bu açıdan, bir nehrin ya da rezervuardaki suyun kirlilik seviyesinin tahmininde yine askı maddesi dağılımının başka bir ifade ile askı maddesi konsantrasyonunun gerçek zamandaki tahmini yolunda yapılacak gelişmeler bu problemlerin çözümüne de katkı sağlayacaktır (Müftüoğlu, 1980).

Akarsulardaki sediment malzemesinin taşınımları birbirinden farklı temelde iki şekilde oluşmaktadır. Bunlardan birincisi; tabanda oluşan hareket olup sürüklenerek veya sıçrayarak hareket etmektedir. İkincisi; askı hareket yükü olup akarsu tarafından yüzdürülerek taşınmaktadır (Şekil 2.4). Taban hareketlerini türbülansın ziyade taneler arası çarpışmalar belirler ve taban hareketleri tabanın hemen üzerinde meydana gelen toplam taşınım miktarının bir bölümünü oluşturur (Camenen ve Larson, 2004).

Aslında her iki hareketinde birlikte meydana gelmesi ve bu hareketleri birbirinden ayırmanın çoğu kez kolay olmamasına rağmen genel olarak taban hareketleri, taban yüzeyinde iri ve ince malzemelerin hareketi şeklinde meydana gelir. Bu hareketler düşük

kayma gerilmelerinde sıçrama şeklinde ve yüksek kayma gerilmelerinde tabakalı akış biçiminde görülmektedir.



Şekil 2.7. Sediment tanelerinin akarsuda taşınım şekilleri (Camenen ve Larson, 2004)

Bu iki hareket şekli için ölçme metotları değişiktir. Bazı akarsularda, kanalın dar bir kesitinde hız ve türbülansın artmasıyla bütün daneler askı haline geçer, bu durumda askı maddesini ölçmek mümkün olmaktadır. Numune alma sayısı askı maddesi konsantrasyonuna bağlıdır. Numune, taşkın döneminin çeşitli devrelerinde alınır. Çünkü maksimum askı maddesi konsantrasyonu maksimum debiye ulaşmadan önce meydana gelir (Fırat ve Güngör, 2004).

Askı maddesi daha ince taneli malzeme olmakla birlikte bunu sürüntü maddesinden ayıran kesin ve genel bir sınır yoktur. Çünkü katı madde hareketi sadece tane büyüklüğüne değil akım şartlarına da bağlıdır. Katı madde hareketinin incelenmesinde taşınma şekillerine göre yapılan sınıflandırma daha çok kullanılır ve sınıflandırmaya giren maddelerin toplamına, "toplam katı madde" denir. Sonuç olarak askı maddesi, havza ve yatak erozyonu sonucu meydana gelen yıkanmış malzeme ve yatak malzemesinden oluşmaktadır.

Havzalardan taşınan malzemenin hepsi rezervuara ulaşmaz. Bir kısım malzeme havzalardaki doğal veya yapay hendeklerde birikir, geriye kalan kısmı ise akarsu yatağı ve taşkın ovası içinde kalır. Sadece belli bir kısım akarsu üzerindeki kontrol noktasına ulaşır. Birim havza alanından bu kontrol noktasına bir yılda gelen sediment miktarına

sediment verimi denir ve ton/yıl/km² cinsinden ifade edilir. Dünyanın çeşitli yerlerinde bu oran 0 ile 10 000 ton/yıl/km² arasında değişir (Ağralıoğlu, 2004).

2.2 Tahmin Yöntemleri ve Kullanılan Ağ Yapıları

2.2.1 Yapay sinir ağları tarihsel süreç

YSA ile ilgili yapılan çalışmalar 20. yüzyılın ilk yarısında başlamıştır. Yapay zeka kavramı, "Makineler düşünebilir mi?" sorusunu araştırıp makine zekâsını tartışmaya açan Alan Mathison Turing tarafından ortaya çıkarılmıştır. YSA modelleri ilk olarak 1943'de, bir sinir hekimi olan McCulloch ile bir matematikçi olan Pitts tarafından uygulanmıştır (Zhang ve Peng, 2007). McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama kabiliyetine benzetmek suretiyle elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modellemiştir. YSA fikri, McCulloch ve Pitts (1943) tarafından önerilmiş olmasına rağmen, otomatik bağlanabilen tekrarlamalı sinir ağları konusunda önemli çalışmalarda vardır (Hopfield, 1982). İkinci dünya savaşı sırasında "Kripto Analizi" gereksinimleri ile üretilen elektromekanik cihazların sayesinde yapay zeka kavramları doğmuştur.

1988'de, Broomhead & Lowe, "Radyal Tabanlı YSA (RBANN)" modelini geliştirmişlerdir. Daha sonra Specht bu ağların daha gelişmiş şekli olan Probabilistik ağlar (PNN) ve Genel Regrasyon Ağlarını (GRNN) geliştirmişlerdir (1988-1991) (Lee ve Lin, 1991).

Kısa Kronolojik Tarihçe

1943 – McCulloch & Pitts: Beynin Boolean devre modeli

1950 – Turing'in "Bilgi işleyen makineler ve zekâ"

1956- Dartmouth Görüşmesi: "Yapay Zeka" ismi ortaya atıldı.

1952-1969 – IBM satranç oynayabilen ilk programı yazdı. Yapay Zeka konusundaki ilk uluslararası konferans düzenlendi.

1950'ler – İlk Yapay Zeka programları, Samuel'in kontrol edici programı, Netwell ve Simon'ın mantık teoristi, Gelernter'in geometrik motoru.

1965 – Robinson'un mantıklı düşünme için geliştirdiği tam bir algoritma

1966-73 – Yapay Zeka hesaplamalı karmaşayla karşılaşır. Sinir ağları araştırmaları hemen hemen kaybolur.

1969-79 – Bilgiye dayalı sistemlerin ilk gelişme adımları

1980 – Yapay Zeka endüstri haline gelir.

1986 – YSA tekrar popüler oldu.

1987 – Yapay Zeka bilim haline geldi.

1995 – Zeki Ajanlar ortaya çıkar.

1997 – Deep Blue Kasparov’u yendi.

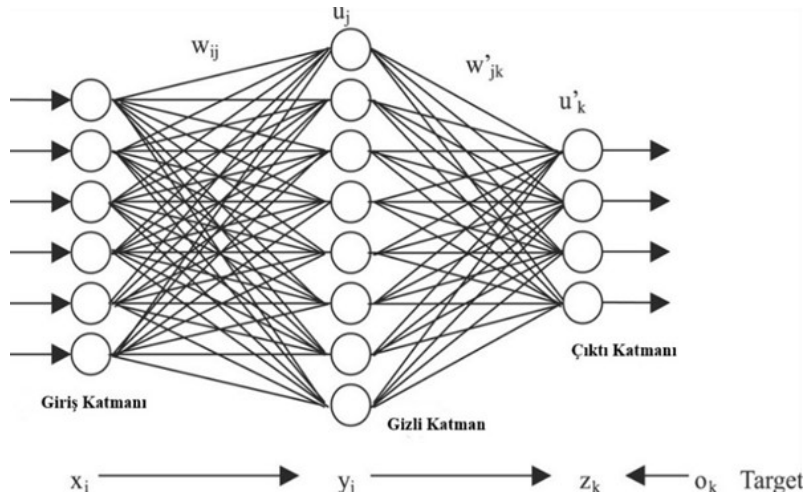
1998 – İnternetin yaygınlaşması ile yapay zeka tabanlı birçok program geniş kitlelere ulaştı.

2000-2005 – Robot oyuncaklar piyasaya sürüldü. Halen birçok elektronik cihazda yapay zeka uygulamaları kullanılmaktadır.

2.2.2 Yapay sinir ağlarının temel özellikleri

Gelişen teknolojiye paralel olarak artan işleme ve hesaplama gücü ile birlikte, karmaşık sorunların çözülmesi ve gelişmiş yapay zeka teknolojilerinin kullanılması ile geleceğe dönük öngörümleme modellerinin gerçekleştirilmesi mümkün hale gelmiştir.

YSA’nın iki aşamalı çalışma şekli bulunmaktadır. Bunlardan biri; eğitime, diğeri; test (kullanma) aşamasıdır. Yöntemin kullanılabilmesi için önce eğitilmesi gerekmektedir. Burada nöronun görevi; girişindeki sayıları kendi ağırlık değerleri ile çarpmak, daha sonra çarpımları toplamak ve toplamı bir yumuşatma fonksiyonundan (genelde sigmoid veya tanh) geçirdikten sonra çıkışa vermektir (Şekil 2.8). Bir nöronun çıkışındaki değerlerin genelde 0–1 (sigmoid) veya -1–1 (tanh) arasında olması istenir (Işık ve İnallı, 2011).



Şekil 2.8. Genel bir YSA yapısı

YSA'nın gerçekleştirdiği iki temel fonksiyon, öğrenme ve hatırlamadır. Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki bağlantıların sisteme uyarlanması ile olur. Yaşayıp tecrübe ettikçe bu bağlantılar ayarlanır ve gerekli ise yeni bağlantılar oluşur ve bu sayede öğrenme gerçekleşir. Ağlarda öğrenme ise, mevcut veri kümesi içerisinde girdi ve çıktı arasındaki ilişkinin ağırlık katsayılarının değiştirilmesi ile sağlanır.

En iyi sonuca ulaşılabilmesi için sürekli bir deneme yanılma evresinden geçirilmesi gerekmektedir. Özellikle tahmin problemlerinde kullanılabilmesi için çok fazla bilgi ile eğitilmelidirler. Bunun için de öncelikle, oluşturulacak modelde girdi ve çıktı sayılarının belirlenmesi, hangi girdilerin kullanılması gerektiği ve ağırlıkların irdelenmesi gerekmektedir.

Literatürde veri setlerinin ayrımını belirlemeye yönelik olarak araştırmacılara, yol göstermesi açısından yapılan birtakım tavsiyeler bulunmaktadır. Bunlar, veri sayısının %90'ının eğitim veri seti, %10'unun da test veri seti olarak kullanılması tavsiye edilirken, bu oranlar %80 eğitim verisi, %20'si test verisi veya %70'i eğitim verisi, %30'unun da test verisi olarak da ayrışımın yapılabileceği yönünde literatürde mevcut olan tavsiyelerdir (Zhang, 1998). Son olarak hatanın belli bir değerin altına düşmesi sonucunda eğitim sonlandırılır ya da belirli sayıda iterasyondan sonra eğitim durdurulur.

Yöntemin en önemli eksik yanı, olayın fiziksel yönünü göz önüne almamasıdır. Ayrıca, kullanıcının model girdilerini doğru belirlemesi, yöntemin başarısını doğrudan etkilemektedir (Partal ve ark., 2008). Bazı olumsuz özelliklerine rağmen YSA kontrol, görüntü işleme, sınıflandırma, görüntü ve ses tanıma, modelleme, kalite kontrolü,

kestirim ve tahmin (öngörü) hesaplamaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Fakat öngörü, modelleme ve sınıflandırma gibi bazı alanlarda ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Verideki eğilimi veya yapıyı en iyi tanımlayan yöntem olmaları dolayısıyla tahmin işlemleri için çok uygundur (Elmas, 2003).

Bir tür kara-kutu modeli olan YSA yöntemi, son yıllarda su kaynakları ve meteoroloji alanında da başarıyla uygulanan ve en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir (Wang ve Ding, 2003). Özellikle yağış gibi tahmin edilmesi güç değişkenlerin tahmininde YSA'lar başarıyla kullanılabilmektedir. Hali hazırda uluslararası öncelikli araştırma alanı olup, sel tahmini ile su kaynaklarının ve su ortamının değerlendirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Yan ve ark., 2009).

2.2.2.1 Ağların Sınıflandırılması

Lippmann (1987)'de statik desenlerin sınıflandırılmasında kullanılabilen 6 önemli sinir ağına ait sınıflandırma yapmıştır. Sınıflandırma öncelikle giriş biçimlerine bağlı ikili ve sürekli değerli giriş olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bunun altında ise ağlar, danışmanlı (supervised) ve danışmansız (unsupervised) eğitilmelerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Sinir ağı düğümler arası bağlantı modeli, bağlantılar arası ağırlık belirleme yöntemi ve aktivasyon fonksiyonu mimarisine göre nitelendirilmektedir (Fausett, 1994).

Literatürde farklı YSA yapıları kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygınları ileri beslemeli, geri beslemeli ve radyal tabanlı sinir ağlarıdır. YSA metotları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışanlarıdır (Luk ve ark., 2001).

YSA, genel olarak ağın yapısına göre;

- ileri beslemeli (feed-forward),
- geri beslemeli (feed-back) olarak ikiye,

öğrenme kuralına göre;

- Hebb,
- Hopfield,
- Delta ve
- Kohonen,

öğrenme algoritmasına göre;

- danışmanlı,
- danışmansız ve
- takviyeli,

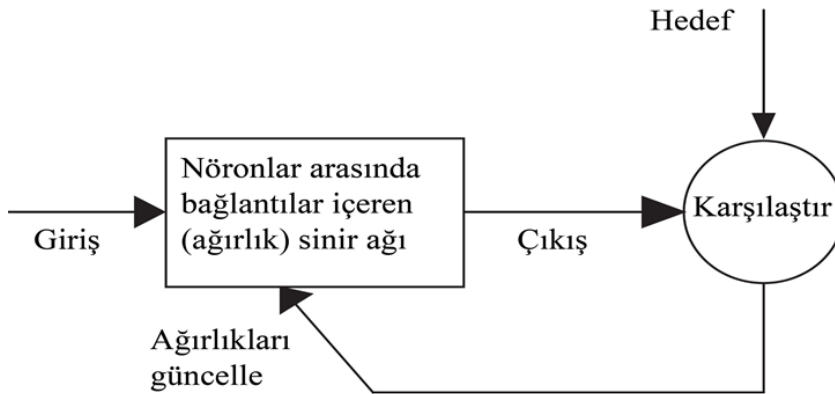
uygulamaya göre

- off-line ve
- on-line

Ayrıca ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik oluşuna, ağırlık matrisi değerlerinin sabit veya değişken oluşuna, ağda yer alan düğümlerin özelliklerine, kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının deterministik veya stokastik oluşuna göre de sınıflandırılabilir.

2.2.2.2 Çalışma Prensipleri ve Gizli Katman Sayısı

YSA'da sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Genel olarak hücreler katmanlar halinde ve her katman içinde paralel bir şekilde bir araya gelerek ağı oluştururlar. Tek tabaka veya tek eleman içeren bazı başarılı ağlar oluşturulabilmesine rağmen çoğu uygulamalar en az üç tabaka (girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası) içeren ağlara ihtiyaç duymaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yapay sinir ağlarının işleyiş şeması (Demuth ve ark., 2006)

Giriş tabakası, dışarıdan girdileri alan nöronları içerir. Ayrıca, önemli olan bir nokta, girdi tabakasındaki nöronların girdi değerler üzerinde bir işlem uygulamamasıdır. Sadece girdi değerleri bir sonraki tabakaya iletirler ve bu yüzden de bazı araştırmacılar tarafından ağların tabaka sayısına dahil edilmezler. Çıktı tabakası ise çıktıları dışarı ileten nöronları

içeren tabakadır. Girdi ve çıktı tabakaları tek tabakadan oluşurken bu iki tabaka arasında birden fazla gizli tabaka bulunabilir. Bu gizli tabakalar çok sayıda nöron içerirler ve bu nöronlar tamamen ağ içindeki diğer nöronlarla bağlantılıdır. Çoğu ağ türünde, gizli tabakadaki bir nöron sadece bir önceki tabakanın tüm nöronlarından sinyal alır.

En az üç katmandan oluştuğu için giriş ve çıkış değişkeni sayısı ele alınan probleme göre değişmektedir. Gerekli gizli katman sayısından az gizli katmana sahip YSA'lar karmaşık fonksiyonların çözümünde yetersiz kalırken, çok fazla gizli katmana sahip YSA'lar ise istenmeyen kararsızlıklarla karşılaşmaktadır. Buradaki en önemli konu uygun ağ yapısının belirlenmesi, en zoru ise model kurma sürecidir. Dikkatli tasarlanmazsa YSA modelinde fazla parametre sonucu gereksiz olan çok büyük bir ağ yapısı ile karşılaşlabilmektedir.

Kesin olarak gizli katmanda kaç tane nöronun bulunacağı konusunda herhangi bir matematiksel test bulunmamaktadır. Deneme ve yanılma yöntemi uygulanarak karar verilmelidir (Detienne ve ark., 2003). O nedenle bir problem herhangi bir ağ ile kabul edilebilir hata altında çözüm üretse bile daha iyi bir ağ olur mu diye farklı sayıdaki ara katman ve her ara katmanda farklı sayıda yapay sinir hücreleri ile deneyler yapmak gerekir. Böylece performansı daha yüksek bir ağ bulmak mümkün olabilir. Bazı durumlarda başlangıçta bir ağ oluşturulup zaman içinde büyütülerek veya küçültülerek istenen sinir ağına ulaşılır (Öztemel, 2003).

Gizli katman sayısı belirlendikten sonra karşılaşılan diğer bir problem ise her bir katmanda kaç tane nöronun yer alacağına karar vermektir. Çünkü gizli katmanda bulunan nöron sayısı YSA'nın bir süreci modelleme doğruluğunu ve genelleştirme yeteneğini belirlemektedir (Chowdary, 2007). Girdi katmanı için bir sorun bulunmamaktadır; bu sayı sistem içerisindeki girdilerin sayısına eşittir. Aynı şekilde, çıktı katmanı da istenilen çıktı sayısı ile belirlenebilmektedir. Lippmann (1987), gizli nöron sayıları için $2n+1$, $2n$, n , $n/2$ değerlerini ileri sürmüştür. Zhang ve ark. (1998) ise bu yaklaşımların bütün problemler için iyi çalışmayacağını belirtmiştir.

Geleneksel matris algoritmasına göre, matris boyutlarının ya girdi sayısına ya da çıktı sayısına eşit olması gerekmektedir. Eğer gizli katmanda nöron sayısı çok az miktarda olursa, ağ parametre kullanımında kısıtlanabilir ve YSA performansı uygun sayılardan aşağıda bozulmaya uğrayabilir. Ters durumda ise eğer gizli katman sayısı çok fazla

olursa, herhangi bir kayda değer gelişme olmaksızın kalibrasyon veri setinde aşırı uydurma tehlikesi veya doğrulama aşamasında yavaşlama görülebilmektedir (Master, 1993).

YSA ile modelleme yaparken, ağıın eğitiminde kullanılan öğrenme derecesi ve momentum katsayıları da yine deneme yanılma yoluyla tespit edilmektedir. Ayrıca sinir ağı eğitildikten sonra her bir giriş değişkenin problem üzerindeki ağırlığını belirleyen ağırlık katsayıları hesaplanır. Bu katsayılar eğitime başlarken rasgele seçilir ve en uygun sonuç elde edilene kadar güncellenir. En uygun çözüme ulaşıldıktan sonra hesaplanan bu katsayılar sistemde kaydedilir ve daha önceden eğitimde kullanılmayan veri setlerinin tahmininde kullanılır (Fırat, 2007)

2.2.2.3 Aşırı Uydurma

Aşırı uydurma, YSA'ların çok sayıda ağırlığa sahip oldukları için eğitim olaylarına uyma özelliğidir ve eğitim etkinliklerini haritalama konusunda çok esnektirler. Temel neden, sürekli bir doğruluk seviyesini korudukları için artan girdi sayısına bağlı olarak ağırlık sayısının da üssel olarak artmasıdır. Aynı zamanda, özellikle yağış-akış gibi ilişkilere sahip olayların girdileri sonucu seyrekleşir ve giriş alanının boyutunu da artırır. Bu nedenle aşırı uydurulmuş YSA'lar eğitim girdisi dışındaki değerleri çok zayıf şekilde ve hiç tahmin edemezler.

2.2.2.4 Yenileme

Geri besleme sonrasında bağlantı değerlerinin yeniden belirlenerek yeni değerlerinin aynı giriş değerleri ile ileri beslemeli işlemlerle tekrarlanması işlemine “yenileme” denilmektedir. Bu süreç sonunda istenen çıkışlarla elde edilen çıkışlar arasındaki hata değeri beklenen hatadan küçük olana kadar devam ettirilir. Beklenen hatanın altına indiği zaman ise işlem sonlandırılır.

2.2.2.5 Durdurma

Ağın ürettiği çıkış değerleri ile hedeflenen çıkış değerleri arasındaki hata miktarının beklenen hata miktarının altına inmesi durumuna “durdurma” denilmektedir. Ağın eğitiminde durdurma ölçütlerinin belirlenmesinde iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin hemen hemen tümündeki genel ilke, hata payının araştırmacı tarafından çalışmanın başında belirlenip bu hata payının altına düşmesi ile belirlenen iterasyon sayısının (döngü sayısı) tamamlanması durumlarında ağın eğitimine son verilmesidir.

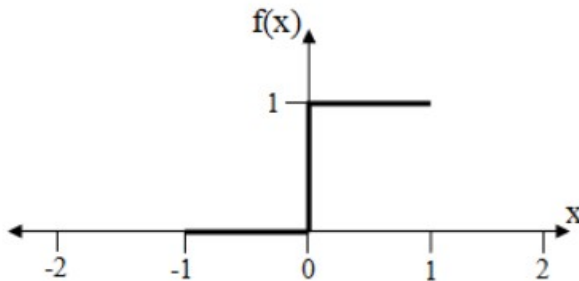
2.2.3 Aktivasyon (transfer) fonksiyonları

Yapay nöronun davranışını belirleyen önemli etkenlerden biri de aktivasyon fonksiyonudur. Transfer, eşik ya da sıkıştırma fonksiyonu olarak da isimlendirilmektedir. Aktivasyon fonksiyonu girdi ve çıktı birimleri arasındaki eğrisel eşleşmeyi sağlar. Aktivasyon fonksiyonunun doğru seçilmesi, ağıın performansını önemli derecede etkiler (Hwang ve Ding, 1997). Genellikle hatayı minimum yapan, günümüzde en yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olan sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır (Öztemel, 2003).

Aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi, diğer bir deyişle toplama fonksiyonunun ürettiği değeri işleyerek bu hücreye gelen girdilere karşılık olan çıktıyı belirlemektedir (Mandic ve Chambers, 2001). Bunlar, girdi kümesi ya da kendinden önceki bir katmandaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. En uygun aktivasyon fonksiyonu denemeler sonucu belirlenebilmektedir. Zaman serileri için sigmoid aktivasyon fonksiyonu da kullanılabilir (Tebelkis, 1995). Çünkü hem doğrusal olmayan bir fonksiyondur hem de her yerde türevlenebilir özelliktedir. İkili (binary) değişkenler için “adım” fonksiyonu da önerilmektedir.

2.2.3.1 Adımsal Aktivasyon Fonksiyonu

Bu aktivasyon fonksiyonları, mantıksal çıktı verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Çift kutuplu ve tek kutuplu olarak ikiye ayrılır. Eşitlik 2’de tek kutuplu adımsal aktivasyon fonksiyonunun matematiksel gösterimi ve Şekil 2.10’da grafiksel gösterimi yer almaktadır.

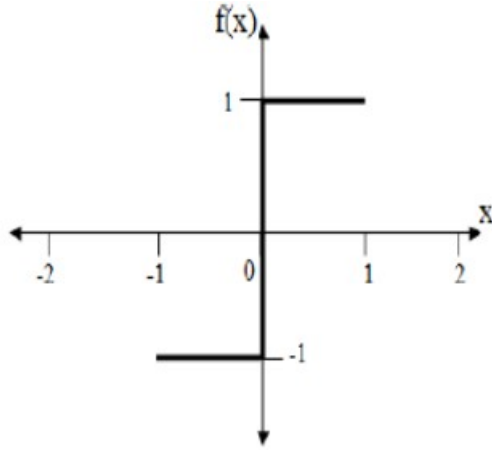


Şekil 2.10. Tek kutuplu adımsal aktivasyon fonksiyonu

$$f(x) = \begin{cases} 0, & 0 > x \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$f(x)$: tek kutuplu aktivasyon fonksiyonu; x : girdi değeridir.

Çift kutuplu aktivasyon fonksiyonuna ait fonksiyon denklemi Eşitlik 3'te; grafiksel gösterimi ise Şekil 2.11'de bulunmaktadır.

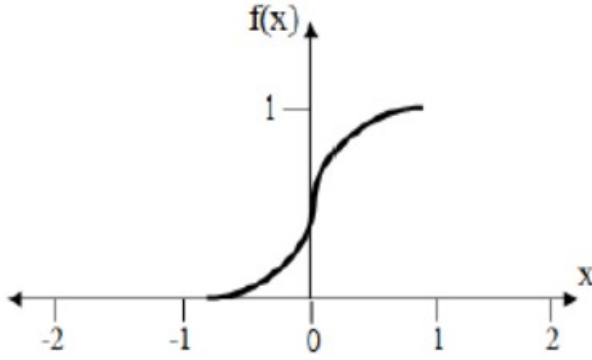


Şekil 2.11. Çift kutuplu adımsal aktivasyon fonksiyonu

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

2.2.3.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA'lar için tercih edilirler. Girdi değerleri hangi aralıkta olursa olsun, çıktı 0 ile 1 arasında olmaktadır. Türevlenebilir olduğu için geri yayılım algoritmaları ile kullanılabilir. Sürekli ve her bir değer birbirinden farklıdır. Asimptotik olarak doymuş noktalara yaklaşır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna ait grafiksel gösterim Şekil 2.12'de ve ilgili fonksiyon ise Eşitlik 4'te belirtilmiştir.



Şekil 2.12. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda_{\text{net}}}} \quad (4)$$

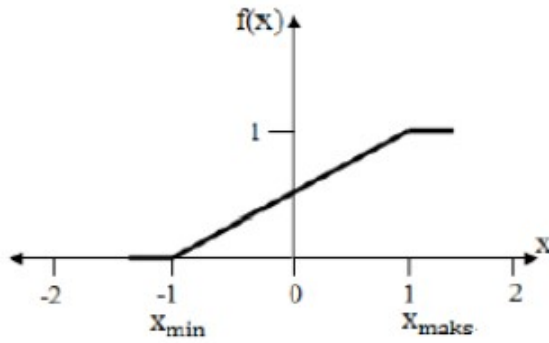
$f(x)$: sigmoid aktivasyon fonksiyonu,

λ : eğim parametresi,

net : aktivasyon değeridir.

2.2.3.3 Parçalı Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Parçalı doğrusal aktivasyon fonksiyonu doğrusaldır ve net aktivasyon değerini minimum girdi değerinden küçük değere sahip girdiler için sıfıra; büyük değerler için bire eşitler. Parçalı doğrusal aktivasyon fonksiyonunun Eşitlik 5'te matematiksel gösterimi, şekil 2.13'de grafiği görülmektedir.



Şekil 2.13. Parçalı doğrusal aktivasyon fonksiyonu

$$f(x) = \begin{cases} mx_{\min} + b, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$x_{\min}$: veri kümesindeki minimum değere sahip değer,

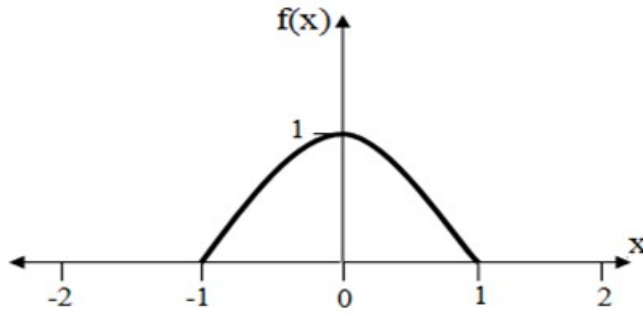
$x_{\max}$: veri kümesindeki maksimum değere sahip değer,

x : girdi değeri,

b : eğim değeridir.

2.2.3.4 Gaussian Aktivasyon Fonksiyonu

Şekil 2.14’de görüldüğü gibi fonksiyon çan şeklindedir ve *net* aktivasyon değeri büyük olduğunda, $f(\text{net})$ asimptotik olarak 0 ya da bazı sabit değerlere yakınsar. Eşitlik 6’da gaussian aktivasyon fonksiyonuna ait eşitlik yer almaktadır.



Şekil 2.14. Gaussian aktivasyon fonksiyonu

$$y_i(x) = \sum_{i=1}^k w_{ij} \exp\left(-\frac{\|x - u_j\|}{2\sigma_j^2}\right) \quad (6)$$

w_{ji} : ağırlıklar,

k : gizli katman nöron sayısı,

x : girdi verisi,

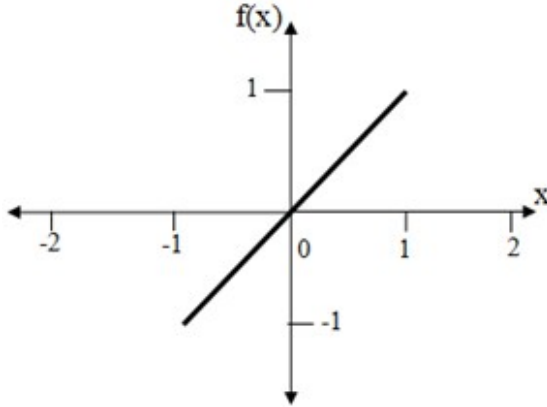
μ_j : j’inci nöron merkezi,

σ_j : j. dağılım parametresi olmak üzere y_i ağırlık çıktısı.

2.2.3.5 Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıktısı olarak veren ve doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur. Doğrusal süzgeç

problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Eşitlik 7’de doğrusal aktivasyon fonksiyonu; Şekil 2.15’de ise fonksiyonun grafiği bulunmaktadır.



Şekil 2.15. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

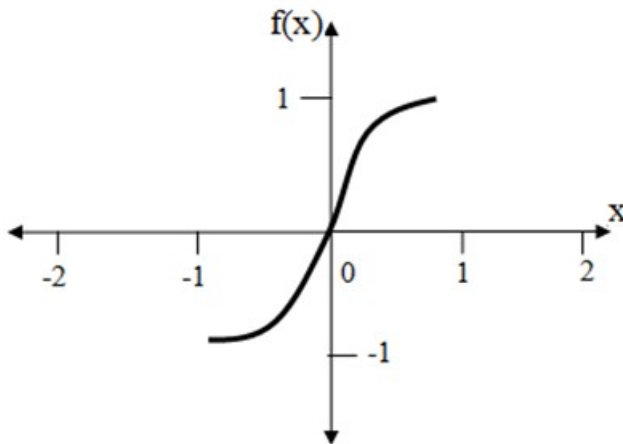
$$f(x) = x \quad (7)$$

$f(x)$: doğrusal aktivasyon fonksiyonu,

x : girdi değeridir.

2.2.3.6 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu

Eşik aralığı olarak -1,1 aralığında değişir. Uygulamada en çok kullanılan ve geleneksel Gradient Descent Eğitim Algoritmasına oranla daha güçlü olan fonksiyonlarından biridir (Cigizoglu ve Kisi, 2005). Bu fonksiyon, Şekil 2.16’da görüldüğü gibi çift kutuplu bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonunun matematiksel gösterimi Eşitlik 8’de verilmiştir.



Şekil 2.16. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu

$$f(x) = (1 - e^{-2x}) / (1 + e^{-2x}) \quad (8)$$

$f(x)$: hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu,

x : girdi değeridir.

2.2.4 Eğitim algoritmaları

2.2.4.1 Ölçekli Eşlenik Gradyan (Scaled Conjugate Gradient=SCG) Algoritması

SCG eğitim algoritması, ikinci dereceden gradyan öğrenme kuralına dayanmaktadır ve nehirlerdeki askıdaki sediment tahmini için düzenli geri yayılım algoritmasına göre 20 kat daha hızlıdır ve yapısı oldukça basittir (Moller, 1993). SCG eğitim algoritmasında, ağırlık güncelleme Eşitlik 9, 10, 11 ve 12’de verilmiştir.

$$w_{m,t} = w_t + \gamma_t d_t \quad (9)$$

$$w_{t+1} = w_t + \alpha_t d_t \quad (10)$$

$$s_t = E''(w_t) d_t \approx \frac{E'(w_{m,t}) - E'(w_t)}{\gamma_t} \quad (11)$$

$$\alpha_t = \frac{-d_t^T E'(w_t)}{d_t^T s_t} \quad (12)$$

$w_{m,t} = w_{t+1}$ ve w_t arasında yer alan zamansal bir ağırlık vektörü,

$d_t = t^{th}$ iterasyonundaki zamansal ağırlık vektörünün eşlenik yön vektörü,

$\gamma_t = 0 < \gamma_t < 1$ arasında olan ve kısa adım büyüklüğü olarak adlandırılan zamansal ağırlık güncelleme adım büyüklüğü,

w_{t+1} = sonraki ağırlık güncelleme vektörü,

w_t = mevcut ağırlık vektörü,

α_t = uzun adım büyüklüğü olarak adlandırılan gerçek ağırlık güncelleme adım büyüklüğü,

s_t = ikincil dizi bilgisi,

E' ve E'' = ilgili ağırlık vektörlerine göre hata fonksiyonunun birinci ve ikinci türevleri,

$d_t^T = d_t$ 'nin transpozesi (devriği),

SCG algoritmasında, herhangi bir iterasyonda, zamansal ağırlıklar $w_{m,t}$ ilk olarak kısa adım büyüklüğü Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanır. Daha sonra zamansal ağırlıklar Eşitlik 12 ve 14'deki uzun adım büyüklüğü olan α_t 'nin hesaplanması için kullanılır. Son ağırlık güncellemesi ise Eşitlik 13 kullanılarak hesaplanır (Mustafa ve ark., 2012).

2.2.4.2 Levenberg Marquardt (LM) Algoritması

LM, daha küçük ağırları eğitmek için yaygın olarak kullanılan ve geleneksel gradient descent yöntemine göre daha verimli diğer bir eğitim algoritmasıdır (Hagan ve Menhaj, 1994; Cigizoglu ve Kisi, 2005). Bu algoritma, ikinci dereceden bir ilişki kullanarak ağ hatasına yaklaşan Newton yöntemini kullanmaktadır. Aynı zamanda, yakınsama oranını, genel bir gradyanlı düşüş geri yayılım algoritmasından 10 ila 100 kat daha fazla gösteren ayrıntılı bir teori ve algoritma uygulaması sunarlar. LM eğitim algoritması ağırlıkları, Eşitlik 13 ve 14 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_{t+1} = w_t - \Delta w_t \quad (13)$$

$$\Delta w_t = [J^T(w_t)J(w_t) + \mu I]^{-1} J^T(w_t)e(w_t) \quad (14)$$

w_{t+1} = Güncellenmiş ağırlık vektörü,

w_t = Güncellenmeden önceki ağırlık vektörü,

I = Benzerlik matrisi,

J = Jacob matrisi,

μ = Öğrenme hızı,

$e(w_t)$ = Önceki iterasyonda değerlendirilen hata fonksiyonunun matrisi.

Öğrenme hızı, adım büyüklüğü vb. gibi parametreler tanımlandıktan sonra eğitim algoritması, ağırlık hata fonksiyonunu en aza indirmek için ağırlıkları her epoch'ta (eğitim sonlandırma değeri) otomatik olarak ayarlar.

2.2.5 İleri beslemeli ve geri yayılımlı ağ yapısı (FFBP)

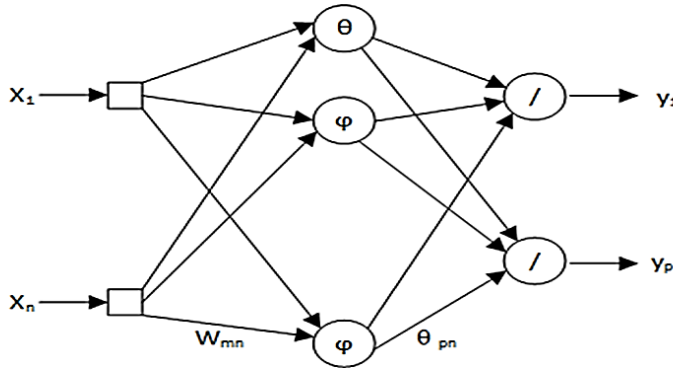
Rumelhart ve McClelland (1986), “Parallel Distributed Processing” adlı kitabında, ileri beslemeli (Feed-Forward = FF) ağlarda yeni bir öğrenme modeli olan hatanın geriye yayılım algoritmasını (Backpropagation Algorithm = BP) geliştirerek daha önce bu konuda iddia edilen aksaklıkların aşılabileceğini göstermiştir (ASCE, 2000b).

Bu ağ, FFBP algoritmaya dayanan bir MLP’dir ve tamamen Rumelhart ve McClelland (1986) tarafından tasarlanmıştır. Bir hücrenin çıktısı sadece kendinden sonra gelen hücrenin katmanına girdi olarak verilmez, kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir hücreye de girdi olarak bağlanabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Geri besleme özelliğini kazandıran bağlantıların bağlanış şekline göre farklı davranışta ve yapıda geri beslemeli ağlar elde edilebilir (Çayıroğlu, 2015).

FFBP modelleme süreci, öğrenme ve eğitim olmak üzere iki aşamadan oluşur. Her bir aşamada bilgi ileri yayılımı ve hata geri yayılımı olmak üzere alternatif olarak 2 tekrarlama süreci vardır. Bu iki süreç birkaç kez tekrar eder ve gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama nispi hata derecelerine bağlı olarak bağlantı hatalarını düzenler. Bu döngü çıktı hatası istenilen değerlere ulaşana kadar sürdürülür veya eğitim sonlandırılır (Hu ve Zhang, 2008).

Sistemde nöronlar girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden girdi olarak verilir. Sadece kendinden sonraki katmanlara bağ bulunmaktadır. Girdi katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan gizli katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve gizli katmanda işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile FFBP doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirirler (Şekil 2.17).

← Giriş Katmanı → Orta (Gizli) Katman → Çıkış Katmanı →



Şekil 2.17. İleri beslemeli ve geri yayımlı YSA yapısı

Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde, her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işlemlerden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Sonuç olarak, ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlar ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam eder. Sonuçta sistem hatalar yapar. Ama bu hatalardan bir şeyler öğrenip isteneni bulana kadar işleme devam eder. Bu yöntem "hatanın geriye yayılması algoritması"(back-propagation algorithm) denilir (Rumelhart ve McClelland, 1986).

FFBP'de girdi, gizli ve çıktı birimleri olmak üzere üç farklı birim bulunmaktadır. Bağlanma şekli ve her kısımdaki hücre sayısı değişebilmektedir. Aynı kısımdaki hücreler arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Hücreler girdiyi ya başlangıç girdilerinden ya da ara bağlantılardan alırlar. Temelde iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi, çıktı birimindeki çıktı bilgi sinyalini hesaplamak için girdi hücrelerindeki dış girdi bilgisini ileriye doğru ileten bir ileriye doğru besleme etabıdır. İkincisi ise, çıktı biriminde hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme etabıdır (Partal ve ark., 2008).

FFBP üç katmanlı YSA'nın, gizli katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabilmektedir. Ağ bir veya daha fazla gizli katmanın yanında gizli ve yanlı düğümler, sigmoid veya bi-polar fonksiyonun seçimi, yapılandırılabilir öğrenme oranı, dik iniş ve delta kuralı aracılığıyla öğrenme kuralı gibi birkaç özelliğe sahiptir. Ağın gücü, deneme sayılarını çalıştırma yeteneğine bağlıdır (Tokar ve Johnson, 1999).

Geri beslemeli sinir ağlarının dinamik bellekleri vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır (Yaşar, 2009). Bundan dolayı, özellikle önceden kestirim uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin kestiriminde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir.

FFBP, farklı ağlarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemlerdir. YSA metodları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışandır (Lippmann, 1987; Gümüş ve ark., 2013). Bununla birlikte, bazı araştırmacılar son zamanlarda eğitilmiş YSA hidrolojik modellerde fiziksel süreçleri tespit etmenin FFBP ile mümkün olduğunu bildirmişlerdir (Jain ve ark., 2004).

2.2.6 Çok katmanlı ağ yapısı (MLP)

Yapay sinir ağları yöntemlerinden olan MLP, çözüme kavuşturulmak istenen problemlerde girdi değerleri ile çıktı değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda ve Adaptif Doğrusal Sinir Ağı'nın (ADALINE) çözüm üretilmediği doğrusal olmayan ilişkiler nedeniyle geliştirilmiş bir modeldir. MLP'de farklı katmanların düğümleri arasında ve iki komşu tabaka arasında ileriye doğru ağırlıklı bağlantılar vardır, fakat böyle bir bağlantı aynı katmandaki düğümler arasında bulunmamaktadır. Girdiler, girdi katmanından ağa verilir ve ağda işlemler girdi tarafından çıktı tarafına doğru ilerlemektedir.

Böyle bir ağ, bir genel delta kuralı tarafından yönetilen öğrenme nedeniyle, tipik bir ileri beslemeli geri yayımlı (FFBP) sinir ağı olarak isimlendirilmektedir. Ağ algoritması esasen Werbos (1974) tarafından Harvard Üniversitesi'ndeki doktora tezinde geliştirilmiştir. Ancak, bu ağın gücü uzun yıllar tanınmamış ve kullanılmamıştır.

Bu ağlar danışmanlı öğrenme stratejisine göre çalışır ve eğitilmesi genelleştirilmiş delta kuralına göre gerçekleşmektedir. Ağın öğrenebilmesi için eğitim kümesi adı verilen ve örneklerden meydana gelen bir kümeye ihtiyaç vardır. Bu eğitim kümesi içinde her örnek için ağın hem girdiler hem de o girdiler için üretmesi gereken çıktılar belirlenmelidir. Kullanılan öğrenme kuralı, eğitim sırasında ağın ürettiği çıktılar ile üretmesi gereken çıktılar arasındaki farkı ağırlıklara dağıtarak bu farkı en aza indirmektedir.

Öğrenme sırasında önce girdiler ağa sunularak bu girdilere karşılık gelen çıktılar üretilir. Bu işleme ileri doğru hesaplama denir. Daha sonra üretilen çıktı ile beklenen çıktı

karşılaştırılıp aradaki hata geriye doğru dağıtılarak ağırlıklar değiştirilir. Buna da geriye doğru hesaplama denmektedir (Öztemel, 2003).

Ağ temelde bir girdi, bir veya birkaç gizli ve bir çıktı katmandan oluşmaktadır. Katmandaki her bir düğümde bilgi alınır, depolanır, işlenir ve bir sonraki katman düğümüne iletilir. Tüm ağırlıklar eğitim başında küçük rastgele sayısal değerlerle başlatılır. Ağırlıkları ayarlamak için, genellikle LM optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır (Marquardt, 1963). Bu teknik, geleneksel gradient descent (gradyan indirgeme) tekniklerinden daha etkilidir. Birçok durumda bu algoritmanın diğer geri yayılım tekniklerinin yakınsayamadığı anlarda dahi değerlere daha iyi yakınsadığı belirlenmiştir (Hagan ve Menhaj, 1994). Hagan ve Menhaj (1994), LM algoritmasının birkaç yüz ağırlığa kadar ağırları eğitirken çok etkili olduğunu göstermiştir. Ağın çıktı ve hata fonksiyonu;

$$y_{ç,i} = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ji}x_j\right) \quad (15)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_i (y_{bc,i} - y_{ç,i})^2 \quad (16)$$

Burada, x_i : girdi verisi, w_{ij} : ağırlık, $f(.)$: aktivasyon fonksiyonu, $y_{ç,i}$: i. ağın çıktısı, $y_{bc,i}$: i. Beklenen çıktılar.

Bu ağırlıklar, genelleştirilmiş delta kuralı ve dik-gradyan iniş prensibini kullanıp tekrarlamalı olarak güncellenir ve değiştirilirler. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitme sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru yayılır.

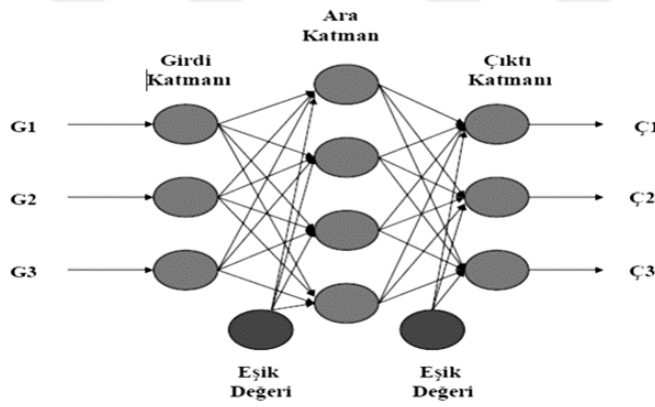
Bağlantı linkleri ile ilişkili değerlerde kayda değer bir değişiklik görülmediği zaman veya sona erdirmeye ölçütleri memnun edici düzeyde olduğunda eğitim süreci sonlandırılır. Bu nedenle geri yayımlımlı ağın eğitimi iki aşamada oluşmaktadır:

- birincisi, girdi katmanından çıktı katmanına doğru bilgi işleme meydana geldiği esnadaki bir ileri geçiş aşaması,
- ikincisi, hata çıktı katmanından girdi katmanına geri yayıldığı ve bağlantılar değiştirildiğindeki bir geri geçiş aşamasıdır.

MLP'nin eğitimi için genellikle aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonu (Dibike ve Solomatine, 2001), öğrenme algoritması olarak da hatayı geriye

yayma algoritması kullanılmaktadır. Bunların dışında doğrusal ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonları da kullanılabilir. Kullanılan aktivasyon fonksiyonu ve çıkış sayıları herhangi bir sayı olabilmektedir. Ağda bağlantı yolları boyunca bir yöndeki bilgi akışı, gizli katman aracılığıyla girdi katmanından son çıktı katmanına doğru yapılmaktadır.

Girdi katmanı ve ilk gizli katman arasında, gizli katmanlar arasında ve son gizli katman ile çıktı katmanı arasında bağlantılar vardır. Çıktı katmanında ise ara katmanlardan iletilen bilgilerin işlenmesi ve dış ortama gönderilmesi olayları gerçekleşir. Geri besleme (döngüler) yoktur, herhangi bir katmanın çıktısı aynı katmanı veya önceki katmanı etkilemez (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Çok katmanlı ileri beslemeli bir YSA yapısı

Çözömlenmek istenen problemde mevcut olan girdi ve çıktı katmanları farklılık göstermekte olup, katman sayısı belirlenirken araştırıcı deneme-yanılma yolu ile birtakım deneme-yanılmalar sonucunda en uygun olan katman sayısını ve en uygun olan ağ yapısını belirleyebilmektedir.

Sadece bir gizli katmanı olan MLP, hemen hemen her fonksiyonun herhangi bir doğruluk derecesine yaklaştırdığından evrensel tahmin edici olarak bilinmektedir. Girdiler ile hedeflenen değerler arasında çok az ön bilgiye sahip olursa dahi rahatlıkla kullanılmaktadırlar. Bunun yanında, MLP ağlarının eğitilmesi çok zor olabildiği gibi bazı durumlarda eğitim çok başarılı olabilmektedir (Fausett , 1994).

2.2.7 Radyal tabanlı ağ yapısı (RBANN)

Radyal Tabanlı Ağlar (RBANN), sınıflandırma ve fonksiyon yakınsama yapıları olarak Powel tarafından geliştirilmiştir (Kartalopoulos, 1996). Esasen 1988 yılında Broomhead ve Lowe tarafından, 1989 yılında Moody ve Darken tarafından MLP'ye alternatif olarak geliştirilen sinir ağı tipidir (Özaydın, 2009). Radyal tabanlı fonksiyonlar kavramı YSA literatürüne ise resmen Broomhead ve Lowe (1988) tarafından eklenmiştir.

Bu YSA modeli insan sinir sistemindeki nöronlarda görülen yerel etki-tepki davranışlarından esinlenilerek oluşturulmuştur (Poggio ve Girosi, 1990). Temelde, denetlenen ve tek bir gizli katmanı olan bir FFBP ağıdır. Bunlar sistem modelleme, tahmin ve sınıflandırma gibi çeşitli problemler için kullanılabilen genel amaçlı ağlardır.

RBANN ağlarının rastgele merkez seçme yöntemi, kendi kendini organize etme yöntemi ile merkez seçme yöntemi, dik açılı (ortogonal) en küçük karelerin ortalamaları gibi farklı öğrenme yöntemleri vardır. Hangi yöntem olursa olsun temel amaç, merkez ve taban fonksiyon varyansı ile gizli ve çıktı katmanları arasındaki ağırlıklar konusunda çözüm bulabilmesidir. Bundan dolayı çoğunlukla kendi kendini organize etme yöntemi ile merkez seçme yöntemi kullanılabilmektedir (Wang ve ark., 2011).

Diğer sinir ağı türlerine göre en büyük avantajı, iki aşamalı eğitim sürecidir. Ağ eğitiminin ilk aşaması, gizli düğüm merkezlerinin konumlarının hesaplandığı kümeleme evresidir. Kümeleme aşamasından sonra, küme merkezlerinde Gauss fonksiyonlarının yarıçapları en yakın komşu işlem kullanılarak ayarlanır. Belirli bir Gauss fonksiyonunun yarıçapı, en yakın iki küme merkezinin ortalama mesafesine ayarlanır. Bir gizli katmanı olan bir RBANN modelinin evrensel bir yakınlasmaya sahip olduğu kanıtlanmıştır (Park ve Sandberg, 1993).

Temel fikir, bir grup radyal taban fonksiyonu istenen f fonksiyonuna yaklaşacak şekilde ağırlıklandırarak toplamaktan ibarettir. RBANN üç katmanlı bir yapıdır (Haykin, 2001). Giriş katmanı giriş vektör uzayı, çıkış katmanı da örüntü sınıfları ile ilişkilidir. Gizli katmanı, ağırlık vektörü olarak düşünülebilecek bir merkez ile birtakım düğümler ve bir parametre vektöründen oluşur. Bu katmanın her bir düğümü, merkez adı verilen bir parametre vektörüne sahiptir. Bu merkez, radyal simetrik bir yanıt üretmek için ağ giriş vektörüyle karşılaştırmak için kullanılır. Böylelikle tüm yapı, gizli katmanın yapısı ve gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların belirlenmesine indirgenir.

Gizli katmandaki nöronların aktivasyon fonksiyonları bir C_j merkezi ve σ_j bant genişliği ile belirlenir (Kişi ve Afşar, 2010). Aktivasyon işlevi eşitlik 17 ve 18’de tanımlanan bir Gauss eğrisidir.

$$\varphi_j^{(X)} = \sum_{i=1}^k w_{ji} \exp\left(-\frac{\|x-C_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (17)$$

Burada, y_i : ağırlık çıkışı, w_{ij} : ağırlıkları, k : gizli katman nöron sayısı, x : girdi verisi, u_j : j . nöron merkezi, σ_j : j . dağılım parametresi

Çıkış katmanındaki nöron j çıktısı için genel denklem ise;

$$S_j^{(X)} = \sum_{i=1}^K w_{ji} \varphi_i(X) + b_j \quad (18)$$

Burada, w_{ij} = gizli nöron i ile çıktı nöron j arasındaki katsayının değeri,

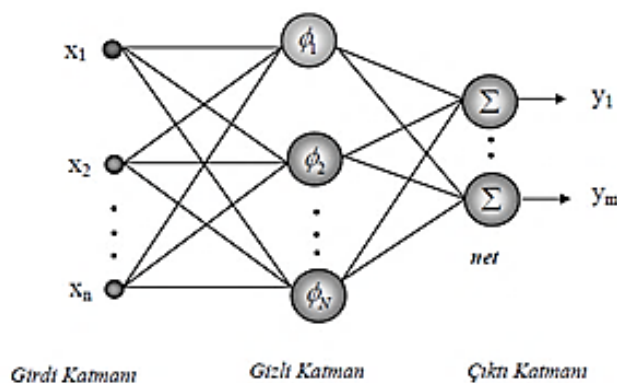
b_j = sapma payıdır (Paredes ve Vidal, 2000).

RBANN modelleme yöntemi yüksek boyutlu uzay için bir veri modelleme tekniğinin ve YSA gibi evrensel bir yaklaşım şemasının birleşmesi olarak kabul edilebilir (Hagan ve Menhaj, 1994). Modelin eğitim performansı, çıktı vektör uzayındaki verilere en uygun yüzeyi bulmaktır. Ağırlık eğitimi, temel düğümlerin ve ağırlıkların bulunması işlemidir. Öğrenme süreci, eğitim verilerindeki en iyi uyumu bulmaktan ibarettir. Düğümlerin transfer fonksiyonları, veri noktalarının merkezine olan etkisinin yaklaşık olduğu kabul edilen doğrusal olmayan fonksiyonlarla yönetilir.

RBANN çok boyutlu problemler için en uyumlu sonuç veren YSA tekniklerinden birisidir ve çok değişkenli modelleme ve yakınsamalarda kullanılan YSA yapılarındandır. İnterpolasyon özelliği çok iyi olması nedeniyle RBANN’lar, eğitim için kullanılan verilerin arasında ve yakın civarında arama yapmak için uygundur. Ancak, daha güvenilir verileri gözlemleyebilmek için geri yayılım fonksiyonlarına kıyasla daha fazla veriye ihtiyaç duymaktadır (Verleysen ve Hlavackova, 1994). Her eğitim birimi için, ağırlık miktarı ve eşik değerinin küçük bir miktarda değiştirilmesini gerektirir, bu nedenle eğitim hızı hızlıdır.

Özellikle eniyileme çalışmalarında çoğunlukla RBANN tercih edilmektedir (Gündüz, 2011). Bununla birlikte, RBANN’lerin hidrolojik problemlere uygulanması nadiren olmasına rağmen, son zamanlarda FFBP ağları üzerindeki avantajlarından dolayı daha fazla dikkat çekmektedir. Bu artışın nedenleri ise bir fonksiyon elde etmek için

RBANN, girdi katmanından gizli katmana (radyal tabanlı katman) geçişte radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşüm, ara katmandan çıkış katmanına geçişte ise doğrusal bir dönüşüm uygulanmaktadır (Okkan ve Dalkılıç, 2012) Bu ara yapı diğer YSA türlerinde olduğu gibi işleyişini sürdürmekte olup asıl eğitim burada gerçekleştirilmektedir. Gizli katmandaki işlemci elemanlar girişlerin ağırlıklandırılmış şeklini kullanmamakta ve gizli katmandaki işlemci elemanların çıkışları YSA girişleri ile temel fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir. RBANN yapısı en genel anlamıyla radyal olarak simetrik olan gizli katman işlemci elemanları içeren bir yapıdadır (Şekil 2.19).



Radyal olarak simetrik olan ara katman işlemci elemanı için üç bileşen vardır. İlki giriş uzayındaki bir merkez vektörüdür. Bu vektör, giriş ve gizli katmanlar arasındaki ağırlık vektörü olarak saklanır. İkincisi, bir giriş vektörünün merkezden ne kadar uzak olduğunu belirlemek için uzaklık ölçütüdür. Tipik olarak bu ölçüt standart Öklit uzaklığı olarak alınmaktadır. Sonuncusu ise, tek değişkenli olan ve uzaklık fonksiyon çıkışını giriş olarak alan işlemci elemanın çıkış değerini belirleyen bir aktivasyon fonksiyon yapısıdır.

57

arasındaki uzaklığa göre belirlenir. Son katmanları doğrusaldır ve ilk katmanın çıkışlarından ağırlıklandırılmış toplam çıkışı üretirler.

RBANN modellerinde ağıın ürettiği çıktı (y) ise aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir (eşitlik 19).

$$y_i = \sum_{k=1}^N w_{ik} - \phi_k(x, c_k) = \sum_{k=1}^N w_{ik} - \phi_k(\|x - c_k\|_2), i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

Burada $x \in R^{n \times 1}$ ağıın girdi vektörünü; $\phi_k(.) \in R^+$ radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonunu; $c_k \in R^{n \times 1}$ girdi vektör uzayının bir alt setinden seçilen radyal tabanlı merkezleri; $\| \cdot \|_2$ girdi vektörünün merkezden ne kadar uzak olduğunun bir ölçütü olan Öklidyen normunu; w_{ik} çıktı katmanındaki ağırlıkları; N ise gizli katmanda bulunan hücre sayısını göstermektedir.

RBANN, öğrenme sürecinde danışmansız ve danışmanlı öğrenme olmak üzere karma strateji kullanır ve böylece öğrenme süreci iki aşamaya ayrılır. Danışmansız öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ilk aşama, girdi verilerine gizli katmanda radyal tabanlı fonksiyon uygulanması sürecidir (Özaydın, 2009). Danışmanlı öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ikinci aşama ise, gizli katmandan elde edilen çıktıların doğrusal dönüşüm uygulanarak ağ çıktıları ile gözlenen çıktılar arasındaki hatayı en küçük yapan ağırlıkların belirlenmesi sürecidir.

RBANN ağılarında gizli katmandaki her bir nöron, ortalaması μ_i ve varyansı Σ olan ve

$$G_i(x) = k \exp \left[-\frac{1}{2} \sum_{k=1}^P (x_k - \mu_{ik})^T \Sigma^{-1} (x_k - \mu_{ik}) \right] \quad (20)$$

eşitlik 23 ile gösterilen çok değişkenli Gauss fonksiyonunu kullanır. Bağımsız değişken bir olduğu takdirde tek değişkenli gauss fonksiyonu kullanılır. Eşitlik 23’de p bağımsız değişken sayısını, i ise gizli katmanda yer alan herhangi bir nöronu gösterir. Bu fonksiyonlar, radyal tabanlı fonksiyonlar olarak isimlendirilir.

2.2.8 Çoklu doğrusal regresyon (sıradan en küçük kareler regresyonu) (MLR)

Kurulan bir modelin gerçekliğini analiz etme yöntemine regresyon analizi (RA) denir. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi ise, bağımlı değişkenle ilişkili olan iki ya da daha çok bağımsız değişkene dayalı, bağımlı değişkenin tahmin edilmesine yönelik bir analiz türüdür. Doğrusal olan bir sistemin giriş ve çıkış parametreleri arasında niceliksel bir ilişki kurmak için kullanılan çok değişkenli istatistiksel bir tekniktir. Etkinin yönünü

tahmin etmek veya hangi parametrelerin en fazla etkiye sahip olduğunu anlamak için sık kullanılan bir yöntemdir (Doğan ve ark., 2008).

Bir bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X_1) arasındaki bağıntıyı inceleyen yöntem basit RA, bir bağımlı değişken (Y) ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken ($X_1, X_2, \dots, X_p$) arasındaki bağıntıları inceleyen yöntem ise MLR adı verilmektedir (Malik ve Kumar, 2015). Çok değişkenli istatistiksel bir teknik olarak anılmaktadır. Modelin doğruluğunu kanıtlamak ve parametre tahmini yapmak için kullanılabilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + e_{ij} \quad \text{Basit Doğrusal Model}$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + e_{ij} \quad \text{Çoklu Doğrusal Model}$$

$$Y_1, Y_2 = f(X_1, X_2 \dots \dots X_p) \quad \text{Çok Değişkenli Doğrusal Model}$$

2.3 Model Performansının Değerlendirilmesi

Bir YSA tahmin edicisi için araştırmacıların dikkat etmesi gereken hususlardan biri de performans ölçütleridir. Bu, tahminin doğru bir şekilde yapılıp yapılmadığını gösteren bir ölçüttür. Aynı zamanda ağırlık performansını ve öğrenme yeteneğinin başarısını ölçmektedir. Model seçim kriterlerinden sadece birine bağlı olarak model belirlenmemelidir. Çünkü ölçütler arasında tutarsızlıklar gözlemlenebilir. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH, MAPE) en iyi ölçüm aracı olarak önerilmektedir (Akal, 2003).

YSA modelinin performansları ölçütlerden bazıları;

- Hata kareler ortalaması (Mean Squared Error- MSE)
- Hata kareler ortalamasının karekökü veya ortalama karesel hata (Root Mean Squared Error-RMSE).

RMSE, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Eşitlik 21). Bu değerinin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir (Singh ve ark., 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{i(gerçek)} - R_{i(model)})^2} \quad (21)$$

- Korelasyon katsayısı (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_{i(gerçek)} - R_{i(model)})^2}{\sum_{i=1}^n (R_{i(gerçek)} - R_{i(ort)})^2} \quad (22)$$

R^2 , ölçüm değerleri ile model tahminleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. R değeri 0 ile 1 arasında değişmekte ve bu

değerin 1'e yaklaşması model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir (Doğan ve ark., 2008).

Burada, n toplam veri sayısı, $R_{i(gerçek)}$ ve $R_{i(model)}$ sırasıyla ölçülen değerler ve geliştirilen modelin sonuçlarıdır. R_{ort} ise ortalama değerlerdir.

➤ NSE: Nash-Sutcliffe efficiency

Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE), Nash ve Sutcliffe tarafından belirlenmiş ve birçok hidrolojik tahminin doğruluğunu ölçmek için kullanılan bir istatistiktir (Nash, ve Sutcliffe, 1970).

NSE, $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. Burada, NSE=1 olması, yöntemin mükemmel yöntem olduğunu kanıtlar. NSE'nin 0 ile 1 arasında değer alması genelde yöntem performansının kabul edilebilir olduğu anlamına gelmektedir. Değer 1'e ne kadar yakınsa yöntemin o derece başarılı olduğu söylenebilir. Değerin 0'dan küçük olması ise, yöntem performansının yetersiz olduğunu göstermektedir.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_i^{gerçek} - X_i^{model})^2}{\sum_{i=1}^N (X_i^{gerçek} - X_i^{ort})^2}$$

$X_i^{gerçek}$: Gözlenmiş aylık akımların i'inci değeri,

X_i^{model} : Hesaplanan aylık akımların i'inci değeri,

X_i^{ort} : Gözlenmiş aylık akımların ortalaması,

N: Toplam gözlem sayısını ifade etmektedir.

2.4 YSA ve Akım Tahmini ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Atiya ve Shaheen (1999), Mısır'da Nil Nehri'nin akış tahmininde YSA'yı, birkaç YSA tahmin yöntemini karşılaştırmak için de ölçüt olarak zaman serisini kullanmışlardır. Ayrik Fourier serilerine dayalı yeni bir yöntemi de içeren 4 farklı sistem karşılaştırılmıştır.

Alp ve Cigizoglu (2004), su kaynakları uygulamalarında sıkça kullanılan FFBP ile son zamanlarda uygulanmaya başlanan Genelleştirilmiş Regresyon YSA (GRYSA) yöntemi bu problem için uygulanmış ve sonuçlar seçilen performans ölçütleri cinsinden karşılaştırılmıştır. GRYSA metodu ile FFBP'nin yerel minimum sorunu çözülmekte ve tek tahminle değişmeyen bir sonuç elde edilmektedir. FFBP ile her farklı YSA mimarisi

için en iyi sonucu elde edene kadar çok sayıda tahmin yapılmaktadır. FFBP ile gerek GRYSA gerekse klasik istatistik ve stokastik model tahminlerinden daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Lin ve Chen (2004), yağış-akış modelini oluşturmak için RBANN ve ağırlıklı parametrik tahmini için de tamamen denetlenen öğrenme algoritması kullanmışlardır. 290 eğitim, 245 doğrulama verisi kullanarak bir saat öncesi tahminleri bulmaya çalışmışlardır. Tam denetime tabi tutulan öğrenme algoritması ile gizli tabaka nöronlarının sayısı otomatik olarak oluşturmuşlar ve eğitim hatasını artan nöron sayısı ile azaltılmışlardır. Ağ oluşturma süreci boyunca eğitimin sona erdirilmesi için aşırı uydurmadan kaçınan erken durdurma tekniğini benimsemişlerdir. Sonuç olarak, RBANN'nin yağış ve yağış ilişkisini oluşturmak için başarıyla uygulanabileceğini bildirmişlerdir.

Demirpençe (2005), YSA ile akarsudaki akımı tahmin etmeye çalışmıştır. Günlük akım değerlerinin çeşitli kombinasyonları girdi olarak kullanıp 6 model oluşturmuştur. Modellemede dikkate alınan 730 adet veriden 1 Ekim 1968-30 Eylül 1969 tarihlerine ait ilk 365 veri öğrenme, 1 Ekim 1969- 30 Eylül 1970 yılına ait 365 veri ise test amacıyla kullanmıştır. FFBP metodu ile tahmin edilen Köprüçay akımlarını MLR modeli ile karşılaştırmıştır. Akarsu akımının bir gün önceki akarsu akımına bağlı olarak ilişkilendirildiği Model 1'den elde edilen sonuçların yeterince hassas olduğu, modele girdi olarak bir ve iki gün önceki akarsu debisi verilerinin ilavesinin herhangi bir önemli avantaj sağlamadığı sonucuna ulaşmıştır. 2,3 ve 4 gün sonraki akarsu akımının tahmininde tahmin süresi uzadıkça R² ve model hassasiyetinin giderek azaldığını bildirmiştir. Dikkate alınan 6 modele ait sonuçlara bağlı olarak YSA modelleme tekniğinin akarsudaki akımın tahmininde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Srinivasulu ve Jain (2006), yağış akışı sürecinin modellenmesi için mevcut bir havzadan türetilen günlük ortalama yağış ve akarsu verilerini kullanarak YSA'nın MLP tipi eğitiminde kullanılabilen FFBP, Self-Organizing Map (SOM) ve Gerçek Kodlu Genetik Algoritma (Real-Coded Genetic Algorithm = RGA) eğitim yöntemlerini karşılaştırmışlardır. SOM, önce giriş-çıkış alanını farklı kategorilere sınıflandırmak ve daha sonra FFBP kullanarak her kategori için ileri besleme MLP modelleri geliştirmek için kullanmışlardır. Sonuçta, SOM ile kategorilere sınıflandırdıktan sonra FFBP YSA kullanmanın yağış-yüzey akışı tahmininde, yalnız YSA kullanarak yapılan tahmine göre daha iyi sonuç verdiğini kanıtlamışlardır. Ayrıca, RGA kullanılarak eğitilmiş YSA yüzey-

akış modeli diğer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında karmaşık, dinamik, doğrusal olmayan ve parçalanma süreci daha iyi bir şekilde modellenmiştir. RGA ile eğitilmiş YSA ile FFBP'lı YSA'ya göre daha iyi performans elde edilmiştir.

Vudhivanich ve ark., (2006) YSA'nın rezervuar akışını tahmin etme olanaklarını araştırmışlardır. Tekli ve çoklu rezervuar giriş tahmini şeklinde iki durum için denemeler yapmışlardır. Sorunları günlük, haftalık ve aylık akış tahminleri olarak formüle etmişlerdir. Çalışması için, Upper Mun havzasındaki Nakhon Ratchasima eyaletindeki Mun Bon, Lam Chae, Lam Phra Phloeng ve Lam Takong rezervuarları olmak üzere 4 rezervuar seçilmiştir. Girdi değişkenleri 4 ayrı gruba ayrılarak modele tanıtılmıştır. Sigmoid transfer fonksiyonlu FFBP ile tekli giriş için 2-3, çoklu giriş için de 1-2 gizli katmanı denemişlerdir. Aylık model, haftalık ve günlük modellerden daha iyi sonuç vermiştir. Çoklu giriş rezervuar tahmini için, 4 model performansını da benzer bulmuşlardır. Günlük, haftalık ve aylık modellerin eğitim ve test performansı, çoklu giriş rezervuar tahmininde çok fazla farklılık göstermemiştir.

Sattari ve ark., (2007) rezervuar işletmesinde depolanan, savaklanan, hazne alanı üzerine düşen yağış ve buradan buharlaşan su miktarları ile akımları çok tabakalı FFBP tahmin yönteminden yararlanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Rezervuar için süreklilik denklemi hem ölçülmüş hem de tahmin edilmiş akımlarla çözülerek rezervuar parametreleri araştırılmıştır. Sonuçlar, ölçülen değerler ve tahminlerden elde edilen değerler arasında genellikle uyum sağlandığını göstermiştir.

Gümüş ve ark., (2010) yaptıkları çalışmada, Orta Fırat Havzasında bulunan 2122 numaralı AGİ'ye ait aylık ortalama akım verileri ile 17099 numaralı yağış gözlem istasyonuna ait aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişki YSA metotlarından FFBP metodu ile araştırmış ve ardından bu sonuçları daha klasik bir yöntem olan MLR yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Akım ve yağış verilerinin girdi olarak kullanıldığı bu işlemde yeni akım değerleri tahmin edilmiştir. Çalışma sonunda FFBP yönteminin MLR yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Kagoda ve ark., (2010) baraj, yağış ve nehir akış verilerini kullanarak Güney Afrika'daki Luvuvhu Nehrinde 1 günlük akımı tahmin etmeye çalışmışlardır. YSA akım tahmininde performans ölçütleri olarak, tahmin edilen ve gözlemlenen veriler arasında NSE ve yüzde sapma kullanılmıştır. NSE ve % sapma değerleri kalibrasyon aşamasında sırasıyla 0,988

ve %22,76; doğrulama aşamasında 0.980 ve %20,30 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, uygun hedef fonksiyonunun seçilmesi ile düşük akımların daha önemli olduğu durumlarda RBANN'nin daha iyi tahminlerde bulunduğunu ve YSA'nın Güney Afrika'daki akarsuların tahmininde güvenle kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Okkan ve Mollamahmutoğlu (2010), Gediz havzasında yer alan Yiğitler Çayına ait günlük akımların modellenmesi için kullanılabilecek bir YSA hazırlamıştır. Hazırlanan YSA modeli MLR ile karşılaştırılmış, model performansları, yiğitler çayına ait ölçülmüş günlük akım değerleri ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonucu, YSA algoritması performansı regresyon modeline göre daha başarılı bulunmuştur.

Uslu ve İçağa (2010), YSA modeliyle DSİ'nin akım ve DMI'nin meteoroloji verilerini kullanarak Akarçay akımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Modelleme için 6 akım gözlem verisi ile ay ve yıl sıra sayıları kullanılmıştır. 3 katmanlı YSA modelinde nöron adedi, öğrenme ve momentum oranları geniş bir yelpaze içinde sınanmıştır. Model çalışmaları sonucunda ay sıra sayılarının eğitime verisi olarak kullanıldığı modeller, bir gözlem yeri hariç, gözlem verilerinin eğitime verisi olarak kullanıldığı modellere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Fakat diğer belirsiz parametre olan momentum oranı değeri modellerin çoğunluğunda 0,90 çıkmıştır. Genel olarak YSA akım modellemesi için iyi sonuçlar vermekle beraber, ağ yapısındaki etkileşim tam olarak bilinemediğinden koşullar sağlandığı takdirde kavramsal ve/veya istatistiksel yöntemlerin modelleme çalışmalarında tercih edilmesi uygun seçenek olacağı belirtilmiştir.

Köse ve ark., (2011) Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan Yamula (1501), Bulakbaşı (1539) ve Söğütlühan (1535) AGİ verileri kullanarak 1535 nolu istasyon akımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Akım verileri uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) ile modellenmiştir. Modellerden altküme sayısı 4 olan ve hybrid ağ yapısına sahip olan modelin R2 ve RMSE değerinin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, ANFIS metodunun Kızılırmak Nehri akım tahmininde ve ölçüm yapılamayan durumlarda veya eksik verilerin tamamlanmasında kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Yılmaz ve ark., (2011) Karasu havzasındaki karla kaplı dağlık havzada havza akımlarını YSA ile tahmin etmeye çalışmıştır. Gerçekçi ve doğru kar verileri olmayışından dolayı, havza akışları sadece meteorolojik veriler yardımıyla tahmin etmeye çalışmışlardır.

Ayrıca, YSA modelini en iyi şekilde temsil edecek meteorolojik veri setini de belirlemeye çalışmışlardır. YSA modeli kayıtlı 12 yıllık yüzey-akış verisi ile kalibre edilmiş ve elde edilen model daha sonra farklı bir 10 yıl için test edilmiştir. Model doğruluğunu elde etmek için, model hem tüm yıl (yıllık) veriler hem de yılsonu verileri (sezonluk veriler) ile test edilmiştir. Yılsonu verileri ile kullanılan modelde doğruluk oranının önemli ölçüde arttığı bulunmuştur. Model sonuçları, kar derinlik verileri ve/veya kar suyu eşdeğer verileri içerdiğinde model doğruluğunun daha da artırılabilceğini göstermiştir.

Okkan ve Dalkılıç (2012), RBANN geliştirerek, Büyük Menderes Havzası'nda yer alan Kemer Baraj Havzası'na ait aylık akımlara uygulamışlardır. Girdi olarak yağış, sıcaklık ve 1 ay önceki yağış değerlerine ihtiyaç duyan RBANN modeli, Mart 1979-Kasım 1997 tarihleri arasındaki 225 aylık akım verileri kullanılarak eğitilmiş; Aralık 1997-Aralık 2005 tarihleri arasındaki 97 aylık akım verileri ile sınanmıştır. Gözlenmiş ve modellenmiş akımların uzun dönem ve mevsimsel istatistikleri karşılaştırıldığında; kurulan modelin Kemer Barajı aylık akımlarını başarıyla temsil ettiği; böylece geliştirilen modelin, bir baraj havzasının aylık akımlarının tahmininde başarıyla kullanılabileceği gösterilmiştir.

Terzi ve Köse (2012), YSA yöntemi ile Göksu Nehri'nin akım tahminini yapmaya çalışmışlardır. Göksu Nehri'nde bulunan Karahacılı (1714), Kırkkavak (1719) ve Hamam (1720) AGİ'lerden alınan 1990-2010 yılları arasında bulunan günlük akım değerleri kullanılarak YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin performansları değerlendirilirken, R² ve MAE değerleri kullanılmıştır. Modellerin performansları değerlendirildiğinde, YSA yönteminin akım tahmininde kullanılabılır olduğu görülmüştür.

Terzi ve Önal (2012), Türkiye Kızılırmak Nehrindeki aylık akışı YSA ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Nehirdeki üç yağış istasyonu ve iki akış istasyonunun aylık verileri dikkate almışlardır. Buna ek olarak MLR modellerini, akış tahminleri için aynı girdi parametrelerini kullanarak geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerin performansını değerlendirmek için YSA ve MLR modellerinin sonuçlarını ölçülen akış verileri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, YSA modellerinin MLR modellerine kıyasla daha iyi performans gösterdiğini ve uygun veriler ile akış tahminlerinde rahatlıkla kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Gümüş ve ark., (2013) Orta Fırat Havzasında bulunan 2157 numaralı AGİ'ye ait aylık ortalama akım verileri ile 17204 numaralı yağış gözlem istasyonuna ait aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişkiyi YSA metotlarından FFBP, GRYSA ve RBANN ile araştırmış ve ardından bu sonuçları daha klasik bir yöntem olan MLR yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Akım ve yağış verilerinin girdi olarak kullanıldığı çalışmada yeni akım değerleri tahmin edilmiştir. Çalışma sonunda kullanılan tüm YSA yöntemlerinin MLR yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. RBANN yöntemiyle tahmin edilen akım değerlerinin, kullanılan diğer YSA yöntemleriyle tahmin edilen değerlere kıyasla gözlenen akım değerlerine daha iyi yakınsadığı belirlenmiştir.

Gümüş ve Kanşut (2013), RBANN ve GRYSA kullanılarak, Seyhan Havzasında bulunan 1806 numaralı Zamanti Nehri-Ergenüşağı AGİ'ye ait eksik aylık akım verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda FFBP yönteminin eksik veri tahmininde diğer yöntemlerden az da olsa daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

İlker ve ark., (2011) Kızılırmak nehrinde yapay zeka tekniklerinden biri olan YSA yöntemiyle akış tahmin modelleri geliştirmeye çalışmışlardır. Söğütluhan (1535), Yamula (1501) ve Bulakbaşı (1539) istasyonlarının 1975 ve 2005 yılları arasındaki (322 ay) aylık akış verilerinden oluşan farklı giriş kombinasyonları kullanarak farklı YSA modelleri geliştirmişler ve ölçülen aylık akışlarla karşılaştırmışlardır. Performans karşılaştırma ölçütleri olarak R2 ve RMSE'yi kullanmışlardır. 1501, 1539 ve 1535 istasyonların t-1 zamanındaki, 1501 ve 1539 istasyonlarının ise t zamanındaki akış değerlerini kapsayan modelde sırasıyla eğitim ve test seti için R2 değerlerini 0.98 ve 0.97 olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak, YSA modellerinin ölçülemeyen veya hidrolojik modelleme çalışmalarında eksik olan aylık akış verilerini tahmin etmede kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Phuphong ve Surussavadee (2013), Tayland Songkhla Eyaletindeki Khlong U-Tapao Nehir Havzasında iyi kaliteli yağış verisi olmaksızın nehir havzaları için YSA tabanlı akış tahmin modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Ban Takienphao ve Ban Muangkong hidrolojik istasyonları için ayrı ayrı YSA geliştirmişlerdir. YSA için kullanılan girdiler, tahmini süreden en az 12 saat öncesine sahip ve farklı zamanlarda nehrin üst kısımlarındaki istasyonlardan gelen su seviyelerini içermektedir. Eğitim için 2008, değerlendirme için 2009 yılı verileri ve tersi yönde kullanılarak 12 saatlik tahminleri belirlemeye çalışmışlardır. Bunun için her saat mevcut su seviyelerini dikkate almışlardır.

Öngörülen ve gözlemlenen su seviyeleri arasındaki R2 Ban Takienphao istasyonu için 0.92, Ban Muangkong istasyonu için 0.86; RMSE Ban Takienphao istasyonu için 0.0192, Ban Muangkong istasyonu için 0.0667 olarak bulunmuştur.

Mohammadi ve Siosemarde (2016), NeuroSolutions V6.0 yazılımı ile İran'nın kuzey batısındaki Azerbaycan eyaletinde Kawtar ve Baitas istasyonlarının verilerini kullanarak Mahabad nehrindeki akım miktarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla verilerin %70'ini eğitim, %15'ini doğrulama ve %15'ini test için kullanmışlardır. YSA yapıları olarak MLP, RBANN, Genelleştirilmiş İleri Beslemeli, Jordan ve Elman; transfer fonksiyonları olarak Tanjant, Sigmoid, doğrusal tanjant, doğrusal sigmoid ve farklı transfer fonksiyonları; öğrenme algoritmaları olarak Momentum, Levenberg Marquardt, Quickprop, DeltaBarDelta, Conjugate Gradient kullanmışlardır. Kawtar ve Baitas istasyonlarına göre nehir tahliye miktarları 10.67 ve 0.94 (m³/s) ve R2 değerleri ise 0.88 ve 0.75 gibi yüksek değerler bulmuşlardır.

2.5 YSA ve Sediment Tahmini ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Nagy ve ark., (2002) çok katmanlı ileriye beslemeli sinir ağı ve geri yayılım eğitim algoritması ile nehirlerdeki katı madde miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuçları, geleneksel sediment yük formülleriyle karşılaştırmışlardır. Gizli nöronların sayısını deneme yanılma ile belirlemişlerdir. Farklı nehirlerden alınan sediment verileri ile model doğrulaması yapmışlardır. Ayrıca, sediment yükü hesabı için 7 farklı geleneksel sediment yük formülleri kullanmışlardır. Sonuçta YSA modelinin, geleneksel denklemlere kıyasla kabul edilebilir tahmin sonuçları üretebileceğini ve bazı durumlarda birkaç denklemden daha iyi sonuç elde edildiğini ileri sürmüşlerdir. Geleneksel yöntemlerin sediment değerlerini doğru olarak tahmin edemediği durumlarda YSA tekniklerinin güvenle kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Montazer ve ark., (2003) YSA kullanarak İran'da Bazoft Nehri'nin sediment verimini tahmin etmeye çalışmışlardır. MLP ve Grassberg'in karşı yayılımı da dahil olmak üzere iki tür YSA uygulamışlardır. Grassberg ağının karşı yayılımına rağmen, ilk gizli katmandaki sigmoid fonksiyonu ile ikinci gizli ve çıktı katmanlarında lineer fonksiyon ile artan bir haritalama üreten MLP ağının yüksek sediment akımlarını daha iyi tahmin edebileceğini ve SAE hazırlığında kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Ayrıca, aylık

ortalama hava sıcaklığının araştırmalarına etkisini değerlendirmişler ve bu parametrenin modelin iyileştirilmesi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır.

Fırat ve Güngör (2004), Büyük Menderes havzasında 706 numaralı istasyonun 1985-1990 yıllarına ait akım ve sediment değerleri ile askıda katı madde tahmini yapmaya çalışmışlardır. Eğitim için 90 tane veriden 85 tanesi kullanılmıştır. Geri kalan 5 tanesi de test için kullanılmıştır. Gizli tabaka sayısı 3 olarak seçilmiştir. Veri grupları arasında fazla salınım olmasına rağmen iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca yapılan RA sonuçlarına göre YSA daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sarangi ve Bhattacharya (2005), Hindistan Jharkhand eyaletinde Damodar vadisinin üst kısımlarında Banha havzası için 1995-1998 yıllarına ait hidrograf ve silt yük verileri kullanarak sediment verimini tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla iki YSA modeli, bir jeomorfoloji temelli (GANN) ve bir jeomorfoloji temelli olmayan (NGANN) model geliştirmiş ve doğrulamışlardır. Bu modellerle öngörülen sediment yükleri, aynı havza için daha önce geliştirilmiş bir regresyon modelinde öngörülen seviyeler ile karşılaştırmışlardır. FFBP modeli hem GANN hem de NGANN modeller için daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte GANN, NGANN ($R^2 = 0.94$, $E = 0.81$, $AAD = 0.006$) ile karşılaştırıldığında en yüksek R^2 0.98, model etkinliği (E) 0.96 ve mutlak ortalama sapma (AAD) 0,0017 ile daha iyi tahmin etmiştir. Regresyon model performansı ise daha düşük çıkmıştır ($R^2 = 0,940$, $E = 0.72$, $AAD = 0.023$).

Agarwal ve ark., (2006) muson ve sediment tahmini yapmak için FFBP yöntemiyle Hindistan'daki bir havzadan günlük, haftalık, on günlük ve aylık yüzey akışı ve sediment verimi değerlerini kullanmışlardır. Tek ve çok girişli doğrusal transfer fonksiyon modelleri kullanılarak elde edilen değerlere göre YSA modelinin oldukça güvenilir sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Çok girişlilere oranla tek girişli modellerde daha iyi performanslar elde etmişlerdir.

Raghuwanshi ve ark., (2006) yüzey akışı ve sediment tahmini amacıyla üç modeli günlük, diğer iki modeli de aylık sürelerle sahip 5 farklı model geliştirmişlerdir. Beş modelin her birinde de hem 1 hem de 2 gizli katman ve farklı sayıda gizli nöronlar kullanmışlardır. Model eğitimlerinde muson sezonundaki Haziran-Ekim aylarına ait 1991-1995 (5 yıl) yıllarının, test için de yine muson sezonundaki 1996-1997 (2 yıl) yıllarının verisini kullanmışlardır. Eğitimde LM geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Performans

ölçütleri olarak tahmin edilen verileri gözlenen değerler, RMSE ve NSE ile karşılaştırmışlardır. Her durumda, YSA modellerinin doğrusal regresyon tabanlı modellerden daha iyi performans gösterdiğini ve çift gizli katmanlı olan YSA modellerinin, tek gizli katmanlı olanlardan daha iyi olduğu belirlemişlerdir. Ayrıca, YSA model performansı, gizli nöronların ve girdi değişkenlerinin sayısının artmasıyla iyi yönde gelişmiştir. Yağış ve sıcaklığı girdi olarak dikkate alan modeller, yağışın tek başına girdi olarak kabul edildiğinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Alp ve Cigizoglu (2007), nehirlerdeki toplam sediment yükünü doğru olarak tahmin etmek amacıyla YSA'yı kullanmışlardır. İki farklı YSA algoritması olan FFBP ve RBANN ağları kullanılmıştır. Veri olarak, ABD Juniata havzasından alınan yağış ve sediment yükü kullanılmıştır. Sonuçta, sadece yağış verilerinin kullanıldığı giriş katmanının çok iyi bir performans ve tahmin sağlamadığı belirtilmiştir. Yağış + akım verilerinin olduğu giriş katmanı ise daha iyi sonuç vermiştir. En iyi MSE değeri bu kombinasyonla elde edilmiştir. En iyi R2 değerleri yağış + akım girişinde, FFBP'de 0,8965 ve RBANN'de ise 0,9209 olarak bulunmuştur.

Zhu ve ark., (2007) Çin'de Longchuanjiang Nehri Upper Yangtze havzasında, aylık asılı haldeki sediment akışını modellemek için YSA tekniğini kullanmışlardır. Asılı haldeki sedimenti ortalama yağış, sıcaklık, yağış yoğunluğu ve su akımı ile ilişkilendirmişlerdir. Doğru değişkenler ve gecikme etkisi girdi olarak kullanıldığında, YSA'nın aylık asılı haldeki sediment miktarını oldukça doğru bir şekilde modelleyebildiğini göstermişlerdir. MLR ve üssü olarak ilişkili diğer modellerle karşılaştırıldığında, YSA'nın aynı veri gereksinimi altında daha iyi bir uyum sağladığını belirlemişlerdir. Bağımlı değişkenin değerlerini girdi olarak kullanan önceki adımlardaki YSA'larla karşılaştırıldığında, sadece iklim değişkenleri ile kurulan YSA'ların avantajlı olabileceğini; ancak bunun sadece iklim değişikliğine karşı hidrolojik tepkileri değerlendirmek için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Kişİ ve ark., (2008) Türkiye'de Karadeniz bölgesindeki dört istasyon (Harşit, Iyi, Çoruh ve Oltu nehirleri) için günlük akarsu akışı ve akıdaki sediment verilerini kullanarak sediment tahmininde bulunmaya çalışmışlardır. Bu amaçla RBANN, FFBP, GRYSA, MLR, ANFIS ve SAE tahminleri arasında karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak, ANFIS'in genel olarak diğer tekniklerden daha iyi tahminler verdiğini ortaya

koymuşlardır. YSA tekniklerinden ise RBNN'nin, FFBP ve GRYSA'dan daha iyi performans gösterdiğini keşfetmişlerdir.

Hamidi ve Kayaalp (2008), Diyarbakır ölçüm istasyonu ölçüm değerleri ile Dicle Nehri'nde sediment miktarları için modeller oluşturmaya çalışmışlardır. Yağış, sıcaklık ve akım modellerde bağımsız değişken olarak alınırken; sediment bağımlı değişken olarak alınmıştır. YSA'lar ve RA kullanılarak 14 farklı model oluşturulmuştur. Sonuçlar, birbirleriyle ve gözlemlenen verilerle karşılaştırılmıştır. Kıyaslama ölçütü olarak göreceli hata ve R² kullanılmıştır. Doğrusal olmayan modelleme kabiliyetlerinden dolayı, YSA'lar RA'dan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Cobaner ve ark., (2009) nehirlerdeki askıdaki sediment konsantrasyonunu tahmin etmek için uyarlanabilir bir bulanık nöron yaklaşımını önermektedir. Çalışmada ABD, Arcata yakınlarındaki Mad nehir havzasındaki yağış miktarı, nehir akımı ve askıdaki sediment konsantrasyonu verileri kullanılmıştır. İlk bölümde mevcut yağış miktarı, akım, geçmişteki günlük akım ve sediment konsantrasyonlarının farklı kombinasyonlarını mevcut sediment konsantrasyonunun tahmini amacıyla NF hesaplama tekniğine girdi olarak kullanmışlardır. İkinci olarak potansiyel sinirsel bulanık tekniğini, 3 farklı YSA tekniği (GRYSA, RBANN, MLP) ve 2 farklı SAE ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre sinirsel bulanık modellerin, çalışmada kullanılan belirli veri setleri için günlük askıdaki sediment konsantrasyon tahmininde diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Doğan (2009), bağımlı değişken (toplam katı madde konsantrasyonu) ile bağımsız değişkenler (yatak eğimi, akım debisi ve katı madde dane çapı) arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi açıklayan etkili bir model kurmaya çalışmıştır. 60 adet deney verisi, YSA modelin oluşturulması için kullanılmıştır. YSA'lar bazı katı madde taşınım denklemleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, YSA'nın diğerlerine göre daha iyi tahminler verdiğini gözlemlenmiştir. YSA'dan sonra en iyi sonucu Modifiye Edilmiş Einstein (Einstein-Brown) denklemi vermiş olup, bu denklemle elde edilen sonuçların YSA ve gözlenen değerlere uyum sağladığı görülmüştür. Graf ve Acaroğlu denklemleri ile elde edilen değerlerin ise gözlenen değerle uyum sağlamadığı bulunmuştur.

Rajae ve ark., (2009) nehirlerdeki askıdaki sediment konsantrasyonunun zaman serileri modellemesi için YSA, NF, MLR ve geleneksel SAE modellerini kıyaslamışlardır. Yapay zeka sistemleri olarak sırasıyla YSA ve NF modelleri ile FFBP YSA yöntemi ve Sugeno çıkarım sistemini kullanmışlardır. Modelleri, günlük nehir akımları ve ABD'deki Little Black River ve Salt River ölçüm istasyonlarına ait SSC verileri kullanarak eğitmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre YSA ve NF modellerinin, gözlenen sediment değerleri ile iyi uyum içinde olduğunu; MLR ve SAE yöntemlerine göre de daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Little Black River istasyonunda NF modeli için R^2 0.697, YSA, MLR ve SAE modelleri için sırasıyla 0.457, 0.257 ve 0.225 bulunmuştur. Genel olarak NF modelinin, diğer modellere kıyasla askıdaki sediment konsantrasyonunun öngörüsünde daha iyi performans sunduğunu bildirmişlerdir.

Yan ve ark., (2009) önceki 10 yıllık saha verilerine göre, sel döneminde Lijin kesiminin sediment taşıma hacmi ve 11. sene taşkın öncesi dönemi tahmin etmek için RBANN sinir ağını kullanmışlardır. Toplanan saha verisi ile RBANN kıyaslandığında, akım ve sediment taşıma hacmi tahmin hatasının yüksek olduğunu belirlemişler ve RBANN modelinin girdi değerine uygun bir şekilde ele alarak uygun bir şekilde seçerek iyileştirilmesi gerektiğine karar vermişlerdir.

Yenigün ve ark., (2010) sediment tahminlerini YSA mimarisine göre yapmışlardır. İleri-geri ve geri yayılım kullanılarak elde edilen değerler ile YSA'nın gözlenen değerleri arasında yüksek korelasyon gözlenmiştir. Belirli bir süre boyunca sediment ölçümü yapılmadığında, bulunmayan süreye ait miktarları YSA tekniği ve küçük bir hata ile tahmin etmişlerdir.

Melesse ve ark., (2011) YSA modelleme yaklaşımını kullanarak ABD'de üç büyük nehir (Mississippi, Missouri ve Rio Grande) için asılı haldeki sediment yüklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. RBANN ağına sahip bir MLP modelini günlük ve haftalık hidro-meteorolojik veriler (yağış, akım, bir önceki akım, bir önceki sediment miktarı) kullanarak sediment tahmininde bulunmaya çalışmışlardır. YSA ile elde edilen sonuçlar R^2 , MAPE, MNLR ve MLR ile kıyaslamışlardır. Ayrıca eğitim süresi uzunluğunu (4, 3 ve 2 yıllık eğitimler ile 1, 2 ve 3 yıllık testler) karşılaştırmışlardır. YSA, Missouri için giriş 1 ve 3 * 2 mimarisinde ($R^2 = 0.97$) ve Mississippi ($R^2 = 0.96$) Rio Grande'den ($R^2 = 0.65$) daha iyi günlük değerler tahmin etmiştir. Günlük tahminler, haftalık verilere göre

daha yüksek korelasyon nedeniyle her üç nehrin haftalık tahminleriyle karşılaştırıldığında daha iyi çıkmıştır.

Aydın ve Eker (2012), YSA kullanılarak günlük akarsu akış miktarına karşılık gelen günlük askıda sediment miktarlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. YSA yöntemi olarak RBANN'yi, seçmişler ve linear tangent hyperbolic axon (litanhaxon) ve tangent hyperbolic axon (tanhaxon) transfer fonksiyonları ile Quickprop (QP) ve Delta-bar-Delta (DBD) isimli iki farklı öğrenme algoritması uygulamışlardır. Çoruh Nehri (Türkiye) üzerindeki İspir Ölçüm istasyonunda 1991 ve 1999 yılları arasında ölçülen akarsu akış ve askıda sediment verisi kullanmışlardır. RBANN ağ yapısı için öğrenme/kalibrasyon ve test/doğrulama amacıyla toplamda 106 veri kullanmışlardır. Ölçümlerin 76 tanesi (%72) öğrenme için ayrılırken geriye kalanlar test etmek için kullanmışlardır. Model performanslarını MAE ve R2 ile değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, YSA kullanarak günlük akıştan askıdaki sediment miktarının tahmin edilmesinde RBANN'nin rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Geliştirilen ağların MAE performans kriterine göre litanhaxon ile DBD öğrenme algoritması (MAE=0.052) en iyi sonucu verirken, R2 performans kriterine göre ise tanhaxon ile DBD öğrenme algoritması (R=0.963) en iyi sonucu vermiştir.

Bayram ve ark., (2012) bulanıklık ölçümlerine dayalı olarak sediment konsantrasyonunu hesaplamak için RA ve YSA yöntemlerini kullanmışlardır. Sediment konsantrasyonunu, öncelikle Doğu Karadeniz Havzası Harşit deresinin Ana Şubesi boyunca altı izleme istasyonundan toplanan yüzey suyu örnekleri için deneysel olarak belirlemişlerdir. Her değişken için Mart 2009 ve Şubat 2010 döneminde iki haftalık bazda elde edilen 144 veri kullanmışlardır. 144 veriden YSA yönteminde eğitim için 108, test için 24 ve doğrulama için 12 veriyi kullanmışlardır. Doğrulamada YSA için en düşük MAE ve RMSE değerleri sırasıyla 11,40 ve 17,87 ve RA'da ise 19,12 ve 25,09 olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak sediment konsantrasyonu tespitinde YSA'nın akışkan bulanıklığı ile tespit edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Memarian ve Balasundram (2012), yaptıkları çalışmada RBANN ve MLP tahmini performanslarını karşılaştırmışlardır. Malezya Langat Nehrindeki günlük sediment miktarı ve su akımı zaman serisi verilerini ağların eğitimi ve test edilmesi için kullanmışlardır. Modellerin performans değerlendirmesinde RMSE, Normalleştirilmiş Kare Hata (NMSE) ve R2 kullanılmıştır. Test verilerini kullanarak sediment yükleri için

her iki modelde de benzer doğrulukta değerler elde etmişlerdir. Sonuçta, MLP ağ modelinin özellikle eğitim boyunca sediment tahmininde RBANN modeline göre bir kademe daha iyi bir sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak her iki YSA modelinin de büyük miktarlardaki sediment yüklerinin tahmininde zayıf kaldıklarını belirtmişlerdir.

Sedaei ve Shahedi (2012), İran'da Armand Nehrinde 772 veri setine dayanılarak seçilen ampirik denklemlerle askıdaki sediment yükünü tahmin etmeye çalışmışlardır. MLP sonuçlarını Toffaleti, Chang-Simons-Richardson, Einstein, Lane-Kalinske, Brooks ve Bagnold gibi ampirik formüllerle elde edilen askıdaki sediment miktarı ile kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, MLP'nin, yukarıda belirtilen denklemler ile karşılaştırıldığında askıdaki sediment tahmininde daha iyi bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Girdi parametreleri olarak hız, alan, derinlik, hidrolik oranını kullanmışlar ve girdi katmanında 4, gizli katmanda 2 ve çıktı katmanında 1 olan MLP modelinin tüm sinir ağı modelleri arasında en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Model performanslarında ise $RMSE = 0,027$ ve $R^2 = 0,90$ olarak belirlemişlerdir.

Shabani ve Shabani (2012), İran'da Fars'ın kuzeybatısında bulunan Karestan Havzasında günlük askıdaki sediment tahmininde YSA yöntemini uygulanabilirliğini denemişlerdir. Bu amaçla 25 yıllık akım ve sediment verilerini kullanmışlardır. YSA yöntemi olarak da hatayı geriye yayma algoritmali MLP kullanmışlardır. Daha sonra YSA ve SAE temel alınarak tahminler yapmışlar ve bu değerleri RMSE, MAE ve R^2 ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta, YSA'nın SAE'ye göre daha doğru sonuçlar ortaya koyduğuna karar vermişlerdir. YSA ile elde edilen RMSE, MAE ve R^2 değerleri sırasıyla 19.27, 12.14 ve 0.98 iken SAE için bu değerler 36.84, 20.75 ve 0.74 çıkmıştır.

Terzi ve Baykal (2012), YSA'yı katı madde miktarı tahmininde kullanmışlardır. Katı madde tahmini için Kızılırmak Nehri'nde bulunan Yamula gözlem istasyonuna ait 1973-2003 yılları arasında bulunan akım verileri girdi parametresi olarak kullanılmış ve çeşitli YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller incelendiğinde, YSA yönteminin katı madde tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

Boukhrissa ve ark., (2013) El Kebir havzasında SAE ile YSA yöntemlerini sediment tahmini açısından karşılaştırmışlardır. LM ve BR algoritmalarını kullanarak CF ve FFBP temel alan modellerde Ain Assel istasyonundan günlük su akım ve askıdaki sediment verilerini girdi ve hedef olarak kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, YSA

modellerinin günlük sediment miktarı ve küresel yıllık sediment verimlerini belirlemede daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Eisazadeh ve ark., (2013) İran'ın batısında 25 rezervuar havzasında MLR ve YSA yöntemlerini kullanarak sediment verim tahmini yapmaya çalışmışlardır. Rezervuarların alt havzalarındaki 160 veri setini sediment veriminde kullanmışlardır. FFBP ile YSA yönteminde en iyi model seçimi için, farklı girdi kombinasyonları ve farklı fonksiyonlar kullanmışlardır. Ayrıca, MLR yönteminde iklim ve jeomorfolojik faktörlerin farklı parametrelerini kullanan bir model belirlemişlerdir. Model performans değerlendirmesi için RMSE ve R2 ölçütlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, R2 ve RMSE sırasıyla 0.64 ve 1.41 olan MLR modeline kıyasla $R2 = 0.86$ ve $RMSE = 0.09$ olan YSA modelinin sediment verimini daha iyi tahmin edebileceğini göstermişlerdir. Özellikle YSA modelinin, jeomorfolojik parametreleri kullanarak sedimantasyonun doğrusal olmayan ilişkilerini makul bir hassasiyetle keşfetme kabiliyetine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Singh ve ark., (2013) Hindistan'daki bir havzada yağışlı sezon süresince aylık yağış ve yüzey akışının bir fonksiyonu olarak aylık sediment verimini tahmin etmek amacıyla FFBP ve RBANN'yi kıyaslamışlardır. YSA modelinde girdi tipini ve sayısını belirlemek için dört senaryo belirlemişlerdir. Nagwa'nın küçük ve ormanlık havzasında, aylık yağış ve ortalama akım değerlerinin eklenmesi ile aylık sediment verim tahmininde YSA model performansının iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Momentum oranı, gizli katmandaki düğüm sayısı, prototip katmandaki düğüm sayısı, doğrusal katsayısı, öğrenme kuralı ve transfer fonksiyonlarını en düşük RMSE ve en yüksek R2 değerlerine dayanarak optimize etmişlerdir. Doğrulama süresince, RBANN modeli FFBP'ye göre daha iyi çıkmıştır. Gözlenen ortalama yıllık sediment verimi 3.7 t/ha olarak bulunmuştur. Eğitim ve doğrulama süresince, FFBP modelinde tahmin edilen ortalama yıllık sediment verimi 3.1 ve 3.7 t/ha'dır. RBANN modelinde ise aynı dönemler için tahmin edilen ortalama yıllık sediment verimi 3.6 ve 3.5 t/ha'dır. Sonuç olarak RBANN modelinin, tarımsal havzalarda tek bir ilgi noktasında sediment verimini tahmin etmede daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Issazadeh ve Govay (2014), Irak'ın Duhok kentinde bulunan Duhok barajındaki sediment veriminin modellenmesinde doğrusal olmayan bir kara kutu modeli olan YSA tekniğini kullanmışlardır. 2010-2011 yıllarına ait günlük değerler veri setini oluşturmaktadır. Bu zaman aralığında yaklaşık kaydedilmiş 270 sediment ölçümü vardır. Tüm veri setini ikiye

bölmüşler ve bunların %70'ini deneme için, %30'unu ise test için kullanmışlardır. Üç katmanlı FFBP için mevcut, bir gün önceki ve iki gün önceki zaman dilimine ait ölçülen akımları girdi ve sediment verimini de çıktı olarak kullanmışlardır. En iyi YSA mimarisini deneme yanılma yöntemi ve hatalara göre belirlemeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlar, EI yardımıyla önerilen yöntemin etkinliğini ve kabiliyetini belirlemek için iki geleneksel yöntemin (MLR ve SAE) sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta, YSA modelinin geleneksel yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Barzegari ve ark., (2015) İran'ın Lorestan Eyaletindeki 10 istasyona ait askıdaki sediment değerlerini YSA modeli, Sınıflama ve Regresyon Ağaçlı karar ağaçları yöntemi ve farklı SAE türleriyle tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuçlar, LM geri yayılım algoritması ile YSA doğruluğunun, özellikle de yüksek akımlarda diğer iki modelden daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Modellerde farklı aralığa sahip verilerin karşılaştırılması ile aylık verilerle çalışan modellerin daha küçük hata ve daha iyi tahmin sonuçları elde ettiğini bildirmişlerdir.

Sajadi ve Ramu (2016), Lokapavani nehir havzasında MLP kullanılarak askıda sediment tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuçlar SAE modeliyle karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre YSA, daha iyi sediment değerleri sunmuştur. YSA ve SAE modellerinden elde edilen R2 değerlerini sırasıyla 0.88 ve 0.846 olarak tespit etmişlerdir. YSA'nın uç değerleri tahmin etmede yeteri kadar başarılı olamadığını belirtmişlerdir.

Tfwala ve Wang (2016), fırtına süresince güney Tayvan'da bulunan Shiwen Nehrinde akarsu akımı ile askıdaki sediment akımı ilişkisini YSA ile belirlemeye çalışmışlardır. Kullanılan YSA modelleri, MLP, koaktif neuro-fuzzy çıkarım sistemi modeli (CANFISM), TLRN, tam tekrarlayan sinir ağları (FRNN) ve RBANN'dır. YSA ve SAE'ler arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Oluşan 8 adet fırtına sırasında saatlik bazda su ve sediment akımları elle toplanmış, SAE ve YSA girdisi olarak kullanılmıştır. Sonuçta YSA modellerinin, saatlik tortu akımlarını SAE'ye göre daha iyi tahmin ettiğini belirtmişlerdir. CANFISM, TLRN, FRNN ve RBANN'ye kıyasla MLP ($R^2 = 0,903$) daha doğru tahminler ortaya koymuştur. SAE ile en düşük R2 (0,765) değerine sahip olunmuş ve en yüksek sediment akımında bile (%47) düşük tahmin sonuçları elde edilmiştir.

2.6 YSA ve Meteorolojik Tahminler ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Atik ve ark., (2007) Zonguldak ili için 1995-2004 yılları arasındaki 10 yıllık meteorolojik verilerin ortalamasını kullanarak YSA ile meteorolojik verileri hesaplayabilen bir model ortaya koymuşlardır. Giriş bilgisi olarak atmosfer dışındaki güneş ısınım şiddeti, deklinasyon açısı ve güneşlenme süresi bilgileri; çıkış olarak atmosfer içindeki ısınım şiddeti, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı bilgileri kullanılmıştır. YSA'nın gizli katmanında ise 6 hücre kullanılmıştır. Bu YSA'da eğitime karesel hata ($e \leq 0,0001$) değerine ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. YSA'da istenilen hata değeri sağlandıktan sonra, 2005 yılı verileriyle test edilmiştir. Test sonucunda ortalama bağıl hata değerinin kabul edilebilir hata sınırları içerisinde çıkması nedeniyle YSA'nın bu alanda rahatlıkla kullanılabildiğini belirtmişlerdir.

Partal ve ark., (2008) 3 istasyonun günlük meteorolojik verileri kullanarak YSA ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile günlük yağış tahmini yapmışlardır. YSA yönteminin literatürde en çok kullanılan algoritmalarından FFBP ve RBANN yöntemleri yağış tahmini amacıyla kullanılmıştır. Farklı girdi kombinasyonları denenerek her istasyon için en uygun model bulunmaya çalışılmıştır. Sonuçta FFBP algoritmasının kullanıldığı yöntem en iyi performansı göstermiştir. Dalgacık dönüşümü-YSA yönteminin tahmin sonuçları MLR ile kıyaslanmış ve performans kriterlerine göre daha iyi olduğu bulunmuştur.

Awan ve Maqbool (2010), muson yağışları tahmininde YSA kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Halen, muson yağış tahmininde MLR ve istatistiksel ölçek küçültme modelleri kullanılmaktadır. Kullandıkları teknikler ise FFBP ve öğrenme vektörü nicilemesidir. Eğitim için 1960-2004 yılları arasında 45 yıllık gerçek muson yağış verileri kullanılmış ve bu modellerin performansı 2005-2009 arası beş yıllık veriler ile değerlendirilmiştir. Sonuçta doğruluk ve kesinlik açısından YSA yöntemleri daha iyi sonuçlar vermiş ve daha az kaynak tüketmişlerdir.

Luo ve ark., (2010) Xitiaoxi havzasındaki 19 yağış istasyonunda günlük yağış tahminlerinde mekansal yağış enterpolasyonu için RBANN'nin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Temel performans ölçütleri olarak MAE ve RMSE kullanmışlardır. Ayrıca, Inverse Distance Weighted yöntemi ve yağış istasyonları arası çapraz doğrulama ile yağış tahmin performansı RBANN'nin performansı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç

olarak yağış yüksek mekansal değişkenlik olduğu zamanlarda dahi, RBANN ile IDW'ye göre daha kesin olarak tahmin edilebilmiştir ve IDW'nin, düşük mekansal değişkenliğe sahip yağış enterpolasyonlar için daha uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Erkaymaz ve Yaşar (2011), FFBP modeli ile hava sıcaklığını tahmin etmeye çalışmışlardır. Ortamın sıcaklığı en düşük hata ile MATLAB programında geliştirilen uygulama ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen sistem için Karabük ilinden alınan sıcaklık verileri eğitim verileri olarak kullanılmıştır. Ayrıca sistem için girişten çıkışa doğru FFBP YSA'nın tahmin modellemesini yapmışlardır.

Işık ve İnallı (2011), DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Antalya iline ait 2000-2010 yılları için ölçülmüş meteorolojik veriler kullanarak, YSA ile modelleme işlemine tabi tutmuşlardır. Bu yöntem ile aylık ortalama güneş ışınlı şiddeti, nispi nem ve sıcaklık değerleri tahmin edilmiştir. Model olarak Geriye Yayımlı MLP kullanılmıştır. YSA modelinin performansı orta katmandaki nöron sayısı, giriş sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametreler değiştirilerek ayarlanmıştır. Oluşturulan YSA modeli ile istenen meteorolojik parametreler yüksek bir hassasiyetle tahmin edilmiştir.

Wang ve Wu (2012), yağış tahmini amacıyla Dalgacık SVM Regresyonu kullanan yeni bir melez RBANN topluluk modeli geliştirmişlerdir. İlk aşamada veri setini Bagging ve Boosting teknolojisi kullanarak farklı eğitim setlerine bölmüşlerdir. İkinci aşamada, bu eğitim setlerini farklı bireysel RBANN modellerine girmişler ve daha sonra çeşitli çoklu RBANN öngörücüleri çeşitlilik ilkesine dayalı olarak üretmişlerdir. Üçüncü aşamada, kısmi en küçük kareler ile uygun sayısal sinir ağını seçmişlerdir. En son aşamada ise W-SVR, RBANN'nın tahmin sırasındaki uyumu için kullanılmıştır. Test amaçlı olarak, aylık yağış tahmini açısından yeni modelin performansını Guangxi'deki (Çin) mevcut YSA modeli ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen melez tekniğin yağış tahmininde alternatif bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Yıldırım ve ark., (2019) Samsun ve Amsya'da 3 farklı meteoroloji istasyonunda temin edilen ortalama sıcaklık, nem, rüzgar hızı, global güneşlenme ve yağış verilerini kullanarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) modellerinde günlük buharlaşma tahmini yapmaya çalışmışlardır. Belirtme katsayısı (R^2), tahmin hatasının standart sapması (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) gibi farklı istatistik parametreleri kullanılarak model performansını

değerlendirilmiştir. Sonuç olarak YSA ve ANFIS metotlarının, özellikle sınırlı iklim parametrelerinin olduğunda buharlaşmayı tahmin etmede yararlı araçlar olduğunu belirtmişlerdir.

2.7 Fırat-Dicle Havzası ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Özdemir ve ark., (2002) Fırat nehri su potansiyelinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları araştırmada çoğunlukla 30 km³/yıl değerinin biraz altında veya birkaç km³/yıl üstünde değişen değerlere rastlamışlardır. Türkiye dışından kaynaklanan akışların ise 2 ila 5 km³/yıl mertebesinde olduğu ifade edilmektedir.

Özdemir ve ark., (2006) Fırat-Dicle havzasının su potansiyeli olarak Fırat için 29-37 km³/yıl, Dicle için 42-58 km³/yıl değerlerini vermektedir. Ortadoğu su bunalımının çözümüne katkı arandığında, toplamda 24 km³/yıl değerini bulan farkın onda birinin dahi, Şeria havzası ülkelerinin su kıtlığını önemli ölçüde hafifletecek nicelikte olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda su potansiyelinin gerçek değerinin belirlenmesinin herhangi bir su tahsisinin ön koşulu niteliğinde olduğunu vurgulamıştır. Türkiye'deki GAP ve diğer projelerin temelde Birleşmiş Milletlerin hakça ve makul kullanım esaslarına uygun olup, barajların alt kısımdaki ülkelere rüsubatın tutulması, taşkınların sönümlenmesi, belli sürelerde düşük akımların arttırılması gibi önemli yararlar sağladığını belirtilmiştir. Bu bakımdan, Ortadoğu su bunalımının Mezopotamya bölümü, bölgedeki diğer anlaşmazlıklarla kıyaslandığında gereksiz biçimde abartılmış nitelikte olduğunu bildirilmektedir.

Kattan (2008), 2004-2005 döneminde Fırat Nehri'nin Suriye bölümünde 12 istasyonda elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ve klorür konsantrasyonları ile birlikte kararlı izotop (18O ve 2H) oranlarını ölçmüşlerdir. Kararlı izotop oranlarının, Al-Esad Gölü'nde gerçekleşen en önemli güçlendirme ile aşağı yönlü akış mesafesi ile birlikte sistematik olarak arttığını belirtmişlerdir. Bu sistematik artışın nehir ve kollarından kaynaklı buharlaşma veya yeraltı su sistemi üzerinden sulama suyundan dönen sular nedeniyle olabileceği bildirilmiştir. Nehir suyundaki kararlı izotopların bütün zenginleştirilmesine dayanarak sırasıyla 18O ve 2H'yi kullanmışlar ve Al-Esad Gölü'nden buharlaşma ile kaybedilen su miktarını sırasıyla 1.93-2.15 km³ olarak hesaplamışlardır. Klorür bütçesine bağlı olarak, nehir yatağı boyunca sulamadan dönen sular nedeniyle hesaplanan yeraltı

suyu bileşenin, nehir boyunca uygulanan sulamanın derecesine bağlı mekânsal olarak %1 ile %70 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

İşcen ve ark., (2009) Fırat nehri havzası yüzey suyu kalitesini, faktör analizi (FA) ve çok boyutlu ölçeklendirme (MDS) analizi olarak bilinen çok değişkenli istatistiksel teknikler kullanarak değerlendirmişlerdir. 15 farklı yüzeysel su kalite izleme istasyonundan elde edilen su kalitesi verilerine FA uygulandığında, Fırat nehri havzasındaki toplam su kalitesinin toplam varyansının %86,02'sinden sorumlu olan iki faktör tespit etmişlerdir. Kentsel arazi kullanım faktörü olarak adlandırılan ilk faktör toplam varyansın %44.20'sini, ikinci faktör olan tarımsal kullanım faktörü ise toplam varyansın %41.81'ini açıklayabilmiştir. Sonuç olarak MDS tekniği, su kalite analizlerinde farklılık yaratan en önemli değişkenlerin elektriksel iletkenlik (EC), yüzde sodyum (%Na) ve toplam tuz su kalitesi olduğunu ortaya koymuştur.

Odemiş ve ark., (2010) Fırat nehri üzerindeki 14 ve Dicle nehri üzerindeki 7 istasyondan elde edilen uzun vadeli verileri (1971-2002) non-parametrik Kruskal-Wallis ve Mann-Kendall eğilim testleri ve kutu diyagramlarını kullanarak analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda, Yukarı Fırat'ın aşağı Fırat'tan daha düşük akış hızı (FR), su sıcaklığı (WT), elektriksel iletkenlik (EC), Cl ve SO₄ değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Orta Fırat ise, aşağı Fırat'a kıyasla daha yüksek Na, K, HCO₃, Cl, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve bor (B) değerlerine, daha düşük EC ve SO₄ değerlerine sahiptir. Üst batı Dicle Nehri, aşağı Dicle nehrine kıyasla daha yüksek EC, Ca + Mg ve SO₄ değerlerine ve daha düşük FR, Na ve SAR değerlerine sahiptir. Yukarı doğu Dicle'nin ise, aşağı Dicle'ye kıyasla daha yüksek HCO₃ ve B değerlerine ve daha düşük D ve E değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Bozkurt ve Şen (2013), Fırat-Dicle Havzasında gelecekte görülecek iklim değişikliğinin hidro-iklimsel etkileri, farklı GCM (ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3) emisyon senaryolarının (A1FI, A2 ve B1) dinamik olarak indirgenmiş çıktıları kullanarak araştırmışlardır. Tüm senaryolar, havzadaki kış yüzey sıcaklığının artış gösterdiğini ve yüksek kesimlerde daha da artacağını göstermektedir. Buna bağlı olarak havzanın kuzey ve yüksek kesimlerde kış yağışları azalacak, güney kesimlerinde ise artacaktır. Yıllık yüzey akışında ve kaynak kısmında istatistik olarak önemli sayılacak derecede (%25-55) azalmalar görülmüştür. Bununla birlikte özellikle üst bölgelerden gelen suya öncelikli

olarak ihtiyacı olan Irak gibi ülkelerin, daha fazla suya ihtiyaç duyabileceklerini bildirmişlerdir.

Yürekli (2015), Türkiye tarihinde bölgesel kalkınma için en büyük yatırım olan ve dünyanın dördüncü en büyük sulama projesi Güneydoğu Anadolu Projesinin (GAP) tüm alanını kapsayan, Fırat-Dicle Havzası'nın üst kısmındaki yağış değişimlerini değerlendirmiştir. Verilerin istatistiksel analizi için sırasıyla verilerin monoton eğiliminin yönünü ve büyüklüğünü belirlemek için Mann-Kendal (MK) ve Theil-Sen Eğim tahmin edicisi (TSE) istatistiklerini kullanmıştır. Pozitif, negatif veya önemsiz yağış eğilimleri olan istasyonları havzanın farklı bölümlerine dağıtmıştır. Önemli eğilimleri, altı istasyonda %1 anlamlılık düzeyinde tek yanlı hipotez için standart normal dağılımdan kritik değere ($\pm 2,33$) göre bulmuştur. Farklı zaman ölçeklerinde monoton eğilimi olan 12 istasyonun TSE sonuçlarına göre 2.36 mm ile 2.51 mm arasında değiştiğini belirlemiştir. Altı istasyonun sırasıyla Ağrı ve Bitlis istasyonlarında yüzde değişimde (PC) maksimum azalış (%-72.5) ve artış (%166.9) tespit etmiştir. Önceki araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, nehir havzasının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve küresel ısınmadan etkilendiğini bildirmiştir.

Yıldız ve Güneş (2016), esasen yukarı Dicle havzasındaki akım gözlem istasyonlarında (AGİ) ölçülen uzun vadede akışlara bağlı olarak görülen değişimleri (trend) belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla basit doğrusal regresyon yöntemini kullanmışlardır. Ortalama yıllık akış verileri elde edilmiş ve istatistiksel regresyon ve Taylor diyagramında aylık veriler kullanılmıştır. Yukarı Dicle havzasındaki yıllık doğal akışın düşmesinde doğal faktörlerin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kıyıdaş ülkeler arasında derhal bir iş birliğinin kurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Daggupati ve ark., (2017) hidro-klimatik değişkenleri ve zamanla nasıl değiştiklerinin daha iyi anlaşılması için Fırat-Dicle havzasındaki yağış ve akımın uzaysal ve zamansal değişimini araştırmışlardır. Araştırmaya göre, yağış 1980'lerde daha nemli 2000'li yıllarda daha da kuru hale gelerek azalma eğilimi göstermiştir. Depolama sonrası dönemde T20 ve E3'te Dicle ve Fırat nehirlerinde yüksek akışlarda toplam %55 ve %40'lık azalmalar görülmüştür. 3-4 ve 5-6 aylık bir gecikme zamanı ile en yüksek kar yağışı ile yüzeysel akım arasındaki zaman periyotlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Yapımı planlanmış birkaç barajda yağış ve akıştaki azalmanın, Dicle ve Fırat

nehirlerinden gelen suya tamamen bağımlı olan bazı Mezopotamya bataklıklarının kurmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir.

2.8 Diğer Çalışmalar

Mustafa ve ark., (2012) yaptıkları bir derlemede, su kaynakları mühendisliğinde tahmin ve tahmin değişkenleri için YSA tekniklerinin giderek artan bir hızda kullanıldıklarını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, 2002'den 2011'e kadar tanınmış ve prestijli dergilerde yayınlanan su kaynakları mühendisliği değişkenleri (nehir sediment ve akımı) için yapılan YSA modellerini incelemişler ve bu derlemede sunmuşlardır. YSA'nın girdi ve çıktı değişkenleri arasında ilişki kurmada çok etkili bir yöntem olduğunu ve nehir sediment ve akımı gibi su kaynakları değişkenleri arasındaki karmaşık yapıyı anlamada kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Rani ve Parekh (2012), Hindistan, Gujarat, Sukhi Rezervuarında 10 günlük gerçek zamanlı su seviyesi tahmini için YSA modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Eğitim için 16, doğrulama için 7 yıllık veri kullanılmıştır. $t+1$ zamanındaki su seviyesini hesaplamak için kullanılan temel girdiler; giren akım, t zamanındaki su seviyesi ve serbest bırakılan sudur. Üç seçenek arasından en iyi modeli elde etmek için model performansları olarak RMSE, R^2 ve tutarsızlık oranını kullanmışlardır. Sonuç olarak, çalışma alanının gerçek zamanlı su seviyesi tahminleri için zaman gecikmeli FFBP YSA yönteminin uygun bir seçim olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

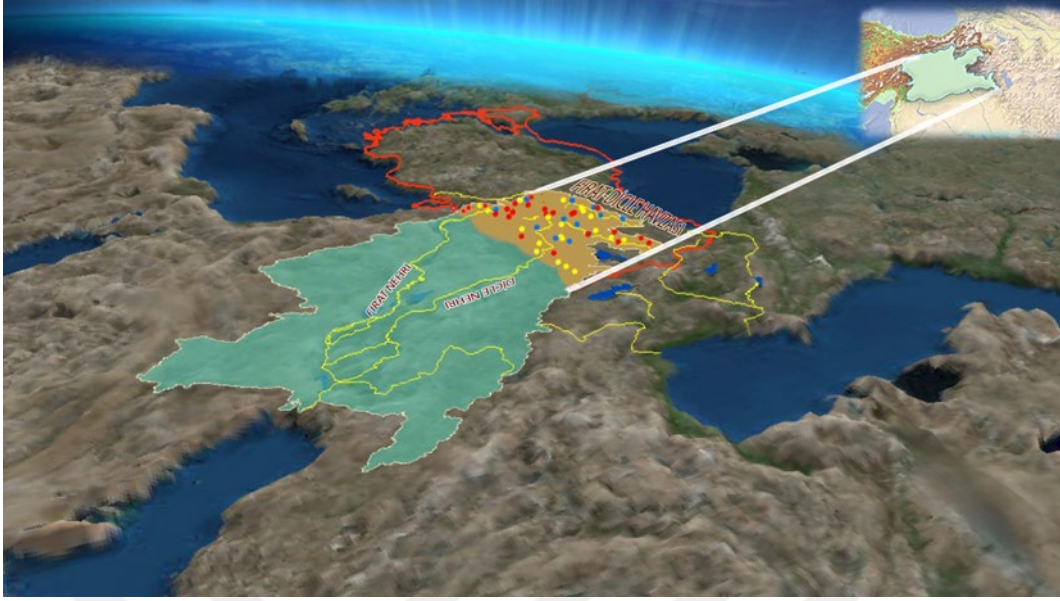
3.1.1 Çalışma alanı tarihçesi

Verimli toprakları ve uygun iklim koşulları nedeniyle, çok eski zamanlardan beri yoğun göçe sahne olan Fırat-Dicle havzası, tarih boyunca farklı kavimlerin bir arada yaşadığı bir coğrafya olmuştur. Bölgeye uzun süre devam eden göçlere bağlı olarak nüfus artışının düzensiz ve çok fazla olması hem siyasi iktidarın belirli bir çizgi izlemesini hem de kültürel ve teknolojik anlamda kent ve toplumların gelişimini engellemiştir (Özdoğan, 2004). Her iki nehir de eski uygarlıkların yükselişine, Sümer ve Akkad dönemlerine (M.Ö. 4000-5000) ait sulama uygulamalarının erken gelişmesine tanık olmuştur.

Tarihçiler, Mezopotamya uygarlıklarının en eskileri M.Ö. 10000 yıllarına kadar dayandığını belirtmişlerdir. Mezopotamya'daki (Irak) tanınmış medeniyetler, Sümer, Acadyan, Babil ve Asurilerdir. Bu devletler aynı zamanda, çok gelişmiş ve bakımlı bir sulama ve taşkın kontrol sistemine sahiplerdi. Özellikle Sümerler ve Babiller Fırat'tan kanallar vasıtasıyla tarlalarına ve şehirlerine su getirmişlerdir. M.Ö. 2000 başlarında Babil kralı Hammourabi zamanına ait bulunan belgelerde, sulama sistemlerinin muhafazasından bahsedilmektedir. Taşkın koruma, sulama ve drenaj en önemli konulardır. 13. yüzyılda Moğol istilası sırasında kanal sisteminin büyük kısmı tahrip edilmiş, son zamanlara kadar genel olarak ihmal edilmiş ve bu durum sulama ve drenaj sistemlerinin terk edilmesine yol açmıştır. Osmanlı döneminde ise eski kanallar yeniden inşa edilmiş, arazi ıslah edilip yeni sistemler tesis edilmiştir.

Ortadoğu'da ve özellikle Fırat-Dicle havzasındaki su ile ilgili kaynaklar 6000 yıl öncesine dayanmaktadır ve bu durum daha önceki zamanlardan sağ kurtulan pek çok mitler (mitolojiler), efsaneler ve tarihsel hesaplarda anlatılmaktadır. Bu anlaşmazlıklar, yeterli su kaynaklarına erişim üzerindeki çatışmalardan, savaşlar sırasında su temini sistemlerine yapılan kasıtlı saldırılara kadar uzanmaktadır (Gleick, 1994)

Fırat-Dicle havzası, Ön Asya'da Anadolu'nun doğusundan başlayıp Basra Körfezi'ne kadar uzanmaktadır. Mezopotamya yani "iki nehir arasındaki arazi" adı verilen bölge, geçmiş tarihte, gelişen birçok medeniyetin beşiği olarak anılmaktaydı. Dicle ve Fırat nehirleri arasında kalan bölge alüvyonlu ve düz bir alandır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1.Fırat-Dicle havzası coğrafi konum

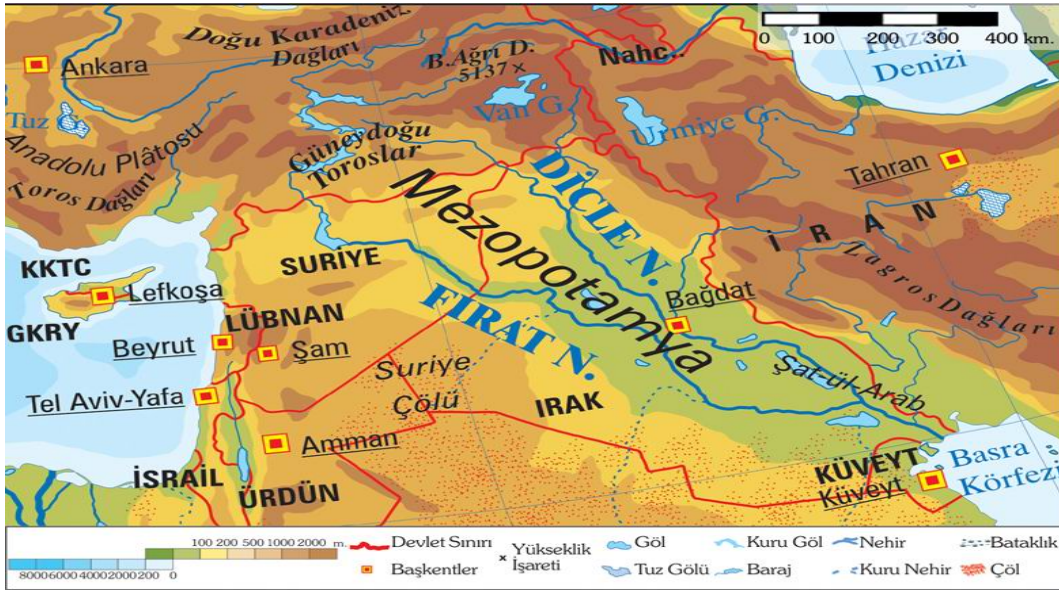
Üç kıtanın birleştiği bir alan olması itibariyle, uzun buzul dönemleri boyunca Afrika'nın doğusundan çıkan insan türünün tüm dünyaya en güvenilir yayılma alanı olarak burayı seçtiği görülmektedir. Bunda bu alandaki uygun beslenme, iklim ve güvenlik olanaklarının olması temel etken olmuştur. Bu özeliğinden dolayı tarihte bu bölge “Verimli Hilal” olarak adlandırılmıştır (Çakırca, 2010).

Havzadaki nehirlerin temel özelliği, Doğu Anadolu'da 4500 m'lik yükseklikten gelen karla beslenmeleridir. Sadece Güneydoğu ve Mezopotamya'nın düşük kotlarda bulunan ovalarını beslemek için değil, aynı zamanda erozyon sonucu oluşan toprakları Anadolu'nun mikro ölçekli olan Güneydeki kısımlarına, Suriye ve Irak'a taşımaktadır. Fırat-Dicle havzası, Mezopotamya uygarlıklarının hidrolojik ve jeolojik özelliklerinde önemli bir rol oynamıştır (Nicoll, 2009). Topoğrafik olarak bölge, kuzeyde en üst kısımlarında yaklaşık 1000 m yüksekliğe ulaşmakta ve Fırat Vadisi boyunca yaklaşık 200 metreye kadar düşmektedir.

3.1.2 Havza ve havza özellikleri

Yeryüzünde pek çok akarsu, bir ülkede doğduktan sonra başka ülkeye/ülkelere geçmekte ve "sınır-aşan su" niteliğini taşımakta, bazıları yer yer iki ülke arasındaki sınır boyunca da akarak "sınır-oluşturan su" işlevini görmektedir. Bu şekilde sınır-aşan ve/veya sınır oluşturan, çok uluslu akarsu havzalarının sayısı 200'ün üzerinde olup bu sulardan faydalanma gibi konu ülkeler arasında ciddi sorunlara yol açabilmektedir.

Günümüzde Türkiye, Suriye ve Irak devletlerinin sınırları içerisinde kalan Fırat-Dicle havzasında, en önemli su kaynağı Fırat-Dicle nehirleridir. Bu nehirler, bazı Ortadoğu ülkeleri de dâhil 3 ülkeyi (Türkiye, Suriye ve Irak) kat edip Irak topraklarında Dicle ile birleşerek Şattül-Arab adını alır ve sonra da Basra Körfezine dökülürler (Turan, 1993). Irak'taki Dicle'nin uzunluğu yaklaşık 1 400 km, Fırat'ın uzunluğu ise yaklaşık 1060 km'dir. Fırat, Irak'a girmeden önce Suriye'yi de kısa mesafeli (yaklaşık 40 km) geçmektedir (Şekil 3.2).



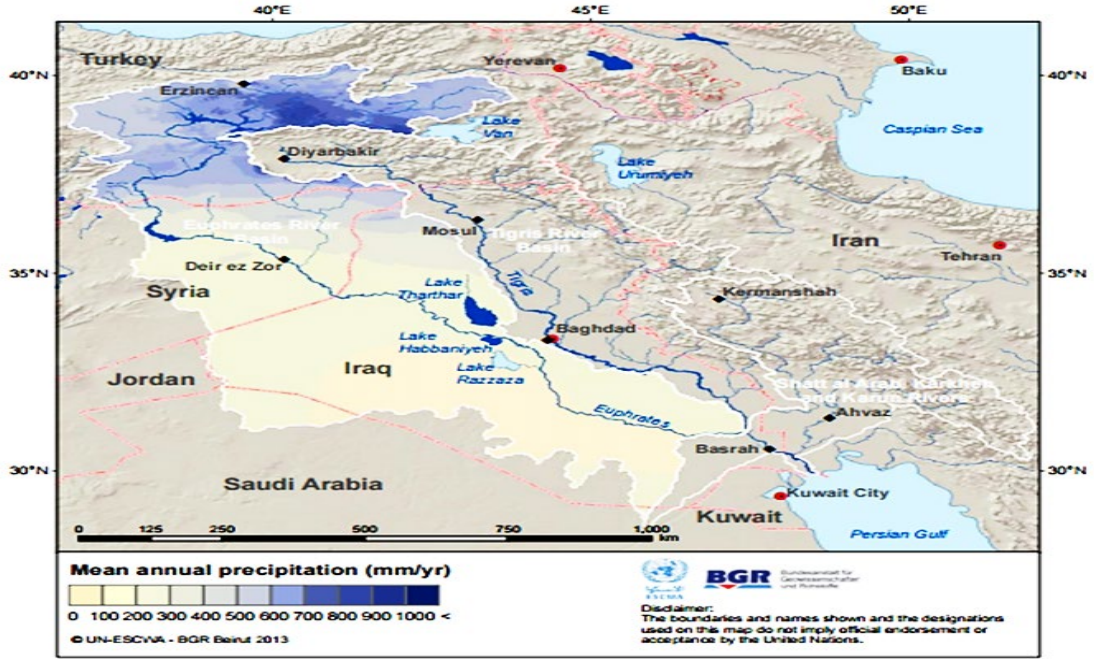
Şekil 3.2. Fırat-Dicle havzası

Aynı bölge içerisinde doğarak, birbirine çok yakın topraklar üzerinde akan ve Irak'ın 1980'li yılların ortalarında inşa ettiği Tartar Kanalı ile birleşen Fırat ve Dicle nehirleri tek bir havza oluşturmaktadır (Dursun, 2006). Havzanın, her iki ana kolunun (Fırat ve Dicle) esas kaynağı Türkiye'dir. Fırat'ta yukarı-kıyıdaş Türkiye'den sonra ara-kıyıdaş Suriye, aşağı-kıyıdaş Irak, arazisinin bir bölümü Fırat'ın Irak'taki sağ sahiline doğru eğimli ama su katkısı olmayan 'sanal-kıyıdaş' Suudi Arabistan yer almaktadır. Yukarı-kıyıdaş Türkiye'den sonra, Dicle bir kesimde suya pek katkısı olmayan Suriye ile Irak arasında sınır oluşturan niteliğe bürünmekte, aşağı-kıyıdaş Irak'a doğudan gelen bazı kollarda İran yukarı-kıyıdaş olarak yer almaktadır.

Bölge iklimsel olarak da farklılıklar göstermektedir. Kuzey-güney doğrultusunda güçlü bir yağış değişimi vardır. Güneydoğudaki yıllık yağış ortalaması 150 mm'den az iken, bölgenin en kuzey kesiminde 450 mm'yi aşmaktadır (Beaumont, 1996). Yıllık ortalama

yağış yaklaşık 450-500 mm arasında gerçekleşmektedir (Şekil 3.3). Havzanın iklimi, büyük ölçekli dolaşım şekilleri ve bölgesel topoğrafya ile belirlenmektedir.

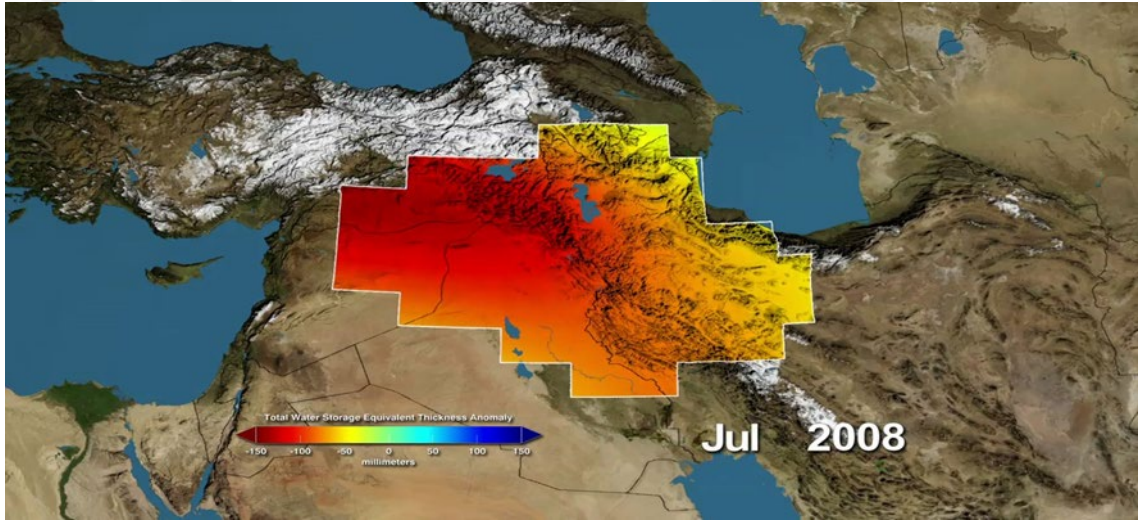
Havzanın yüksekleri soğuk-kıta ikliminin özelliklerini gösterirken, ovalar sıcak çöl iklimi ve sıcak yarı kurak iklim olarak Koppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre sınıflandırılmaktadır. Yaz aylarında hem havzanın ovaları hem de yüksek yerleri tropikal hava yığınlarının etkisi altındadır. Oysa kışın dağlık bölgeler genelde kutup hava yığınlarının etkisi altında kalmaktadır. Bu tip doğal olaylar, Dicle ve Fırat'ın alt bölgelerindeki yüksek buharlaşma hızı, ani iklim değişiklikleri, tuz ve tortu birikimi, kötü drenaj ve düşük toprak kalitesi gibi nedenler sonucu ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 3.3. Fırat-Dicle havzasında ortalama yıllık yağış oranları (WorldClim, 2011)

Tarımsal açıdan bakıldığında, bu yağış değişimi, kuru tarımın sınırı olan bölgenin merkezinden geçtiği için oldukça önemlidir. Alanın kuzey kesiminde, yalnızca yağışla yetiştirilen ürünler kullanılırken, güneyde yetiştirme ancak sulama ile mümkün olmaktadır. Bölgede Brichambaut ve Wallen (1963) tarafından hesaplanan kurak tarım sınırı, Türkiye'nin kuru tarım alan sınırının güneyinden kuzey Suriye'ye kadar uzanmakta ve daha sonra Irak'a girmeden önce Jebel Sinjar'ın etrafında güneye doğru dönmektedir. Kuru tarımın bu teorik sınırı da ortalama koşullara dayanmaktadır; bu da her bir yılda sınırın gerçek yağış miktarlarına tepki olarak dalgalanabileceği anlamına gelmektedir.

Yaz mevsiminin uzunluğu, sıcaklığı ve buna bağlı olarak da buharlaşmanın yüksekliği bölgedeki kuraklığın başlıca nedenidir. Şekil 3.4’de NASA’nın Yerçekimi İyileştirme ve İklim Deneyi (GRACE) uydusu ile çekilmiş Orta Doğu’daki büyük su kayıpları haritası verilmektedir. Harita Fırat-Dicle havzasında, Ocak 2003-Aralık 2009 tarihleri arasında NASA’nın GRACE uydularınca ölçülmüş, toplam depolanan su açısından milimetre olarak değişimler görülmektedir. Kırmızılar kurak koşullar, maviler ise daha iyi koşula sahip alanlardır. Kaybolan suyun büyük bir kısmı, insan faaliyetleri sonucu yer altı suundaki düşüşlerden kaynaklanmaktadır. GRACE, yerçekimini bölgede periyodik olarak ölçerek bilim insanlarına su depolama alanının zaman içinde ne kadar değiştiğini göstermektedir (Çarkoğlu ve Eder, 2001).



Şekil 3.4. NASA’nın GRACE uydusu ile çekilmiş orta doğu’daki su kayıpları (Çarkoğlu ve Eder, 2001)

İçme ve kullanma suyu ihtiyaçları çevredeki su kaynaklarından veya yeraltı sularından karşılanmaktadır. Havzanın ekonomisi büyük ölçüde tarıma dayalıdır. Altı aya yaklaşan yaz kuraklığı nedeni ile kuru tarım tekniği yaygın olup çeşitlilik yoktur. Fırat Havzası’nın, Suriye’ye nazaran daha yüksek ve Suriye’ye doğru meyilli bir topoğrafik yapıya sahip olması sonucu nehir sularının 50.536 m³/s’i yeraltı suyu olarak Suriye topraklarına akmakta, FAO raporunda da bu süzülmenin 35-50 m³/sn mertebesinde olduğu belirtilmektedir. Fırat Nehri, Irak içerisinde Dicle Nehri ile birleşinceye kadar sulama, yer altına süzülme ve buharlaşma sebebi ile potansiyelinin %70-80’ini kaybetmektedir (Dursun, 2006).

Çevredeki dağlardan dolayı Suriye'nin ve Irak'ın iç step ve çölleri çok az miktarda yağış almaktadır (Evans ve ark., 2004). Ovada yıllık yağış 300 mm, yükseklerde ise 600 mm'ye kadar ulaşmaktadır (Bozkurt ve ark., 2012). Havza, yağışların çoğunu kış aylarında almaktadır. Düz alanlar ve yüksek bölgelerin yıllık ortalama sıcaklıkları sırasıyla 20 °C ve 9 °C'dir.

Doğu Anadolu'da Fırat ve Dicle nehirlerinin yan kollarında bulunan akarsu ölçüm istasyonlarının aylık yüzdeleri, toplam yıllık akışlarının %60-80'inin Mart-Haziran döneminde gerçekleştiğini, Nisan ayında en üst düzeye çıktığını göstermektedir (Sen ve ark., 2011). Bu, nehirlerin öncelikle kar akışıyla beslendiğinin iyi bir göstergesidir.

Fırat-Dicle havzası, Ortadoğu'da önemli bir havzadır ve yaklaşık 880 000 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Bozkurt ve Şen, 2013). Benzer olarak, BM tarafından yayınlanmış olan "Uluslararası Nehir Havzaları" listesinde Fırat ve Dicle'nin su toplama havzası 884 000 km² olarak verilmiştir (Kıran, 2005). Havzanın Irak'ta (%46), Türkiye'de (%22), İran'da (%19), Suriye'de (%11), Suudi Arabistan'da (%1.9) ve Ürdün'de (%0.03) toprak parçası bulunmaktadır (Aquastat, 2009). Fırat-Dicle havzasındaki kıyıdaş ülkelere ait drenaj havza alanları (km²) Çizelge 3.1'de, havzaya ülkelerin yaptığı katkılar km³ olarak Çizelge 3.2'de ve havzasının su potansiyeli ile kıyıdaşların tüketim hedefleri de Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kıyıdaş ülkelerdeki Fırat-Dicle drenaj havza alanları (km²)

Ülke	Fırat		Dicle	
	km2	%	km2	%
Türkiye	121787	21.1	53052	14.3
Suriye	95405	16.5	948	0.2
İran	—	—	175386	47.2
Irak	282.532	49.0	142175	38.3
Suudi Arabistan	77090	13.4	—	—
Toplam	576814	100.0	371561	100.0

Kaynak: (UNEP, 2001)

Çizelge 3.2. Havzadaki kıyıdaş ülkelerin hacimsel katkıları (km³) (Bilen, 1997)

Ülke	Fırat	Ülkelerin Suya Katkısı		
	km ³	Türkiye	Suriye	Irak
Fırat	35	31.6 (%90) ³	3.4 (%10)	0
Dicle	52.7 ¹	21.3 (%40) ³	0	31.4 (%60)
Toplam	87.7	52.9 (%60)	3.4 (%4)	31.4 (%60)

1/ Beaumont, 1992

2/ Kolars, 1992.

3/ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)

Çizelge 3.3. Fırat-Dicle nehir havzasının su potansiyeli ve kıyıdaş tüketim hedefleri

Ülkeler	Fırat Havzası		Dicle Havzası	
	Su Potansiyeli	Tüketim Hedefleri	Su Potansiyeli	Tüketim Hedefleri
Türkiye	31.58	18.42	25.24	6.87
	88.70%	51.80%	51.90%	14.10%
Suriye	4.00	11.30	0.00	2.60
	11.30%	31.80%	0%	5.40%
Irak	0.00	23.00	23.43	45.00
	0%	64.60%	48.10%	92.50%
Toplam	35.58	52.92	48.67	54.47
	100.00%		100.00%	

Tüketim hedeflerinin yüzdeleri toplam su potansiyelinin dışındadır. Kaynak: (Ministry of Foreign Affairs, 1996). (Çarkoğlu & Eder, 2001)

Aşırı dalgalanmalar nedeniyle Fırat ve Dicle nehirlerinin yıllık ortalama akımının birlikte belirlenmesi zordur. Çeşitli kaynaklarda, Fırat-Dicle'nin havzasının su potansiyeli olarak Fırat için 29-37 km³/yıl, Dicle için 42-58 km³/yıl, toplamda 71 ila 95 km³/yıl arasında değişen değerlere rastlanılmaktadır (Özdemir ve ark., 2006). Fırat Nehri'nin neredeyse tamamı ülkemiz üzerine düşen yağmur ve karların erimesinden beslenmekte ve Türkiye sınırından sonra Suriye ve Irak topraklarında önemli derecede yağış almamaktadır. Ortalama yıllık su hacmi yaklaşık 32 km³ olan Fırat'ın suyunun yaklaşık %90'ı Türkiye'den beslenirken, kalan %10'luk kısmı ise Suriye'den beslenmekte, Irak'ın su hacmine bir katkısı olmamaktadır.

1938-1980 yıllarına ait kayıtlara göre, 1960'lı yılların ortalarında iki nehirde 68 km^3 'ün ve 1970'lerin ortalarında bu miktarın 84 km^3 'ün üzerinde olduğu yıllar yaşanmıştır. Öte yandan, 1960'ların başında 30 km^3 'den daha az değerle kritik kurak yıl yaşanmıştır. Yıllık akımdaki bu tür değişiklikler, her bir bölgeden gelen su talebinin karşılanması için yeterli su tahsis planının yanı sıra komşu ülkeler arasında suyun adil paylaşımını da zorlaştırmaktadır (UNDG, 2005).

Türkiye'nin kendi topraklarından kaynaklanan su potansiyeli $180 \text{ km}^3/\text{yıl}$ kadardır. Kişi başına su potansiyeli dünya ortalamasının yarısının altında kalan Türkiye'nin, bazı komşu ülkelere kıyasla su varlığı büyük görünse de bu potansiyelin gerek ülke içinde alansal gerekse zamansal dağılımındaki büyük dengesizlikler, Türkiye'nin su kaynaklarını geliştirilmesinde belirli güçlükler ve sınırlamalar da getirmekte; bu potansiyelin ancak üçte ikisi kadarının ekonomik olarak değerlendirilmesi söz konusu olmaktadır (Özdemir ve ark., 2006).

Fırat-Dicle nehir sisteminin hidrolojik rejimini diğerlerinden ayıran en önemli özellik, ilkbaharda kar erimesine bağlı olarak oluşan büyük seller sonucu yıllar arasındaki akışta görülen düzensizliktir. Anadolu ve Zagros'un dağlık alanlarında yıllık yağış 1000 mm 'yi geçmektedir. Yağışın yaklaşık üçte ikisi kışın meydana gelir ve yılın yarısı erimeden kar şeklinde kalabilir. İlkbaharda kar erimesiyle birlikte, periyodik olarak sel nehrin alt kısımlarında gözlenmektedir.

Bu dönemlerde normal akışına göre Dicle yaklaşık 80 misli ve Fırat 28 misli olup, maksimum ve minimum aylık akışlar arasında aşırı farklılıklar bulunmaktadır. Nisan ve Mayıs aylarındaki akış konsantrasyonu, geniş alanların sular altında kalmasına neden olmakla birlikte, yaz mevsiminde sulama ve enerji üretimi için gereken çok miktarda su kaybına da neden olmaktadır.

Fırat nehri havzasında Türkiye'den Suriye'ye olan yıllık akış 28.1 km^3 , bunun Fırat nehrine karşılık gelen kısmı 26.9 km^3 'tür ve $30,0 \text{ km}^3$ 'lük kısmı ise Suriye'den Irak'a doğru olmaktadır. Dicle Nehri'nin Türkiye'den Irak'a doğru yıllık akışı ise 21.3 km^3 'tür. Dicle, Suriye'yi doğuda sadece kısa bir mesafe ile sınırlamaktadır ve bu nedenle olan akış yılda tahminen $1.25 \text{ km}^3/\text{yıl}$ olarak ilan edilen çok az miktardaki akış Suriyeliler için uygundur. Dicle'nin yan kollarının İran'dan Irak'a olan yıllık akışı 10 km^3 'tür (Aquastat, 2009).

Türkiye'nin, Fırat-Dicle Havzasında yararlanma çalışmaları sulama ve enerji üretimi amacına yönelik olarak, 1936 yılında Mustafa Kemal Atatürk'ün talimatlarıyla Fırat Nehri üzerinde, 1945 yılında Dicle Nehri üzerinde gözlem istasyonlarının kurulmasıyla başlanmıştır. Enerji üretmek amacıyla 1950 yılından 1960 yılına kadar proje çalışmaları yapılan Keban Barajı'nın 1965 yılında temeli atılmış olup, 1974 yılında tamamlanarak hizmete açılmıştır (Kuzum, 2001).

Keban Projesi sadece bir hidroelektrik projesiydi ve akarsu akış rejimlerini düzenleyerek, Yukarı Fırat'ta büyük ölçekli gelişmelere sahne olmuştur. Bu nedenle, nehrin aşağı kesimindeki kıyıdaşlar için su potansiyelinde herhangi bir kayba neden olmamıştır. Keban'ın aşağı kesimlerindeki Karakaya barajının inşası 1976 yılında başlamış ve 1987'de hizmete girmiştir. 1980'den bu yana da Atatürk barajı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Kibaroglu ve Maden, 2014).

20. yüzyılın ikinci yarısında Türkiye'de üst Fırat havzasında, Fırat'ın üzerine Suriye'de, Dicle üzerine ise Irak ve İran'da modern su depoları ve hidroelektrik santralleri inşa edilmiştir. Fırat-Dicle havzasındaki mevcut önemli barajların bir listesi ve genel özellikleri Çizelge 3.4'te verilmektedir. İlk tamamlanan büyük barajlar sırasıyla 1997 ve 1998 yıllarında ana nehrin akış yönündeki Dicle ve Kralkızı Barajı idi.

Cizre Akış Ölçüm İstasyonunda sınırın yakınında ölçülen akım miktarına göre 1990'ların ortalarından sonra doğal akışı değişmeye başlamıştır. Bu tarihten önce de üst havzada bazı lisanssız geliştirilmiş küçük sulama projeleri olsa bile, 1969-1993 döneminde ölçülen akış ana nehrin doğal akışı olarak alınmaktadır. Dicle akımlarının uzun dönemde eğilimi üzerine yeterli sonuçlar elde etmek için, tüm Dicle Havzası doğal akış özelliklerini temsil eden en uygun yan kollar üzerinde de çalışılması gerekmektedir (Yıldız ve Güneş, 2016).

Çizelge 3.4. Fırat-Dicle havzasında bulunan önemli barajlar ve genel özellikleri

Ülke	Baraj Adı	Yakındaki Şehir	Nehir Adı	Yılı	Yükseklik (m)	Kapasite (milyon m ³)	Yüzey Alanı (km ²)	Gücü	Asıl Amaç
Türkiye	Keban	Elazığ	Fırat	1975	163	31000	675	1330	HP, FC
	Karakaya	Diyarbakır	Fırat	1987	158	9580	268	1800	HP
	Atatürk	Şanlıurfa	Fırat	1992	166	48700	817	2400	I, HP
	Özlüce	Bingöl	Peri	2000	144	1075			HP
	Kıralkızı	Diyarbakır	Maden	1997	113	1500	-	-	HP
	Kuzgun	Erzurum	Serceme	1996	110	312			I, HP
	Dicle	Diyarbakır	Dicle	1997	75	600	24	110	I, HP, FC
	Batman	Batman	Batman	1998	71	1180	49,2	198	I, HP, W
	Erzincan	Erzincan	Göyne	1997	81	8			I
	Zemek	Van	Hosap	1988	80	104			I, HP
	Koçköprü	Van	Zilan	1992	74	86			I, HP, FC
	Kayalıköy	Kırklareli	Kaya	1986	72	150			I
	Demirdöven	Erzurum	Timar	1996	67	34			I
	Tercan	Erzincan	Tuzla	1988	65	178			I, HP
	Birecik	Şanlıurfa	Fırat	2000	53	1220	56,3	672	I, HP
	Sarımeimet	Van	Karasu	1991	62	134			I
	Sultan suyu	Malatya	Sultan suyu	1992	60	53			I
	Mursal	Sivas	Nih	1992	59	15			I, HP
	Sürgü	Malatya	Sürgü	1969	55	71			I

Çizelge 3.4. (Devam) Fırat-Dicle havzasında bulunan önemli barajlar ve genel özellikleri

Ülke	Baraj Adı	Yakındaki Şehir	Nehir Adı	Yılı	Yükseklik (m)	Kapasite (milyon)	Yüzey Alanı	Gücü	Asıl Amaç
Türkiye	Polat	Malatya	Fındık	199	54	12			I
	Göksu	Diyarbakır	Göksu	199	46	60	3.9	-	I
	Kayacık	Karaburun	-	200	50	117			I
	Hancağız	Gaziantep	Nizip	198	45	100			I
	Çamgazi	Adıyaman	Doyran	199	45	56			I
	Medik	Malatya	Tohma	197	43	22			I
	Hacıhıdır	Şanlıurfa	Şehir	198	42	68			I
	K. Kalecik	Elazığ	Kalecik	197	39	13			I
	Gayt	Bingöl	Gayt	199	36	23			I
	Devegeçidi	Diyarbakır	Devegeçidi	197	33	200	32.1	-	I
	Dumluca	Mardin	Bugur	199	30	22			I
	Karkamış	Kahramanmaraş	Fırat	200	21	160	28.4	189	HP
	Çip	Elazığ	Cip	196	23	7			I
	Palandöke	Erzurum	Gedikçayır	199	19	1558			I
	Porsuk	Erzurum	Masat	199	17	770			I
	Cag-cag	-	-	1968	-	-	-	14	HP, FCD
					Toplam	99188			
Suriye	Al Tabka	Al Thawrah	Fırat	-		11200			
	Baath	-	Fırat	1988	-	90	27.2	75	HP, I
	Tabaqa	-	Fırat	197	60	11700	610	800	HP
	Tishrine	-	Fırat	199	40	1900	166	630	I
	Upper	-	Fırat	199	-	990	1.4	-	I
					Toplam	25880			
Irak	Musul	Musul	Dicle	198	131	12500			I
	Derbendi	Ba'qubah	Diyola	196	128	3000	121	-	I
	Dokan (L.	-	Lesser Zab	196	116	6800	270	-	I
	Haditha	Haditha	Fırat	198	57	8200			I, HP

Çizelge 3.4. (Devam) Fırat-Dicle havzasında bulunan önemli barajlar ve genel özellikleri

Ülke	Baraj Adı	Yakındaki Şehir	Nehir Adı	Yılı	Yükseklik (m)	Kapasite (milyon)	Yüzey Alanı (km ²)	Güç	Asıl Amaç
Irak	Hamrin	Ba'qubah	Diyola	1980	40	4000	440	-	-
	Dibbis	-	Lesser Zab	1965	15	3000	32	-	I
	Samarra-Tharthar	Samarra	Dicle	1954	-	72800	2170	-	FCC,
	Al Hindiyah	-	Fırat	1918	-	-	-	-	FCD
	Al Qadisiyah	-	Fırat	1984	57	8200	500	66	HP, I
	Fallujah	-	Fırat	1985	-	-	-	-	I
	Ramadi-	-	Fırat	1948	-	3300	426	-	FCC
	Ramadi Raazza	-	Fırat	1951	-	26000	1850	-	FCC
	Al-Adheem	-	Dicle	1999	-	1500	-	-	HP, I
	Diyala	-	Dicle	1969	12	-	-	-	I
	Saddam	-	Dicle	1985	126	11100	371	32	HP, I
					Toplam	14930			
İran	Karoun 3	Eizeh	Karoun	2004	205	2970			I, HP
	Dez	Andimeshk	Dez	1962	203	3460	-	52	I, HP,
	Karoun 1	Masjedsole	Karoun	1977	200	3140	54,8	10	I, HP
	Masjedsoleyman	Masjedsole	Karoun	2001	177	230			I, HP
	Gavoshan	Kamyaran	Gaveh roud	-	136	550			I, HP, W
	Karkheh	Andimeshk	Karkheh	2001	128	7800	-	400	I, HP, FC
	Vahdat	Sanandaj	Gheslagh	-	80	224			I, HP, W
	Eilam	Eilam	Baraftab & Chaviz	-	65	71			I, W

Çizelge 3.4. (Devam) Fırat-Dicle havzasında bulunan önemli barajlar ve genel özellikleri

Ülke	Baraj Adı	Yakındaki Şehir	Nehir Adı	Yılı	Yükseklik (m)	Kapasite (milyon m3)	Yüzey Alanı (km2)	Güç	Asıl Amaç
İran	Guilangharb	Guilangharb	Guilangharb	-	51	17			I
	Shahghasem	Yasouj	Parikedoun	1996	49	9			I
	Hana	Samirom	Hana	1996	36	48			I
	Bane	Bane	Banechay	-	20	4			W
	Chaghakhor	Boldaji	Aghbolagh	1992	13	42			I
	Zarivar	Marivan	Zarivar	-	11	97			I
	Marun	-	Dicle	1998	165	1200	25	145	HP, I
					Toplam	19862			
					Genel Toplam	305330			

^aHP: Hidroelektrik; I: Sulama ; FC: Taşkın Koruma; FD: Akım Dağıtımı; W: Su Temini.

Kaynak: (UNEP, 2001).

Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat-Dicle Havzası'nda yapılan en önemli çalışma ise şüphesiz Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)'tır. Proje alanı Fırat-Dicle Havzası ile yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili (Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak) kapsamaktadır ve bölgenin yüzölçümü 75 358 km² olup ülkemizin toplam yüzölçümünün yüzde 9.7'sini oluşturmaktadır. Türkiye'de sulanabilir arazinin yüzde 20'si GAP Bölgesi'nde yer almaktadır. Toplam sulanabilir potansiyele sahip olan alanların 8.5 Mha civarında olduğu düşünülürse bu projenin ve havzanın ülke açısından önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Projenin toplam maliyet ise yaklaşık 32 Milyar ABD Dolar idi.

Havzada temel olarak sulama, evsel kullanım ve hidroelektrik enerji üretimine yönelik 22 baraj, 19 hidroelektrik santrali ile 1.8 Mha alanda sulama yatırımlarının yapımı planlanmıştır. Barajlardaki suyun büyük bir kısmı (bütün akarsu akımının %60-70'i) kar erimesinden oluşmaktadır (Yılmaz ve ark., 2011). Proje'nin, enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 7 476 MW olup, yılda 27 milyar kW saat enerji üretimi öngörülmüştür.

Her iki havzada da ağırlıklı olarak sulama amacıyla su çekilmektedir ve bu değer toplam miktarın %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Fırat'tan Irak'ta 1 000 000, Dicle ve kollarında ise 2 000 000 ha'dan fazla bir alan sulanmaktadır. Suriye ve Türkiye sulamada daha az su kullanmalarına rağmen, her ikisi de önemli ıslah programlarına sahiptir. Mevcut ve önerilen depolama rezervuarlardan buharlaşan su nedeniyle de akışın önemli bir kısmı kaybolabilmektedir (Berkoff, 1994).

1989 yılında hazırlanan Master Plan ile tarım, sanayi, ulaştırma, eğitim, sağlık, kırsal ve kentsel altyapı yatırımlarını da içine alan bir bölgesel kalkınma projesine dönüşmüştür. Proje, gelecek kuşaklar için kendilerini geliştirebilecekleri bir ortam yaratılmasını amaçlayan sürdürülebilir insani kalkınma felsefesi üzerine kurulmuştur. Kalkınmada adalet, katılımcılık, çevre korunması, istihdam, mekânsal planlama, alt yapı geliştirilmesi, yatırım uygulamalarında kamu-özel sektör ve halk katılımının sağlanması GAP'ın temel stratejileridir (GAP, 2017).

Suriye ve Irak ağırlıklı olarak Fırat'ın suyuna bağımlıdır, ancak Irak alternatif bir su kaynağı olan Dicle Nehri'ni de kullanabilmektedir (Aquastat, 2009). Dicle'nin daha çok suya sahip olduğu ve daha geç tükeneyeceği düşünülürse, önerilen tüm sulama projelerinin tam olarak gelişmesinden büyük ölçüde etkilenebilir ve her iki nehir sistemi giderek birbirine bağlanabilir. Bu gelişmeler Şattül-Arab'ta akışın şiddetli bir şekilde azalmasına ve dolayısıyla nehir sisteminin ve deltanın daha aşağıdaki bölgelerde mevcut durumunun bozulmasına neden olabilir (Berkoff, 1994).

Suriye cephesindeki atılımlardan biri olan Fırat Vadisi Projesi, Baas Partisi iktidara geldiğinde, 1960'lı yılların başlarında başlatmıştır. Böylece 1963 yılında Suriye Hükümeti, ilk beş yıllık kalkınma planında ülkenin artan enerji ve gıda ihtiyaçlarına cevap olarak Fırat nehri üzerinde büyük bir baraj inşa etmeye karar vermiştir. Tabqa (Al-Thawra, Arapça "devrim" anlamına gelir) 1973'te faaliyete geçti.

Hükümet, Fırat Vadisi Projesi kapsamında izlenmesi gereken bir dizi hedef belirlemiştir. Bunlar, 640 000 ha genişliğinde bir alanın sulanması, kentsel kullanım ve endüstriyel kalkınma için gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi ve mevsimsel selleri önlemek için Fırat'ın akışının düzenlenmesidir. 30 yılı aşkın süredir Fırat havzasına dair bu hedefler kısmen gerçekleştirilmiştir (Kibaroğlu ve Maden, 2014). Suriye, Balikh havzasının alt kısmında da büyük bir sulama planı hazırladığından, nehrin aşağı kısımlarındaki etkileri daha da artabilmektedir (Beaumont, 1996).

Üç kıyıdaş ülkenin verimsiz ve etkisiz kalkınma ve yönetim uygulamaları bile suların niceliği ve kalitesi üzerinde önemli bir olumsuz etki oluşturmamaktadır (Kibaroğlu ve Unver, 2000). Irak'ta, Suriye sınırına yakın Dicle'deki mevcut suyun kalitesinin hem Türkiye hem de Irak kaynaklı su da dâhil olmak üzere, iyi olduğu varsayılmaktadır. Su kalitesi, Bağdat gibi kentsel alanlardan gelen büyük kirlilik girdileri ve atık su artımı ile ilgili yetersiz altyapı nedeniyle aşağı akış yönünde bozulmaktadır.

Türkiye ve Suriye'deki sulama projeleri sonucu sulamadan dönen sular nedeniyle Irak'a giren Fırat'ın su kalitesi şu anda Dicle'den daha kötüdür ve sulamanın artmasıyla daha da kötüleşmesi beklenmektedir (Aqustat, 2009). Taşkın suları, Tharthar'daki akarsu santraline yönlendirildiğinde ve daha sonra nehir sistemine geri döndüğü zaman kalite daha da bozulacaktır. Tharthar'daki tuzlar çevrede depolanan su tarafından emilmektedir. Hem Fırat hem de Dicle'deki suyun kalitesi, Irak tarafında sulamadan dönen sular ve kentsel kirlilik yüzünden daha da bozulmaktadır. Akımların İran kaynaklı sulamadan dönen sulardan meydana geldiğinin açıkça bilinmesine rağmen, İran'dan Irak'ın güneyine giren suyun miktarı ve kalitesi, büyük oranda bilinmemektedir (UNDG, 2005).

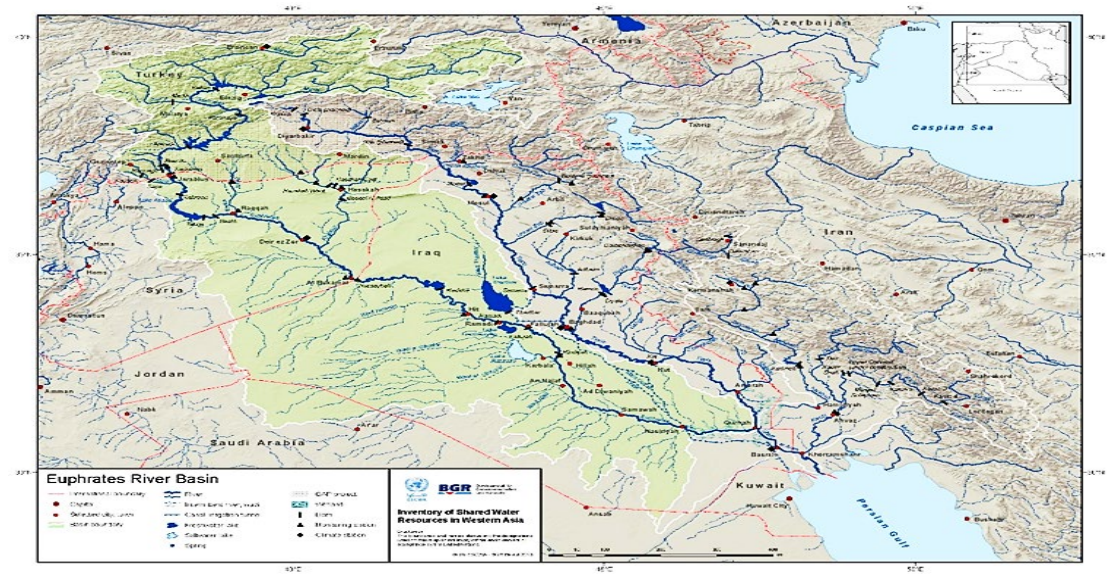
Fırat-Dicle havzası, yakın gelecekte devam eden anlaşmazlıkların potansiyelinin yüksek olduğu "sıcak nokta" olarak sınıflandırılmaktadır. Risk göstergeleri hem biyofizik, sosyo-ekonomik ve çoklu mekânsal ve coğrafi değişkenlere dayanmakta (Yoffe ve ark., 2003) hem de sınır ötesi su kaynaklarına bağımlılık dereceleri, su memnuniyet dereceleri ve jeopolitik bağlamda su kaynakları ile ilgili görüşmelerde yer alan tarafların coğrafi konumlarını içermektedir (Redha, 2009).

Şehirler büyüdükçe ve modernleştikçe, kişi başına su tüketimi de artmaktadır. Projeksiyonlar, başta Fırat olmak üzere, su kaynaklarının büyük ölçüde tükenmekte olduğunu göstermektedir. 1920’lerden 1960’lara kadar olan dönemde, Fırat-Dicle nehri havzasındaki üç kıyıdaş ülke arasındaki hidro-politik ilişkiler nispeten uyumlu olarak sürmekteydi. Bu amaçla, hiçbir ülke Fırat ve Dicle nehirlerinin aşırı tüketilmesine neden olabilecek büyük kalkınma projelerinde görev almamıştır (Dinar, 2003).

3.1.2.1 Fırat Havzası

3.1.2.1.1 Coğrafi Konum ve Genel Özellikleri

Fırat nehri, sulama ve hidroelektrik üretimi bakımından ülkemizin en büyük su debisine sahip nehri durumundadır. Doğu Anadolu’da Erzurum ve Ağrı yörelerindeki dağlardan doğan Murat ve Karasu nehirleri Keban Barajı yakınlarında birleşerek Fırat Nehri adını almaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Fırat Havzası ve akarsuları (UN-ESCWA ve BGR, 2013)

Nehrin Türkiye sınırları içerisinde kalan bölümün uzunluğu 1 263 km, Suriye’deki kısmı 710 km ve Irak’taki kısmı ise 1 060 km (toplamda 3 033 m) olup Karasu ve Murat suyunun birleşmesi ile oluşmaktadır (MFA ve MI, 1999).

Karasu yüksek kesimlerden getirdiği su ile Van Gölü’nün kuzeybatısından geçerek Erzurum’un kuzeydoğusunda yer alan Dumlupınar Dağı’ndan doğar. Erzurum ve Erzincan ovalarından, Munzur’un kuzeyindeki darboğazlardan geçerek Elazığ il sınırları içine girer. Murat Suyu Van Gölü’nün kuzeyindeki Aladağ’ın kuzey eteklerinden doğarak

Karaköse'den geçtikten sonra Elazığ topraklarına girer. İki akarsu, Keban Barajının bulunduğu Keban'da buluşmaktadır.

Keban Barajı'ndan sonra önce güneybatıya sonra güneydoğuya yönelerek bir yay çizen Fırat'a Malatya yakınlarında, üzerinde yapılan ve yapımı 1987 yılında tamamlanan Karakaya Baraj Gölünde yıllık ortalama akımı 2 km^3 olan Tohma Çayı ile birleşir ve yapımına 1983 yılında başlanan ve 1990 yılında biten Atatürk Barajı'na kadar Kahta Çayı, Hacıhıdır, Hacıkamil gibi dereleri de içine alarak dalgalı yaylar arasında geniş bir vadide akar. Nehir Erzincan, Tunceli, Elazığ, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman ve Gaziantep il sınırlarından sonra Urfa'nın Birecik ilçesine ulaşır. Burada 2000 yılında yapımı tamamlanan Birecik Barajından geçip Nizip Çayı ile birleşerek Suriye sınırına yakın aşağı kısımlarından ve en son Karkamış'tan Suriye'ye giriş yapar (Çakırca, 2010). Suriye sınırındaki 680 km'lik yolculuktan sonra nehir kuzeybatı Irak'tan Al Qaim'a doğru akar. Daha sonra Irak topraklarına girmeden önce Qusaybah yakınlarındaki Suriye platolarının güneydoğusundan akan ana kollarından Balık ve Habur'la birleşir ve Irak topraklarına girer (Gündüz, 2011). En son güney Irak'ta Al Qurna'daki Dicle Nehri ile buluşarak Arap-İran Körfezine dökülen Şattül-Arab suyunu oluştururlar. Ancak nehrin Suriye bölümü çok sınırlıdır ve Türkiye ile sadece 32 km uzunluğunda sınır oluşturmaktadır (Kaya, 2009).

3.1.2.1.2 *Topoğrafya*

Fırat Nehri, Türkiye'deki akış alanında genellikle geçirgen olmayan toprak tabakası üzerinde aktığından yeraltına süzülme yok denecek kadar azdır. Ancak Türkiye sınırını geçtikten sonra düz ve geçirgen bir arazide akış hızı yavaşlayarak akışına devam etmektedir. Fırat Havzası'nın, Suriye'ye nazaran daha yüksek ve Suriye'ye doğru meyilli bir topoğrafik yapıya sahip olması sonucu nehir sularının $50.536 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'si yeraltı suyu olarak Suriye topraklarına akmakta, FAO raporunda da bu süzülmenin $35\text{-}50 \text{ m}^3/\text{sn}$ mertebesinde olduğu belirtilmektedir (Dursun, 2006). Yine üst Fırat, 1 125 – 3 487 m aralığında ve hipsometrik ortalama kar yüksekliği 1 983 m olan karla kaplı bir havzaya sahip olduğu için dağlık bir topoğrafyaya sahiptir. Beş farklı yüksekliğe sahip bölgenin bulunduğu havzanın daha ayrıntılı özellikleri Çizelge 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Fırat havzası yükselti kuşakları ve bazı havza özellikleri

Kuşak	Yükselti Aralığı	Alan	Alan (%)	Kuşak Ortalama	Kuşak Ortalama
A	1125–1500	1093.3	10.6	1355	7.5
B	1500–1900	3257.7	31.7	1762	13.7
C	1900–2300	3473.4	33.8	2098	20.0
D	2300–2900	2286.1	22.3	2485	23.2
E	2900–3487	164.6	1.6	2989	26.3
Toplam	1125–3487	10275.1	100.0	1983	19.2

Kaynak: (Sensoy ve ark., 2012)

Suriye’de 675 km uzunluğa ulaşan Fırat nehri, genellikle Paleojen (killi kireçtaşı), Neojen (alçıtaşı, siltli killler, kumtaşı, silttaşı, killler ve çakıllar) ve Kuvaterner (çakıl taşları, çakıllar) ve tortu ile doldurulmuş bir depresyon yapısı içinde akar (Ponikarov, 1967). Başta çakıllar ve alttaki kayalar ile üstteki daha ince alüvyonlu çökellerden (çamurlar ve kumlu kerpeler) oluşan alüvyonlu akifer, havzadaki en önemli su taşıyan sistemdir (Kattan, 2008).

Keban Barajı’ndan Karakaya Barajı’na kadar Üst Cretaceous Elazığ Magmatik kompleksi arasında daha fazla tortu (antik Pb-Zn-Ag) ve bir dizi mineralleşme (Fe ve Cu) ilişkisi vardır. Keban bölgesi, Milat’tan bu yana önemli bir madencilik alanı olmuştur. Arkeolojik araştırmalar, eski madencilerin Keban bölgesini bir polimetallik maden bölgesi olarak altın, bakır, kurşun, gümüş, çinko, manganez ve demir için araştırdığını ortaya koymaktadır (Kalender ve Uçar, 2013).

3.1.2.1.3 İklim Özellikleri

Fırat Nehri’nin denizden yüksekliği 350 m (Cerablus’ta) ve 180 m (Albu-Kamal’da) arasında değişmektedir. Havzanın en alçak kısmı veya "taban vadisi" olarak adlandırılan yer, 200 m’nin altında yer alır ve nehir yolunun eğimi ortalama 0.25 m km⁻¹’dir (JICA, 2001). Türkiye’deki diğer sulara göre daha düzenli bir rejime sahiptir. Mart-Haziran ayları arasında debisi yavaş bir artış gösterir. Temmuz-Ocak ayları arasında en düşük seviyelerine ulaşmış olmasına rağmen yine de bol su akışı mevcuttur. En yüksek yıllık ortalama akışı Nisan, en düşük yıllık ortalama akışı ise Eylül aylarında olmaktadır (Bilgiç, 2006). Suudi Arabistan’daki Fırat uzantısı yaz mevsiminde kuraktır; sürekli nehirler yoktur.

3.1.2.1.4 Su Kaynakları

Fırat havzasının su potansiyeli hakkında, çoğunlukla 30 km³/yıl değerinin biraz altında veya birkaç km³/yıl üstünde değişen değerlere rastlanılmaktadır: 29.0 (Shahin, 1989), 29.5 (Kolars ve Mitchell, 1991), 31.8 (Starr ve Stoll, 1988); 32 (Kutan, 1996), 35.6 (Akmandor ve ark., 1994), 31.5 (Öziş ve ark., 1997) km³/yıl.

Yıllık yaklaşık 30 km³ olan akışı ile (Aquastat, 2009) esasen Türkiye'nin doğusundan doğmaktadır ve Türkiye'nin güneydoğusunu, Suriye'nin daha çok kuzey ve doğusu ve İran/Basra Körfezi'nin üst kısmındaki bir ağzı ile Irak'ın Mezopotamya ovalarını beslemektedir (Kolars ve Mitchell, 1991). Fırat'ın toplam yıllık akışının yaklaşık %90'nı Türkiye'den sağlanır, kalan %10'luk kısmı ise Suriye'den kaynaklanmakta, Irak'ın su hacmine hiçbir katkısı olmamaktadır.

Fırat Nehri'nin rejimi Türkiye'deki diğer akarsulara göre daha düzenlidir. Fırat Nehri'nin akımları, normal akış rejiminde kurak yaz döneminde 100 m³/s'ye kadar düşmekte, taşkın mevsimlerinde ise 7 000 m³/sn'ye kadar çıkmaktadır, fakat barajların yapımından sonra bu miktar büyük ölçüde değişmiştir (Akmandor ve ark., 1994). Ortalama maksimum debisi 4 000 m³/sn, ortalama minimum debisi ise 200 m³/sn'dir (Bilgiç, 2006).

Doğal durumda nehrin yıllık ortalama akımı 996 m³/sn iken, yaz aylarında 156 m³/sn'ye inebilmekte, karların eridiği bazı dönemlerde 5 200 m³/sn üzerine çıkabilmektedir. Fırat Nehri'nin Atatürk Baraj yerindeki yıllık ortalama akımı 26,6 km³ iken bu değer Birecik yakınlarında 30 km³/yıl'a ulaşmaktadır. Karkamış'taki yıllık ortalama doğal akımı 1937-1993 yıllarını kapsayan ölçümlere göre 31,6 km³ olan Fırat Nehri, Suriye sınırları içinde Habur kolunu ve Türkiye'den gelen Sacir Sularını alarak, Suriye ile Irak arasındaki sınırda yıllık 35 km³'lük bir potansiyele ulaşmaktadır (Bilen, 1997). Nehir 31.6 km³ potansiyel ile Türkiye'de akışa geçen 186.05 km³ suyun %17'sini oluşturmaktadır.

Dicle nehrine oranla daha büyük bir yüzey alanındaki suları toplamasına rağmen, suyun geri kalanı çok kurak bir bölgede olduğu için Fırat nehrinin %90'ının akışı Türkiye'nin dağlık alanlarından gelmektedir. Nehir, Ağrı Dağı'ndan Van Gölü yakınlarında 4 500 m yüksekliğinden başlayarak güneydoğuya doğru akıp Suriye'ye geçmektedir. Havzanın Suriye'ye ulaşan topoğrafyası, çoğunlukla nehrin yukarısındaki Al-Esad Gölü'nde olmak üzere, kendi tarafındaki bir dizi küçük tepe dışında genellikle sade ve düzdür (Kattan, 2008).

Suriye sınırları içinde 680 km'lik yolculuktan sonra Fırat, Irak'a El-Kaim'den girer. Irak'ta sınırdan 360 km uzakta olan Fırat, Ramadi'deki yükseltisi deniz seviyesinden sadece 53 metre olan dev bir alüvyon deltasına ulaşmaktadır. Dicle ile birleşene kadar su hacminin %70 ile %80'lik kısmını sulama, buharlaşma ve yer altına süzülme nedeniyle kaybederek Irak'ın terk edilmiş bölgelerini dolaşmaktadır (Kolars ve Mitchell, 1991).

Drenaj havza alanı ile ilgili farklı görüşler vardır. İlki, Fırat Nehri'nin toplam drenaj havzası alanı Türkiye'de 155 400 km², Irak'ta 204 240 km² ve Suriye'de 84 360 km² olmak üzere toplam 444 000 km²'dir (Kıbaroğlu, 1998). İkincisi ise, drenaj havza alanının yüzde 28'i Türkiye'de, yüzde 17'si Suriye'de, yüzde 40'ı Irak'ta ve yüzde 15'i Suudi Arabistan'da olmak üzere dört ülkeye dağıldığıdır (Kolars, 1994).

Temelde yüksek bir plato görünümünde olup, çoğu çanaklaşmış ovalar ve alçak tepelerden oluşmakta ve Basra Körfezi'ne kadar uzanmaktadır. 1937-1973 yılları arasında Türkiye-Suriye sınırları boyunca (büyük barajların yapımı öncesi) Fırat'ın toplam yıllık akışı en az 16.8 km³ (1961) ile en çok 53.5 (1969) arasında değişmekteydi (Kolars, 1994). Irak'ta ise, Hit kentinde kaydedilmiş yıllık ortalama akış 33 milyar km³ idi (Murakami, 1995). 1960'lardan önce Fırat Nehri'nin yıllık ortalama akımı Cerablus istasyonunda yaklaşık 735 m³s⁻¹ civarındaydı. Son 20 yıl boyunca nehir akımı, Suriye ve Irak'taki asgari yıllık akarsu tahliyesini 500 m³s⁻¹ civarında sabitleyen bir antlaşma ile Türkiye tarafından kontrol edilmiştir (Kattan, 2008).

Irak, Fırat boyunca çeşitli yapılar inşa etmiştir. Bunlar, tuzluluk artışının tespiti ve önlenmesi için önem taşıyan Haditha Barajı, Habania Gölü, Al Tharthar saptırma projesi ve Al Hindia Barrage'dir. Tharthar saptırma projesi, Al Tharthar Gölü'nü kullanarak Dicle Nehri'nden Fırat'a kadar su aktarım yapılarını içermektedir (Khayyun ve Halihan, 2010).

Al Hindia Barajı, alt kısımdaki paydaşlar arasındaki nehir suyunun dağılımında büyük bir rol oynamaktadır ve Fırat'ın akımını dört kolu arasında dağıtmaktadır. En büyüğü Fırat'tan güney Irak'a akan ana kanalıdır. İkincisi, Shatt Al-Hillah kolu, Babil'e doğru akmaktadır. Diğer iki kolu, Musiab Projesinde tarım arazilerini sulamak için kullanılan Musiab Kanalı ve Karbala tarım arazisini sulamak için kullanılan Hussianiah Kanalı'dır.

Geçmişte, Fırat'ın sularında çok düşük miktarlarda tuzluluk vardı. Türkiye, Keban ölçüm istasyonunda, toplam çözünmemiş tuzlar (TDS) Scheumann (1993) tarafından

bildirildiğine göre 261 ppm idi. Sulamaya uygun C_2S_1 (orta tuzlu ve düşük sodyum konsantrasyonlu su) olarak sınıflandırılmıştı. Nehrin tuzluluğu son otuz yılda giderek artmıştır. Günümüzde, Fırat Nehri'nin Irak'a girdiği anda sudaki tuzluluk derecesi, toplam çözünmüş katı madde (TDS) olarak ifade edilmekle birlikte, 1973 yılındakinden iki kat fazla olmuştur. Bağdat'ın güneyinde bulunan Al Hindia Barajının alt kısımlarında da benzer şekilde tuzluluk son 30 yılda yavaş yavaş artmaya başlamıştır. Fırat'ın alt kısımlarında bulunan Al Nassiriah'daki yıllık ortalama TDS, 1979'da 1.080 ppm'den 2001'de 4.500 ppm'e yükselmiştir.

Fırat'ın Irak tarafındaki su kalitesi Irak'a giren akışın azalmasına, Al Tharthar Gölü'nden akan nehirlerin akımına ve sulamadan dönen sulara bağlı olarak bozulmuştur. Rezervuar inşaat projeleri nedeniyle Nehrin üst kısımlarının akımı azalmıştır. Al Tharthar Gölü'nden gelen ve sulamadan dönen akımlar, yukarı kesimlerde ortaya çıkan açıkları telafi etmek için Fırat'a yönlendirilmektedir. Irak'ta Fırat Nehri'nin çevresini korumak için Irak'a akması gereken asgari akım miktarı olarak $178 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik (yıllık asgari akış 5.6 km^3 ya da eski asgari akışın üçte biri) çevresel akış oranı önerilmektedir. Bu miktarın iki katı bir akış 760 ppm'lik bir girdi ortalama tuzluluk oranına sahip nehrin alt kısımlarının daha makul yönetimine fırsat vermektedir.

Fırat havzasının üst kısmının önümüzdeki yirmi yılda, bölgeye yaygın sulama getirildiğinde, hızlı bir tarımsal değişimden geçmesi beklenmektedir. Buna karşılık, bu değişikliklerin dikkat edilmesi gereken önemli çevresel etkileri de olacaktır. Fırat havzasının bu bölgesindeki tarımsal değişim ve gelişmeler yeni değildir. Nitekim ilk kültüre alınan tahılların bazıları bu bölgede yetiştirilmiştir ve havzanın eteklerindeki eski köyler ve Harran gibi kasaba yerlerinin bolluğu, binlerce yıldır var olan elverişli bir tarıma tanıklık etmektedir (Beaumont, 1996).

3.1.2.2 Dicle Havzası

3.1.2.2.1 *Coğrafi Konum ve Genel Özellikleri*

Türkiye'nin Fırat Nehri'nden sonraki ikinci büyük nehridir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ortalarında yer alan ve Fırat Havzası ile Dicle Havzasının yağışlı alanlarını ayıran Karacadağ'ın doğusunda yer almaktadır. Dicle Nehri, havzayı Murat Havzasından ayıran Elazığ'ın doğusunda Hazar Gölü yakınlarındaki Karaoğlan dağlarından doğar.

Güneye doğru akan Dicle Nehri, Diyarbakır'ın hemen güneyinde doğuya doğru yönelir. Bu arada Dicle Nehri'nin bu ana koluna kuzeyden Anbarçayı, Pamukçay, Salat Çayı, Batman Çayı, Garzan Çayı; batıdan Devegeçidi Çayı, güneyden ise Dankıran Deresi, Pamukluk Deresi, Göksu Çayı, Kuşî Deresi ve Savur Çayı katılır. Doğudan Botan kolunu aldıktan sonra Botan'la birleştiği noktanın hemen aşağısında Razuk'ta güneydoğu yönünde akarak Cizre'ye ulaşır. Buradan Türkiye ile Suriye arasındaki sınırı 30 km boyunca kat ederek Faysh Habur'dan sınırdaki (çok küçük) Habur sularını da bünyesine alıp Irak'a geçer ve son olarak Fırat ile birleşip Şattül-Arap adını alır.

Şattül-Arab, Fırat ve Dicle'nin akış yolu üzerinde oluşan bir nehirdir ve yalnızca 190 km'lik veya 179 km'lik bir akış yolundan sonra Basra Körfezi'ne dökülmektedir (Yıldız ve Güneş, 2016). Şattül-Arab'ın toplam yıllık ortalama akışı, yılda 81.9 km³ civarındadır ve önemli oranda yıllık varyasyonlar göstermektedir (Kolars, 1994). Burada birleştirilmiş Fırat ve Dicle nehirleri, neredeyse 1 km genişliğe ulaşmaktadır.

Dicle Havzası Türkiye'nin güneydoğusunda bulunup 36°45' - 38°42' enlem ve Ayasofya başlangıcına göre 10°36' -15°45' boylamları arasında bulunmaktadır. Doğuda İran devlet sınırı, kuzeyde Fırat ve Van kapalı havzası, batıda Fırat havzası, güneyde Fırat havzası Suriye-Irak devlet sınırı ile çevrilmiştir. Mestan ve Murtazan dağlarından başlayan Dicle nehri çeşitli kollar alarak Cizre civarında Türkiye topraklarını terk eder. Fırat nehri ile birleşerek Basra körfezine dökülür (Kayaalp, 2003). Türkiye'de doğup sınırlarımız dışında ana yatağa karışan kolla birlikte Dicle'nin toplam yağış alanı 52 780 km²'dir.

Dicle nehrinin uzunluğu Türkiye'de 400 km, Türkiye ile Suriye sınırında 32 km ve Irak'ta 1 418 km ile toplamdaki uzunluğu 1 850 km'dir. Dicle Havzası'nın yüzde 12'si Türkiye'de, yüzde 0.2'si Suriye'de, yüzde 54'ü Irak'ta ve yüzde 34'ü İran'da yer almaktadır (Aquastat, 2009).

3.1.2.2.2 *Topoğrafya*

Havza topoğrafyası genel olarak sorunlu bir durum arz etmekte olup Sason dağları, Karacadağ (1 919 m), Raman dağı (1 228 m), Berhiv dağı (2 593 m), Körtük dağı (1 055 m), Mirismail dağı (2 585 m), Cillo dağları (4 188 m.) ve Altındağ (3 250 m) havzanın önemli dağlarıdır.

Dicle Havzası'nın, Fırat Havzası gibi Suriye'ye doğru meyilli ve Suriye'ye nazaran daha yüksek bir topoğrafyaya ve çok engebeli bir araziye sahip olması, Havza'da tarımsal sulama yapılacak düz alanların çok az olması gibi nedenlerle yerüstü ve yeraltı sularının hemen hemen tamamının Suriye sınırından Irak'a akmasına neden olmaktadır. Dicle Havzası'na ait suların 3.17 m³/sn'si yeraltı suyu olarak Suriye'ye akmaktadır (Dursun, 2006).

Irak'taki Yeraltı suyu akiferleri Dicle ve Fırat'ın geniş alüvyon yataklarından oluşmaktadır ve Mezopotamya-klastik ve karbonat oluşumlarından meydana gelmektedir. Alüvyonlu akiferler, düşük su kalitesi nedeniyle sınırlı bir potansiyele sahiptir. Alüvyonlu akiferler de büyük hacimli rezervuarlar vardır: yıllık yağış miktarı doğrudan yağış ve yüzey suyu akışı ile 620 milyon m³ olarak tahmin edilmektedir (Aquastat, 2009).

3.1.2.2.3 İklim Özellikleri

Havzada genel olarak Güneydoğu Anadolu bölgesinin sert karasal iklimi hâkimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçer. Havzanın kuzeyindeki yüksek dağlar yöre iklimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kış mevsiminde buralarda oluşan yüksek basınç alanı yörede kış aylarının soğuk geçmesine neden olur. Güneydeki çöl ikliminin etkisinde olması ve kuzeydeki serin hava kütlelerinin güneye girememesi sonucu yaz ayları çok sıcak geçer.

Ayrıca son yıllarda bölgede yapımı tamamlanan barajların etkisiyle nem oranı ve sıcaklık değerlerinde artışlar görülmüştür. Havzadaki uzun yıllar boyunca gözlenen en yüksek sıcaklık 1937 yılı Temmuz ayında Diyarbakır'da 46,2 °C olarak en düşük sıcaklık ise 1933 yılı Ocak ayında Diyarbakır'da -24.2 °C olarak ölçülmüştür. Havzada yıllık sıcaklık ortalaması 15-17 °C arasındadır (Diyarbakır: 15.8 °C, Batman: 16.1 °C, Siirt: 15.9 °C). Yıllık ortalama yağış miktarı ise 450 mm ile 750 mm arasında değişmektedir (Diyarbakır: 494,4 mm, Batman: 534 mm, Siirt: 726.5 mm). Karla kaplı gün sayısı 12 ile 17 gün arasında, donlu günlerin sayısı ise 45 ile 62 gün arasında değişmektedir (DMİ, 2003).

3.1.2.2.4 Su Kaynakları

Havzanın yüzeysel su kaynaklarını genellikle akarsulardan oluşturmaktadır. Pınar ve göl olarak önemli bir su kaynağı yoktur. Havzanın başlıca su kaynaklarını Dicle Nehri, Batman Çayı, Garzan Çayı, Deve geçidi Baraj Gölü ve Botan Gölü oluşturmaktadır. Şekil 3.5’de Dicle Havzasındaki akarsular gösterilmiştir.

Dicle Nehri’nin de Fırat Nehri gibi yıllık ve mevsimlik akış miktarları büyük değişimler göstermektedir. Yıllık akım 1973 yılında ortalamanın %59’una düşmüş, 1969 yılında ise ortalamanın %212’sine yükselmiştir (Bilgiç, 2006). Dicle havzasının toplam yıllık su potansiyeli hakkında, çoğunlukla 50 km³/yıl değerinin birkaç km³/yıl altında veya üstünde değişen değerlere rastlanılmaktadır (Aquastat, 2009): 42.2 (Kutan, 1996), 48.7 (Shahin, 1989; Akmandor ve ark., 1994), 52.7 (Bilen, 1997), 47-56 (Özdemir ve ark., 2002).

Dicle Nehri’nin Cizre civarındaki akımı (9 yıllık ortalama) 16.2 km³/yıl’dır (513.69 m³/sn). Nehir Türkiye’deki 57 614 km² yağış alanından 763 m³/s (24.1 km³/yıl) veya 23.1 km³/yıl (Dursun, 2006); Suriye’deki 850 km² yağış alanından 3 m³/s (0,1 km³/yıl); İran’daki 39 400 km² yağış alanından 331 m³/s (10.4 km³/yıl) (Kerkeh ve Karun hariçtir); Irak’taki 146 150 km² yağış alanından 736 m³/s (23.2 km³/yıl) akış geldiği hesaplanarak, toplam 1 833 m³/s (yaklaşık 58 km³/yıl) bir su potansiyeline sahiptir (Özdemir ve ark., 2006). Türkiye, Dicle’nin yıllık su hacminin yüzde 51’ini, Irak 39’unu ve İran ise 10’unu sağlamaktadır.

Sınır dışındaki akışa, Irak ve İran arasındaki Zagros Dağları’ndan kaynaklanan çok sayıda yan kol dâhil olmaktadır. Bu kolların katkısı 31.4 km³ civarındadır (Aquastat, 2009). Dicle, Türkiye’de akışa geçen toplam yüzey sularının %11.5’ini teşkil etmektedir. 387 600 km² alana sahip Dicle Havzasının 58140 (%15) km²’si Türkiye’de, 290 700 (%75) km²’si Irak’ta, 37 984 (%9.8) km²’si İran’da ve 775 (%0.2) km²’si Suriye’de bulunmaktadır (Dursun, 2006). Farklı kaynaklarda ise, Türkiye, Suriye ve Irak’ı kapsayan toplam 473 103 km²’lik Dicle nehir havzasının %58’inin Irak’ta bulunduğu belirtilmiştir (Ali ve ark., 2012).

Kuzeyde Murtazan dağı ve Mestan dağlarını drene eden Kehkik ve Azizyan deresi ile başlayan Dibni suyu, Murat boyunca uzanan yüksek sıradağların güney eteklerini drene eden Halikan deresi, Fatrakum deresini alır. Âmini mevkiinden itibaren Diyarbakır’a

kadar dik ve derin bir vadiden akar. Halvıran civarında Furtaşko deresini alır. Bilahare sağ sahilde Göksu, Şeyhan ve Savur çaylarını alır. Sol sahilde Ambar çayı, Kuruçay, Salat çayı, Batman çayı, Garzan çayı, Botan çayı, Kızılsu ve Nerduş deresini alır. Cizre'den itibaren Türkiye-Suriye sınırını çizen Habur nehrini alır ve Irak topraklarına girer. Batman, Garzan, Botan ve Hezil nehirleri Türkiye'nin en büyük nehir kollarıdır. Havzada 5 542 387 ha tarım arazisi mevcuttur. Bunun 428 858 hektarı sulanabilir, 90 459 hektarı geçici olarak sulanamaz, 34 921 hektarı ise kesinlikle sulanamaz arazidir.

Dicle Nehrinin suları yaz mevsimi sonlarına doğru azalır. Nisan ayında, nehrin yukarısındaki dağlarda karların erimesi ile suları çoğalır, en yüksek seviyesine ulaşır. Mart ayından mayıs ayına kadar üç ay içinde, bütün yıl akıttığı suyun neredeyse yarısını akıtır. Rejimi düzenli değildir. Uzunluğu Fırat'tan daha kısa olmakla beraber suyu daha çoktur. Dicle nehri, akımlarının mevsimsel değişkenliği açısından dünyanın önde gelen akarsularındandır (Tiryaki, 1994).

Olumsuz coğrafi ve iklim koşullarından dolayı, Dicle nehir suyu tarım veya hidroelektrik amaçlı daha az kullanılmaktadır (Kaya, 1998). Dicle nehrini oluşturan yan kolları yukarıdan aşağıya doğru:

- Türkiye'den doğan Büyük Zab. Dicle ile olan birleşmesinde 13.18 km³/yıl üretir; 25 810 km²'lik bu nehir havzasının toplam alanının %62'si Irak'ta;
- İran'dan doğan ve Dokan Barajı (6.8 km³) ile donatılmış olan Lesser Zab. 21 475 km²'lik (bunların %74'ü Irak topraklarında olan) nehir havzası, Dokan Barajı inşaatından sonra 5.07 km³'lük yıllık güvenli verimle yaklaşık 7.17 km³/yıl üretmektedir;
- Irak'ta tamamen 13000 km² tahliye olan Al-Adhaim veya Nahr Al Uzaym. Dicle ile olan birleşmesinde yaklaşık 0.79 km³/yıl üretir. Ani sellere maruz kalmış aralıklı bir akış.
- Diyalâ, İran'dan doğar ve yaklaşık 31 896 km²'yi tahliye eder; bunlardan %75'i Irak topraklarında. Derbendi Barajı ile donatılmıştır ve Dicle ile olan birleşmesinde yaklaşık 5.74 km³/yıl üretir;
- Tib'deki Nahr, Doveyrich ve Shehabi nehirleri, 8 000 km²'den fazla su tahliye eder. İran topraklarından doğarlar ve birlikte Dicle'ye yaklaşık 1 km³/yıl yüksek tuzlu su getirirler;
- Esas olarak İran'dan doğan ve 46 000 km²'lik bir drenaj alanından gelen Karkheh, taşkın sezonu boyunca Irak Hawr Al Hawiza'ya ve kuru sezon boyunca da Dicle Nehri'ne yıllık 6.3 km³ akım getirir.

Dicle Nehri ana kol üzerinde en aşağıda bulunan istasyon Cizre istasyonudur. Cizre’de yıllık ortalama yağış hacminin 1946-1983 dönemi ortalaması itibariyle $16.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ olduğu tahmin edilmiştir. Dicle Nehri’nde akım değişik dönemlerde farklılıklar göstermektedir. 1958-1962 yılları arasındaki kritik dönemde en kurak yıl olan 1961’de yıllık akış hacmi $7.89 \times 10^9 \text{ m}^3$ olup, bu 38 yılın yıllık ortalamasının %47’sine karşılık gelmektedir.

1970-1975 yılları arasındaki ikinci kritik dönemdeki 1973 yılında yıllık akış hacmi yıllık ortalama akışın %58’i oranında ve $9.67 \times 10^9 \text{ m}^3$ olmuştur. En yağışlı yıl olan 1969 yılında yıllık akış hacmi $34.34 \times 10^9 \text{ m}^3$ ’le yıllık ortalamasının %204’ü oranında gerçekleşmiştir. Cizre’deki mevsimlik debi değişimleri de Nisan ve Eylül’de %260 ile %23 arasında değiştiği gözlenmiştir (Kayaalp, 2003).

Dicle’nin iç suları İran, Irak ve Türkiye’ye yayılmıştır (Sultan ve ark., 2003). Her iki nehir de Suriye ve Irak’ta kurak alanlar boyunca uzanarak güneydoğu yolunu izlerler. Dicle, Güney Irak’ta Quarna yakınlarında yaklaşık 52.7 km^3 ’lük bir su potansiyeline ulaşmaktadır. Esasen İran topraklarından doğan Karun Nehri’nin ortalama yıllık akışı 24.7 km^3 ’tür ve denize ulaşmadan önce Şattül-Arap’a dökülüp bol miktarda tatlı su getirmektedir (Aquistat, 2009).

Dicle Nehrinin akım miktarı ile ilgili değişik değerler mevcuttur. Birincisi, Dicle akımının yaklaşık yüzde 40’ını Türkiye’den, %50’sini Irak’tan ve %10’unu da İran’dan almaktadır. Suriye kaynaklı bir katkı olmamaktadır (Berkoff, 1994). İkincisinde, Dicle’nin Mezopotamya’daki ortalama $58 \text{ km}^3/\text{yıl}$ su potansiyeli içinde Türkiye’den $24 \text{ km}^3/\text{yıl}$, Suriye’den çok az bir katkı, İran’dan $10 \text{ km}^3/\text{yıl}$ (yağış alanının hemen tamamı İran’da olan ve Amara yakınında Irak’a geçen Karkeh ile tümüyle İran’da akan ve deltanın ucunda Körfeze dökülen Karun ırmağı dahil edilmemiştir), Irak’tan $23 \text{ km}^3/\text{yıl}$ akış gelmektedir.

En düşük debisi $91 \text{ m}^3/\text{sn}$, en yüksek debisi $6450 \text{ m}^3/\text{sn}$ olan Dicle’nin ortalama debisi $629 \text{ m}^3/\text{sn}$ ’dir. Başka bir çalışmada ise, Dicle Nehrinin Türkiye’deki ortalama akımı yaklaşık $20\text{-}23 \text{ km}^3/\text{yıl}$ iken Irak’taki nehir kollarının akımı $25\text{-}29 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ’dır (Al-Ansari ve ark., 2013).

Batman Çayı Muş ilinin güney batısındaki Kulp ve Sason ilçeleri civarındaki kolların beslenir. Bu kollar Lice ilçesinin doğusunda sırasıyla Sarım Çayı, Kulp ilçesinin

yakınlarından geçen Kulp Çayı, Taleri Çayı ve Sason ilçesinin içinden geçen Sason Çayı'dır. Bu Çaylar güneye doğru akarak Diyarbakır-Siirt yolu üzerinde ve Silvan'a 20 km uzaklıktaki Malabadi köprüsünün yaklaşık 7 km kadar yukarısında Batman Çayı'nı oluştururlar. Batman Çayı güneye doğru akarak Dicle Nehri'ne katılır. Batman Çayı'na ait su toplama havzasının yağış alanı 4150.2 km² olup, Batman Malabadi köprüsü istasyonundaki yıllık ortalama akımı 3816.61x10⁶ m³'tür.

Garzan Çayı, Bitlis ilinin Mutki ilçesinin batısındaki ufak kollar ve Keyburan suyu ile beslenerek Kozluk ilçesinin yaklaşık 1 km yakınından geçerek güneybatıya doğru akar. Diyarbakır-Kurtalan demiryolu üzerindeki Beşiri ilçesine 1.5 km uzaklıktaki Beşiri istasyonundan güneydoğuya doğru kıvrılarak Dicle Nehri'ne katılır. Bu çaya ait Beşiri istasyonundaki yağış alanı 2450.4 km² olup, yıllık ortalama akımı 1649.66x10⁶ m³'tür.

Botan çayının kolları, Dicle havzasının kuzeydoğusunda Van ili sınırları içinde yer alan Çatak deresi, bunun batısında Mukus Çayı, Bitlis ili karasu ilçesinin yakınından geçen Ankis deresi sularıdır. Botan Çayı'nın kuzeybatısında Kezir Çayı ve Bitlis Çayı, Siirt-Eruh yolunun 20. km'sindeki Billoris ölçüm istasyonundan hemen sonra Botan Çayı'nın suyu ile birleşerek güneye doğru akar ve Dicle Nehri'ne katılır. Ayrıca Botan Çayı üzerinde 2 km² yüzey alanına sahip Botan Gölü bulunmaktadır. Botan Çayı'nın yağış alanı 7 989 km² olup, Billoris istasyonunda su toplama havzasına ait yıllık ortalama akım 4482.57x10⁶ m³ tür.

Devegeçidi Baraj Gölü, 32 km²'lik yüzey alanına sahip olup, en derin yeri 27 m'dir. Diyarbakır'a yaklaşık 20 km uzaklıktaki Boğaz Çayı, Gevrik Çayı ve Devegeçidi çaylarının sularını toplayan Devegeçidi baraj gölü 1 607 km²'lik yağış alanına sahiptir. Sulama amaçlı barajın aktif depolama hacmi 195x 10⁶ m³, sulama alanı 7 500 ha'dır.

Ayrıca havza sınırları içerisinde Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesinde 1987 yılında işletmeye açılan ve kurulu gücü 1 800 MW olan enerji amaçlı Karakaya Barajı, Dicle ilçesinde 1998 yılında işletmeye açılan ve kurulu gücü 94 MW olan yine enerji amaçlı Kralkızı Barajı ve Çınar ilçesinde bulunan 1996 yılında işletmeye açılan 3 582 ha'lık sulama alanına sahip olan sulama amaçlı Göksu Barajı bulunmaktadır.

Dicle'nin tahmini 58 km³/yıl mertebesindeki su potansiyeli ile de bölgedeki yerleşim ve sanayinin su ihtiyacının ötesinde, Türkiye'de 650 000 ha, Irak'ta 3 500 000 ha (bir bölümü Fırat boyunca olmak üzere) tarımsal arazi sulanabilecektir. İlke olarak, su

potansiyelinin sınırlı oluşu dikkate alınarak, sulama işlerinin etkili yönetimi, özellikle su tasarruf eden modern yöntemlere ağırlık verilmesi gerekmektedir (Özdemir ve ark., 2006).

3.1.3 Gözlem istasyonları ve verilerin elde edilmesi

Yapay sinir ağları (YSA) çalışmalarının birçoğunda günlük akış verileri (Alp ve Cigizoglu, 2007) ve günlük yağış verileri (Tayfur ve Guldal, 2006) yardımıyla günlük askıdaki sediment tahmini yapılmıştır. Aylık verilerin tahmin amacıyla kullanılması sınırlı sayıdadır. Aylık verilerin de güvenli bir şekilde kullanılabileceğinin ortaya konulması amacıyla tez çalışmasında YSA tahmininde aylık ortalama akım, sediment ve meteorolojik veriler kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan aylık akım ve sediment verileri, havzada bulunan ve DSİ tarafından işletilen 20 Sediment Gözlem İstasyonu (SGİ)'den elde edilmiştir. Sediment ölçümleri ile birlikte ölçülen akım değerleri akım verileri olarak kullanılmıştır. Bunlara ek olarak çalışmada kullanılmak amacıyla sahayı temsil edecek şekilde MGM tarafından işletilen hem havza içinde hem de havza dışında bulunan 24 Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) aylık verisi kullanılmıştır.

Mevcut veriler seçilirken, kullanılan kara-kutu modellerinin istediği akım, sediment ve meteorolojik sistemi en iyi yansıtabilecek verilerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Verilerdeki tekdüzeliğin bozulmaması ve tez amacına uygun olarak eksik veriler tamamlanmadan ve herhangi bir ekleme veya çıkarma yapılmadan kullanılmıştır. Kullanılacak verilerin hepsinin aynı uzunlukta ve aynı zaman aralığında olması gerekmektedir. Bu amaçla tahminde kullanılacak her bir veri setinde boşluk olan satırlar excel yardımıyla çıkartılmıştır.

Veriler öncelikle normallik testlerine tabi tutulmuştur. Ancak hidrolojik sistemlerin birçoğunda olduğu gibi verilerin normallik şartlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu şekilde YSA yapısına uygun olarak herbir girdiye karşılık bir çıktı denk gelecek şekilde veriler excel ortamında yeniden düzenlenmiş ve boş olan veri sıraları silinmiştir. Eldeki tüm meteorolojik veriler kullanılmış ve benzer şekilde elemeye tabi tutulmuştur.

Akım tahminlerinde Fırat ve Dicle nehir kolları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Herbir nehir kolu için en üst kısımdan en alt sınıra doğru ve veri sayısı fazla olan istasyonlar alınmıştır. Bazı istasyonların veri sayısı diğerlerine oranla çok az olduğu için analize eklenmemiştir.

Kullanılan akım, sediment ve meteoroloji verilerinin bulunduğu istasyonlar Şekil 3.6'daki harita üzerinde gösterilmiştir.



3.1.3.1 Akım ve sediment verilerinin elde edilmesi

DSİ tarafından yapılan akım ölçümlerinde limnigraflar kullanılmaktadır (Şekil 3.7). Bu amaçla kesit değerleri ve muline ile hız ölçümleri yapıp, akım anahtar eğrisine geçilmekte, limnigraf ölçümleri bu şekilde kalibre edilmektedir. Çalışmada kullanılacak akım ve sediment verileri DSİ Etüt, Planlama ve Tahsisler Şubesi'nden tedarik edilmiştir. Çalışmada 20 SGI ve aynı anda ölçülen 20 AGİ verisi kullanılmıştır. Seçilen akım istasyonlarına ait genel bilgiler Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Limnigraf ölçüm istasyonları

Çizelge 3.6. Seçilen AGİ ve SĞİ'lere ait genel bilgiler

No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Su Adı	İlçe Adı	İl Adı	Uzun Yıllık Ort. Sediment Miktarı	Uzun Yıllık Ort. Sediment Verimi (Ton/Yıl/Km	Sediment Miktarı (m3/yıl)	Sediment Verimi (m3/yıl/km 2)	Akım Yağış Alanı (km2)	Sediment Yağış Alanı (km2)	Rakım (m)	Havza No	Enlem	Boylam
1	E26A006	Cizre	Dicle Nehri	Cizre	Şırnak	17266400	485	13067623	367	38280.7	35609.2	370	26	42.1026	37.2107
2	E21A002	Palu	Murat Nehri			12068794	496	9057384	372	25515.6	24329.6	852	21	39.5552	38.4118
3	E21A015	Malpınar	Göksu Nehri		Adıyaman	1641893	443	1216693	328	3998.8	3704.5	390	21	38.0932	37.2922
4	E21A019	Kemah Boğazı	Fırat Nehri	Kemah	Erzincan	1421592	157	1078952	119	10356	9061.5	1123	21	39.2337	39.4102
5	E21A022	Tutak	Murat Nehri	Tutak	Ağrı	3170385	545	2359126	405	5882.4	5820.4	1552	21	42.4649	39.3219
6	E21A045	Hisarcık	Tohma Suyu	Darende	Malatya	179090	31	131870	23	5780.8	5780.8	933	21	37.4108	38.2834
7	E21A051	Demirkapı (Sansa	Fırat Nehri	Merkez	Erzincan	373124	66	277160	49	8185.6	5650.6	1355	21	40.1005	39.3445
8	E21A056	Bağıtaş	Fırat	Merkez	Erzincan	4116488	314	3035320	232	15562	13103.3	865	21	38.2704	39.2605

Çizelge 3.6 (Devamı) Seçilen AGİ ve SGI'lere ait genel bilgiler

No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Su Adı	İlçe Adı	İl Adı	Uzun Yıllık Ort. Sediment	Uzun Yıllık Ort. Sediment Verimi (Ton/Yıl/Km	Sediment Miktarı (m3/yıl)	Sediment Verimi (m3/yıl/km 2)	Akım Yağış Alanı (km2)	Sediment Yağış Alanı (km2)	Rakım (m)	Havza No	Enlem	Boylam
9	E21A064	Çayağzı	Göynük Cayı	Merkez	Bingöl	550971	284	416581	215	2232	1937.1	990	21	40.3317	38.4831
10	E21A074	Akkonak	Murat Nehri			2966822	187	2211979	140	17435.1	15829.1	1285	21	41.3111	39.0229
11	E21A076	Mutu Boğazı	Tacik Deresi	Merkez	Erzincan	7776	82	5764	61	94.4	94.4	1225	21	39.5215	39.3529
12	E21A077	Adivar	Hınıs Cayı	Malazgirt	Muş	476819	159	347412	116	2995.3	2995.3	1452	26	42.1006	39.1310
13	E21A095	Gümüşönar	Karasu Cayı	Araban	Gaziantep	3039	3	2480	2	1073	1073	408	21	37.5409	37.2600
14	E26A005	Diyarbakır	Dicle Nehri	Silvan	Diyarbakır	2670954	638	2136787	510	5655.2	4189.1	570	26	40.1347	37.5248
15	E26A010	Baykan	Bitlis Cayı	Baykan	Siirt	148327	233	112303	176	636.5	636.5	698	26	41.4657	38.0941
16	E26A021	Musahan	Zap Suvu	Başkale	Van	168171	67	128572	51	2504.4	2504.4	1725	26	44.0455	37.4530
17	E26A026	Billoris	Botan Cayı	Eruh	Siirt	4434377	506	3337148	381	8761.2	8761.2	457	26	41.5140	37.4912

Çizelge 3.6 (Devamı) Seçilen AGİ ve SGI'lere ait genel bilgiler

No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Su Adı	İlçe Adı	İl Adı	Uzun Yıllık Ort. Sediment	Uzun Yıllık Ort. Sediment Verimi	Sediment Miktarı (m3/yıl)	Sediment Verimi (m3/yıl/km	Akım Yağış Alanı	Sediment Yağış Alanı	Rakım (m)	Havza No	Enlem	Boylam
18	E26A027	Narlı	Zap Suyu	Çukurca	Hakkari	1361652	201	982595	145	6771.9	6771.9	775	26	43.3428	37.1641
19	E26A030	Teknisyenler	Zap Suyu	Merkez	Hakkari	691645	166	517008	124	4172	4172	1412	26	43.5711	37.4146
20	E26A034	Kozluk	Garzan Çayı	Kozluk	Batman	436802	310	333477	237	1407.6	1407.7	630	26	41.3116	38.1117

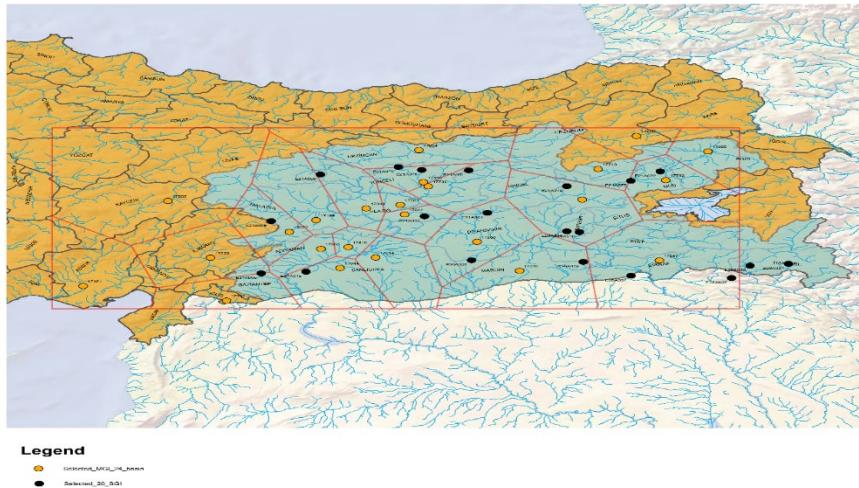
3.1.3.2 Meteorolojik Verilerinin Elde Edilmesi

Havzaya ait meteorolojik veriler, MGM'nden tedarik edilmiştir. Fırat-Dicle Havzasını iyi bir şekilde temsil edebilecek şekilde havzada bulunan tüm 24 istasyona ait aylık meteorolojik veriler seçilmiştir.

Tahmin için seçilen meteorolojik veri setleri;

- Toplam yağış (mm),
- Minimum sıcaklık (°C),
- Maksimum sıcaklık (°C),
- Nisbi nem (%),
- Rüzgar hızı (m/s)

Ayrıca, havzada bulunan yağış istasyonlarının hangilerinin havzayı temsil yeteneğinin olduğunu ve bu temsilin ne oranda bulunduğunu belirlemek için Thiessen çokgenleri yöntemi uygulanmıştır. ArcGIS yazılımı ile uygulanan bu yöntem sayesinde hangi MGİ'nin hangi gözlem istasyonlarını yaklaşık olarak kapsadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. MGİ'nin kapsadığı AGİ ve SGİ harita üzerinde Şekil 3.8'de, tüm istasyonların bulunduğu tablo ise Çizelge 3.7'de verilmiştir. Buradaki temel amaç, MGİ'ye yakın AGİ ve SGİ'leri belirlemektir. Sadece MGİ istasyonlarına ait genel bilgiler ise Çizelge 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Thiessen çokgeni ile belirlenmiş MGİ'lerin kapsadığı AGİ ve SGİ istasyonları

Çizelge 3.7. Thiessen çokgen analizi sonucu MGİ istasyonlarının kapsadığı AGİ ve SGİ istasyonları

		Thiessen üçgenine dahil MGİ	
Sıra_No	İstasyon No	No	Adı
1	E21A002	17201	Elazığ Bölge
2	E21A015	17265	Adıyaman
3	E21A019	17094	Erzincan
4	E21A022	17099	Ağrı
5	E21A045	17199	Malatya
6	E21A051	17165	Tunceli
7	E21A056	17843	Baskil
8	E21A064	17280	Diyarbakır Havaalanı
9	E21A074	17204	Muş
10	E21A076	17165	Tunceli
11	E21A077	17740	Hınıs
12	E21A095	17255	Kahramanmaraş
13	E26A005	17275	Mardin
14	D26A006	17287	Şırnak
15	E26A010	17204	Muş
16	E26A021	17287	Şırnak
17	E26A026	17287	Şırnak
18	E26A027	17287	Şırnak
19	E26A030	17287	Şırnak
20	E26A034	17204	Muş

Çizelge 3.8. Seçilen MGİ'lere ait genel bilgiler

Sıra No	İstasyon Adı	İstasyon No	İli	İlçesi	Gözlem Grubu	Gözlem Türü	Enlem (Doğu)	Boylam (Kuzey)	Rakım (m)
1	Hınıs	17740	Erzurum	Hınıs	151	OMGİ	41.6957	39.3688	1715
2	Baskil	17843	Elazığ	Baskil	151	OMGİ	38.8352	38.5725	1300
3	Erzincan	17094	Erzincan	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	39.4868	39.7523	1216
4	Ağrı	17099	Ağrı	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	43.0522	39.7253	1646
5	Tunceli	17165	Tunceli	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	39.5408	39.1058	981
6	Malatya	17199	Malatya	Merkez	151	OMGİ - Günlük Klima	38.2173	38.3367	950
7	Elazığ Bölge	17201	Elazığ	Merkez	151	OMGİ - Günlük Klima	39.2561	38.6443	989
8	Muş	17204	Muş	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	41.5023	38.7509	1322
9	Kahramanmaraş	17255	Kahramanmaraş	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	36.915	37.576	572
10	Adıyaman	17265	Adıyaman	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	38.2775	37.7553	672
11	Mardin	17275	Mardin	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Günlük Klima	40.7284	37.3103	1040
12	Diyarbakır	17280	Diyarbakır	Bağlar	H-OMGİ	OMGİ - Sinoptik - Gunluk Klima -	40.2027	37.8973	674
13	Şırnak	17287	Şırnak	Merkez	151	OMGİ - Sinoptik - Gunluk Klima	42.4523	37.5209	1350

3.2 Yöntem

3.2.1 Eksik verilerin tamamlanması

Su kaynaklarının planlanması ve yönetimine yönelik çalışmalarda, düzenli ve eksiksiz akım verileri gibi hidrolojik verilere ihtiyaç vardır. Fakat pek çok arazi çalışmasında farklı kurum/kuruluşlardan temin edilen akım gözlem değerlerinde, geçmiş tarihlere ait verilerde çeşitli nedenlerle eksik veriler olmaktadır. Literatür incelendiğinde genel olarak hidrolojik veri setlerinde akış verilerinde %5-10 civarında, hatta bazı durumlarda %25'e varan oranlarda eksik veriler ile karşılaşmaktadır (Panu ve ark., 2001). Özellikle ülkemizdeki hidrolojik verilerdeki eksiklikler hidrolojik modelleme çalışmalarında ve su kaynaklarının yönetimine yönelik çalışmalarda önemli engeller oluşturmaktadır.

Bu verilerin tamamlanması için enterpolasyon, regresyon analizi, zaman serisi analizi, yapay sinir ağları ve hidrolojik modeller gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır (Keskin ve Taylan, 2009). Bunların yanı sıra bir havzadaki mevcut ölçüm istasyonu verileri kullanılarak, havzadaki akarsuyun başka bir noktasındaki debi değerlerinin tahmin edilmesi için alan oranı metodu yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İstatistiksel olarak da eksik verilerin tamamlanması için çeşitli istatistiksel analiz programlarının eksik veri analiz modülleri son yıllarda etkin bir şekilde kullanılmaya başlamıştır (Şahin, 2012).

Bu çalışmada, kullanılan yazılım kendi içerisinde en uygun normalizasyonu uyguladığı için eksik verileri tamamlama yoluna gidilmemiştir.

3.2.2 Veri istatistikleri ve istatistiksel hesaplamalar

Regresyon analizi çoğunlukla, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla kullanılır. Değişkenlerin normal dağılımlara sahip olduğunu varsayar. Normalde dağınık olmayan değişkenler (oldukça çarpık veya basık değişkenler veya önemli ölçüde uç değerlere sahip değişkenler) ilişkileri ve anlamlılık testlerini bozabilir.

Bu normallik varsayımını test etmek için birkaç yöntem vardır. Bunlar veri alanları, çarpıklık, basıklık, P-P ile Q-Q grafikleri ve Kolmogorov-Smirnov testleridir. Uç değerler ise görsel histogramlar, frekans dağılımları veya verilerin z-skorlarına dönüştürülmesi ile tanımlanabilirler.

Normallik testi amacıyla başvuru olan Shapiro-Wilk veya Kolmogorov-Smirnov test istatistiklerinde temel kural;

- örneklem sayısı < 30 ise Kolmogorov-Smirnov,
- örneklem sayısı > 30 ise Shapiro-Wilk testi sonuçlarına bakılmaktadır.

Normallik testinin amacı, sonuçta hangi yöntemin kullanılacağına daha doğru bir şekilde belirlenebilmesidir. Eğer veriler normal ise parametrik testler, normal değilse non-parametrik testlerin yapılması gerekmektedir (Eymen, 2007). Non-parametrik testler güvenilirlik açısından yeterli koşulları sağlamadığından, öncelikli olarak parametrik testlerin kullanılması önerilmektedir.

Parametrik testlerde bu kadar ısrar edilmesinin asıl nedeni; hesaplamalarda veri setinin tümünü kullanmaları ve bu nedenle parametrik olmayan testlere göre daha üstün olmalarıdır (Eymen, 2007).

Hidrolojide genellikle korelasyon katsayısı R 'nin 0.60'tan büyük olması şartı da aranmaktadır. Aksi takdirde göz önüne alınan değişkenler arasındaki bağıntının yeter derecede kuvvetli olmadığı söylenebilir (Bayazıt, 1999).

Ağ modellemeye önce verilerin istatistiksel analizi, değişkenler arasındaki değişimleri ve verilerin davranışını bilmek önemlidir. Bu tür istatistiksel analiz, daha verimli bir model elde etmeyi kolaylaştırabilir. Ayrıca, değişkenlerin oto-korelasyon ve çapraz korelasyon analizi YSA modelinde girdi değişkenlerini seçmek için yararlıdır (Mustafa ve ark., 2012). Verilerin ayrıntılı bir ön istatistiksel analizi, YSA giriş katmanının yapısının doğru bir şekilde belirlenebilmesine büyük oranda yardımcı olabilmektedir (Cigizoglu, 2005). Öncelikle eldeki verilerin istatistiksel özellikleri belirlenmiştir. Bazı önemli tanımlayıcı istatistikler ile normal dağılım analizleri yapılmıştır. Böylece YSA analizinde kullanılan verilerin güvenilirliği ve kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2.3 Modellerin denenmesi

Öncelikle uygun giriş yöntemleri veya doğruluğu kanıtlanmış modeller ile denemeler yapılmıştır. Bu amaçla Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RBANN), İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları (FFBP) ve Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP) ile farklı denemeler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen değerler Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) modeli yardımıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada Fırat ve Dicle nehirleri ile yan kollarında bulunan ve DSİ tarafından işletilen AGİ'lerden ölçülen

aylık akım ve sediment değerleri kullanılmıştır. Akım ve sediment değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Gerekli meteorolojik veriler ise havza içerisinde ve yakın çevresinde bulunan DMI'ye ait meteoroloji istasyonlarından sağlanmıştır.

Elde edilen akım, sediment ve iklim verileri çalışmanın amacına uygun olacak şekilde excel yazılımında düzenlenmiştir. Akım ve meteorolojik değerler ile sediment değerleri tahmin edileceği için akım girdisine karşılık gelecek şekilde sedimentler düzenlenmiş, boş olan değer yılları veya ayları silinmiştir. Amaç, her girdiye karşılık bir çıktı değerinin olmasıdır. Ancak bu sayede YSA'da tahminler yapılabilmektedir.

3.2.3.1 Yapay sinir ağı (YSA) modelleri

Farklı YSA eğitim türleri vardır ve bunlardan en önemlileri Levenberg–Marquardt Fonksiyonu (LM) ile Eşlenik Gradyan Azaltma (CG)'dir. Daha fazla bellek gerektirmesine rağmen, çok hızlı olduğu için LM geri yayılım algoritması yaygın olarak kullanılmaktadır (Adeloye ve Munari, 2006). Ayrıca örüntü tanımda, LM algoritmasının fonksiyon uydurması doğrusal olmayan regresyonlara göre daha iyidir. Kısaca kullanılan algoritma gizli katmanında (sabit veri ve yeterli nöron sayısı ile) sigmoid, çıktı katmanında ise doğrusal bir fonksiyon olan iki katmanlı bir ileri beslemeli ağıdır.

LM algoritması, klasik Newton algoritmasının Hessian'ın tersinin bir yaklaşımını kullanan modifikasyonu olan yarı-Newton yöntemi ile ilgilidir (Fletcher, 1987). Hızlı ve etkin bir algoritma olarak, LM algoritması bu nedenle birçok araştırmacı tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gradyan tabanlı tekniklerle karşılaştırıldığında, bu algoritmalar yerel en düşük değerleri aşabilir ve daha kararlı çözümler elde edebilirler, ancak daha fazla hesaplama süresine ihtiyaç duymaktadırlar.

Yağış ve nehir akışı tahmini hidrolojik döngünün en zor unsurlarından biridir. Bunun nedeni hem alan hem de zaman bakımından çok çeşitli ölçekte gösterdiği sürekli değişkenlikten kaynaklanmaktadır (Wang ve Wu, 2012). Bundan dolayı mümkün olduğunca veri seti ve olasılık ile işlem yapılmaya çalışılmıştır.

Önceden ölçülmüş akım gözlemleri ve meteorolojik veriler ile akım ve sedimentler tahmin edileceği için, kullanılacak YSA modelleri danişmalı eğitim sınıfına girmektedir. İlk olarak eğitim seti ile ağırlar eğitilmiş, daha sonra doğrulama yardımıyla eğitimdeki aşırı uymadan kaçınılmaya çalışılmıştır. Burada aşırı uymadan kastedilen ağırların verileri ezberlemesidir. Eğer ağırlar verileri ezberlemeye başlarsa mevcut durumda kullanılan eğitim

ve test sonuçları çok iyi olabilir. Ancak sisteme dahil edilmeyen veya sonradan ölçüm yapılmış veriler ile ağ tekrar eğitildiğinde bu değerler önceki değerlerden çok farklı ve küçük çıkabilmektedir. Böylece eğitim, aşırı uyma göstermeden önce sonlandırılmıştır. En son olarak, bu eğitim ve doğrulamaya dâhil edilmeyen test seti ile ağın gerçek başarısı belirlenmeye çalışılmıştır.

Tahminlerde, farklı giriş katmanlarına karşılık tek çıkış değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Deneme verileri %70 eğitim, %15 test ve %15 doğrulama olmak üzere üç sete ayrılmıştır. Eldeki veriler tek tek veya meteoroloji verileri de dahil edilerek en iyi akım ve meteoroloji giriş küme kombinasyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla tüm akım ve sediment değerleri üzerinde her üç YSA modeli için de (MLP, FFBP ve RBAN) farklı girişler denenmiştir. Sonuçta en iyi performansı gösteren giriş kümesi seçilmiş ve diğer tüm çalışmalar bu giriş kümeleri ölçüt alınarak denenmiştir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. En uygun giriş kümesinin belirlenmesi için yapılan denemeler

Akım ve Sediment İstasyonları	Giriş Sayısı	Olasılıklar
E21A002 E21A015 E21A019	1	E21A056
E21A022 E21A045 E21A051	2	E21A056 + yagis
E21A056 E21A064 E21A074	3	E21A056 + yagis + nem
E21A076 E21A077 E21A095	4	E21A056 + yagis + nem + ruzgar
E26A005 E26A006 E26A010	5	E21A056 + yagis + nem + ruzgar + min
E26A021 E26A026 E26A027 E26A030 E26A034	6	E21A056 + yagis + nem + ruzgar + min + max

Akım tahminleri için; eldeki aylık meteorolojik veriler ve aylık sediment ölçümleri ile aynı anda ölçülmüş bulunan aylık akım değerleri kullanılmıştır. Fırat ve Dicle nehir kolları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Herbir nehir kolu en üst noktadan başlayarak, sınırdan çıkışa kadar olan bölgede yığılmalı olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bir sonraki akımın tahmininde kendinden önceki istasyonların akım değerlerinin tümü kullanılmıştır. Bu amaçla Fırat için 5 akım tahmini ve Dicle için 3 akım tahmini gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak YSA yapıları temelde en çok kullanılan RBANN, FFBP, MLP olarak belirlenmiştir.

Benzer şekilde hangi eğitim algoritma girişinin daha iyi ve başarılı olduğunun doğru bir şekilde belirlenmesi için farklı kombinasyonlarda girişler denenmeye çalışılmıştır. Tüm YSA yapılarında gizli katmanın her bir transfer fonksiyonu ve öğrenme kuralı için farklı çıktı katmanı değerleri denenerek, giriş ve çıkış için en iyi değere sahip kombinasyon belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 3.10). Bu amaçla 8x2x8x2 yani toplam 256 deneme yapılmıştır. Daha sonra tüm denemeler için SPSS ile anova (analysis of variance) ve manova (Multivariate analysis of variance) testi uygulanmıştır. Böylece birden fazla bağımlı değişken üzerinde varyans analizi yapılarak en iyi fonksiyon ve öğrenme kuralı ikilisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı veya kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3.10. En uygun YSA yapısı için kullanılan farklı deneme kombinasyonları

Gizli katman transfer	Gizli katman öğrenme kuralı	Çıkış katmanı transfer	Çıkış katmanı
TanhAxon	ConjugateGradient	TanhAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
SigmoidAxon	ConjugateGradient	SigmoidAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
LinearTanhAxon	ConjugateGradient	LinearTanhAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
LinearSigmoidAxon	ConjugateGradient	LinearSigmoidAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
SoftMaxAxon	ConjugateGradient	SoftMaxAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
BiasAxon	ConjugateGradient	BiasAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
LinearAxon	ConjugateGradient	LinearAxon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard
Axon	ConjugateGradient	Axon	ConjugateGradient
	LevenbergMarquard		LevenbergMarquard

3.2.3.2 Çoklu doğrusal regresyon (MLR) Modeli

Çoklu doğrusal regresyon modeli, hidrolojik modellemede YSA modelleri ile birlikte kullanılan geleneksel istatistiksel yöntemlerden birisidir. Basit doğrusal regresyonun bir uzantısıdır ve modele dahil edilen iki veya daha fazla değişken değerini içermektedir. Doğrusal fonksiyon en küçük kareler algoritması kullanılarak belirlenir ve değişkenlerle ilişkili ağırlıklar çıktıyı maksimize eden değerlerdir. Bu yöntem, gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki mesafelerin karelerinin toplamını en aza indiren en uygun modelini seçer.

Yöntemin genel amacı, bağımlı değişken ve birkaç bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi araştırmaktır. Bu sayede aynı anda birden fazla bağımsız değişkenin etkisi incelenebilmektedir. Model değişkenleri Eşitlik 29’da açıklanmıştır (Yan ve Gang-Su, 2009).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (23)$$

Y = Bağımlı değişken

$x_1, x_2, \dots, x_k$ = k bağımsız değişkenleri

β = Regresyon katsayısı

ε = Hata değeri

Burada hata terimlerinin, varyans σ^2 ile normal bir dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır.

Hata formülü ise;

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (24)$$

Çoklu regresyon modelinde bir bağımlı ve bağımlı değişkeni etkileyen birden fazla değişken yer almaktadır. Bu bağlamda MLR analizinde kullanılan verilerin düzenlenmesi Microsoft Excel, eğitim ise SPSS yazılımında yapılmıştır. SPSS ortamına aktarılan aylık akım ve sediment ile aylık meteorolojik veriler (yağış, minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, nisbi nem ve rüzgâr hızı) kullanılmıştır.

Tüm gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra öncelikle verilerde homojenlik ve normallik testleri yapılmıştır. Dağılımların uygunluğunu test etmek için yaygın olarak kullanılan Shapiro-Wilk testi tercih edilmiştir (Tilahun, 2006). Daha sonra MLR için doğrusal analiz kısmı seçilmiştir. Burada bağımlı değişken sediment sabit olmak koşuluyla, sırasıyla akım ile her bir meteorolojik ölçüm değeri bağımsız değişkenler olarak atanmıştır.

3.2.4 Coğrafi bilgi sistemleri ortamında hidrolojik veri analizi

Kullanılacak olan akım ve sediment verileri (bkz. Çizelge 3.6) ile meteorolojik veriler (bkz. Çizelge 3.8) kullanılmıştır. Altlık haritalar FAO, FAO-Aquastat, FA-Geonetwork, USGS-Earthexplorer, USGS-Glovis adreslerinden; DEM (Digital elevation model) ise CGIAR-srtm adresinden 90 m çözünürlük ile temin edilmiştir. Analiz için ARCGIS for Desktop yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım yardımıyla, Fırat-Dicle havzasına ait sayısal yükseklik haritaları (DEM), uzun yıllar ortalama sediment ve akım miktarı ile uzun yıllar yağış ortalama haritaları oluşturulmuştur.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmadaki temel amaç akım ve sediment tahminlerinde kullanılan yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri ile çoklu doğrusal regresyon (MLR) yönteminin kıyaslanarak en doğru sonucu veren modelin belirlenmesidir.

Bu amaçla öncelikle aylık akım ve meteorolojik ölçüm değerleri ile aylık akım tahminleri yapılmıştır. Akım tahmininde etki miktarının belirlenmesi için Fırat ve Dicle nehir kolları ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Toplamda Fırat nehri için 6 ölçüm değeri ile 5, Dicle nehri için 4 ölçüm değeri ile 3 akım tahmininde bulunulmuştur.

Daha sonra akım ve yine meteorolojik ölçümler ile sediment tahminleri yapılmıştır. Sediment tahminlerinde akım tahminlerinden farklı olarak herbir istasyon kendi içerisinde tahmin edilmiştir. Toplamda 20 sediment istasyonuna karşılık 20 ayrı tahminde bulunulmuştur.

Elde edilen tüm sonuçlar MLR sonuçları ile karşılaştırılmış ve en iyi model belirlenmeye çalışılmıştır. MLR yönteminde YSA ile elde edilen eğitim (%70), test (%15) ve doğrulama (%15) verileri değiştirilmeden ve ayrı ayrı olacak şekilde analize tabi tutulmuştur.

Araştırmada verilerin güvenilir ve eksiksiz olması amacıyla öncelikle kullanılacak girdi ve çıktılar aynı uzunlukta ve aynı zaman aralığında olacak şekilde düzenlenmiştir. Seçilen aylık meteorolojik veri setleri toplam yağış (mm), minimum sıcaklık (°C), maksimum sıcaklık (°C), nisbi nem (%) ve rüzgâr hızı (m/s)'dir. Akım, sediment ve meteorolojik veriler aylık ortalama değerleri içermektedir.

Veri setlerine ait bazı önemli tanımlayıcı istatistikler, normal dağılım analizleri ile anova (analysis of variance) ve manova (Multivariate analysis of variance) testleri Excel ve SPSS yazılımları yardımıyla yapılmıştır. Böylece YSA analizinde kullanılmaya uygun veriler önceden tespit edilmiştir. MLR denemesi SPSS yazılımında yapılmıştır. Mevcut verilerin normal dağılıma uygunluğunu test etmek için yaygın olarak kullanılan Shapiro-Wilk testi tercih edilmiştir. Amaç, MLR yapılarak sediment ile diğer iki değer arasında ilişkilerin olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmasıdır.

4.1 Veri İstatistikleri ve İstatistiksel Hesaplamalar

4.1.1 Akım verileri

Anlık akım verisi üzerinde normallik koşulunun sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi için SPSS ile normallik testleri yapılmıştır. Sediment ölçümleri esnasında ölçülen akım değerlerine ait normallik testi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Elimizdeki veri seti 30 örneklem sayısından çok büyük olduğu için Shapiro-Wilk testine uygun olduğuna karar verilmiştir (Eymen, 2007). Çizelgedeki probability (P) değerleri 0.05 (%5) önem düzeyinden küçük olduğundan verilerin hiçbiri normal dağılım göstermemiştir.

Çizelge 4.1. Sediment ile ölçülen akım değerlerine ait olasılık (P) değerleri

Sıra No	Akım (Q) (m ³ /sn)	Normallik Testi					
		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		KSistatistik	df	P	SWistatistik	df	P
1	E21A002	0,260	75	0,000	0,749	75	0,000
2	E21A015	0,214	75	0,000	0,809	75	0,000
3	E21A019	0,254	75	0,000	0,748	75	0,000
4	E21A074	0,274	75	0,000	0,637	75	0,000
5	E21A034	0,280	75	0,000	0,682	75	0,000
6	E26A010	0,325	72	0,000	0,456	72	0,000
7	E26A005	0,323	72	0,000	0,481	72	0,000
8	E21A064	0,340	72	0,000	0,486	72	0,000
9	E21A056	0,247	72	0,000	0,692	72	0,000
10	E21A051	0,211	54	0,000	0,801	54	0,000
11	E21A045	0,180	54	0,000	0,851	54	0,000
12	E26A021	0,255	54	0,000	0,612	54	0,000
13	E21A077	0,278	54	0,000	0,690	54	0,000
14	E21A022	0,285	54	0,000	0,635	54	0,000
15	E26A027	0,250	52	0,000	0,757	52	0,000
16	E26A027	0,250	52	0,000	0,757	52	0,000
17	E26A026	0,265	52	0,000	0,735	52	0,000
18	E26A006	0,271	52	0,000	0,587	52	0,000
19	E21A095	0,311	71	0,000	0,498	71	0,000
20	E21A076	0,246	71	0,000	0,704	71	0,000

P: KS_{istatistik} ve SW_{istatistik} sonuçlarının ilgili tablolardaki olasılık

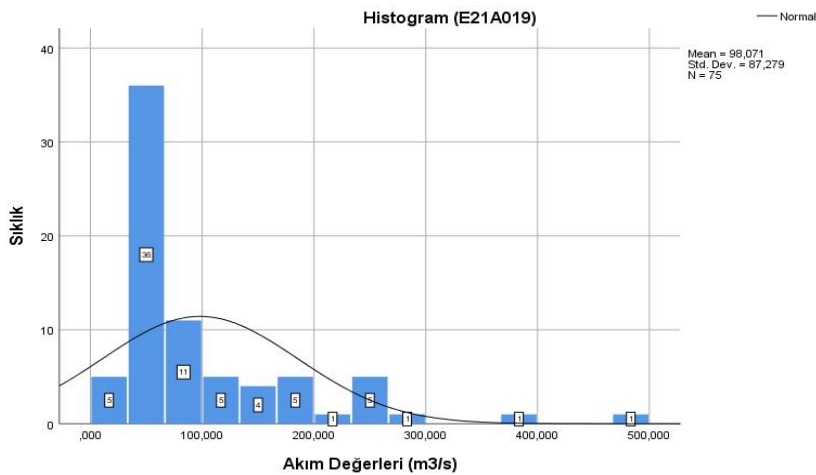
df : Serbestlik derecesi

Sediment ile aynı anda ölçülen anlık akım değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Standart testler ile birlikte çarpıklık ve basıklık değerlerine de bakılmaktadır.

Çarpıklık ve basıklık istatistiklerinin kendi standart hatalarına bölümleri ile elde edilen normallik katsayıları yine -2 ile +2 arasında ise veriler normal olarak kabul edilmektedir (George ve Mallery, 2010). Tüm bu istatistiksel testler sonucu özellikle akım ve sediment verilerinin büyük çoğunluğunu normal dağılım göstermediği belirlenmiştir. Sadece 4 istasyonda normal dağılım göstermiştir.

Bunlara ek olarak veri setlerindeki değişkenliğin daha net gözlenmesi amacıyla en yüksek veri sayısına sahip E21A019 nolu istasyon için anlık akım verilerine ait histogram grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Grafik üzerindeki değerler, verilerin gözükme sıklığını göstermektedir. Diğer istasyonlarda benzer grafikler görüldüğü için sadece en yüksek veriye sahip istasyon kullanılmıştır. Verilerin normal dağılım göstermesi için histogram grafiğinin gauss (çan eğrisi) eğrisine benzer şekilde olması gerekmektedir. Ancak grafiklerden de görüldüğü gibi verilerin çoğunluğu eğrinin sol tarafında bulunmaktadır, yani sağa çarpık olarak gözükmektedir.

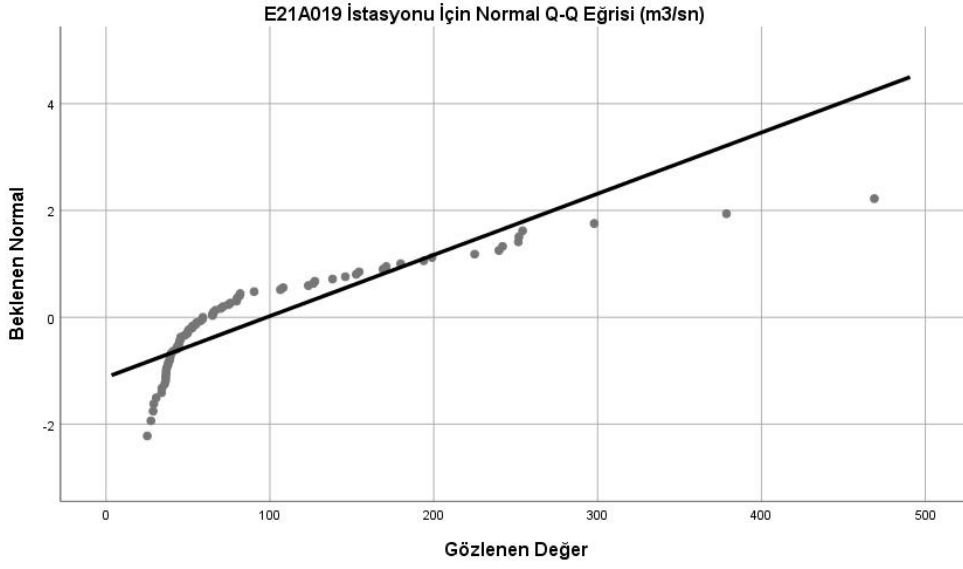
Aynı istasyona ait diğer bir önemli gösterge olan E21A019 nolu istasyona ait Q-Q eğri grafiği ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Histograma benzer şekilde sadece bir istasyon için grafik gösterimi yapılmıştır. Bu grafikte ise normal dağılım şartının sağlanması için verilerin doğrunun etrafında veya üzerinde yer alması gerekmektedir. Eğriden uzakta, çoğunluğu ya eğrinin üstünde veya altında yer almıştır.



Şekil 4.1. E21A019 nolu istasyona ait akım histogramı

Çizelge 4.2. Akım değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Sıra No	İstasyon No	Veri Değer	Minimum	Maximum	Ortalamanın			Varyans	Çarpıklık			Basıklık		
					İstatistiği	Standart	Standart		İstatistiği	Standart	Normallik	İstatistiği	Standart	Normallik
1	E21A002	448	14,331	2289,288	250,237	15,676	348,059	121145,190	2,582	0,110	23,473	7,689	0,220	34,950
2	E21A015	354	1,864	454,536	50,936	2,662	52,768	2784,446	3,087	0,123	25,098	14,480	0,246	58,862
3	E21A019	486	13,357	523,877	88,719	4,087	92,105	8483,412	2,149	0,108	19,898	4,484	0,216	20,759
4	E21A022	61	4,621	399,847	54,438	8,614	73,598	5416,721	2,412	0,281	8,584	6,880	0,555	12,396
5	E21A045	237	6,378	116,409	18,529	0,697	11,199	125,406	4,199	0,152	27,625	27,166	0,302	89,954
6	E21A051	60	12,742	296,387	66,681	7,778	62,711	3932,727	1,727	0,297	5,815	2,464	0,586	4,205
7	E21A056	169	56,411	584,533	152,688	6,753	101,750	10352,994	1,787	0,162	11,031	2,776	0,322	8,621
8	E21A064	234	0,545	303,309	31,603	2,860	49,286	2429,085	2,466	0,141	17,489	6,518	0,282	23,113
9	E21A074	234	5,784	1741,600	178,595	16,904	269,934	72864,398	2,854	0,153	18,654	9,108	0,304	29,961
10	E21A076	306	0,215	10,349	1,528	0,089	1,622	2,632	2,352	0,133	17,684	6,121	0,265	23,098
11	E21A077	60	1,749	136,130	26,570	3,420	32,440	1052,386	1,804	0,254	7,102	2,320	0,503	4,612
12	E21A095	55	0,782	13,945	1,989	0,277	2,369	5,614	3,475	0,281	12,367	12,991	0,555	23,407
13	E26A005	260	1,806	2466,120	79,381	10,246	189,756	36007,350	7,880	0,132	59,697	83,066	0,263	315,840
14	E26A006	157	34,100	5397,345	516,220	34,734	630,976	398130,98	3,443	0,134	25,694	17,522	0,268	65,381
15	E26A010	274	1,796	312,389	20,386	1,911	32,821	1077,187	4,52	0,142	31,831	29,119	0,283	102,894
16	E26A021	168	1,723	78,932	10,538	0,677	11,058	122,289	2,801	0,149	18,799	9,505	0,297	32,003
17	E26A026	108	30,920	1729,670	166,440	12,004	198,708	39484,741	3,281	0,147	22,320	16,919	0,293	57,744
18	E26A027	62	16,023	420,492	96,505	9,370	104,342	10887,193	1,648	0,217	7,594	1,857	0,431	4,309
19	E26A030	131	4,042	358,214	36,290	2,975	50,747	2575,265	3,076	0,143	21,510	12,268	0,285	43,046
20	E26A034	90	2,144	322,680	37,154	5,862	58,623	3436,660	2,658	0,241	11,029	8,124	0,478	16,996



Şekil 4.2. E21A019 nolu akım istasyonuna ait Q-Q grafiği

4.1.2 Sediment verileri

Sediment verilerine ait normallik testi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgedeki probability (P) değerleri 0.05 (%5) önem düzeyinden küçük olduğundan verilerin normal dağılım göstermediğine karar verilmiştir. Sediment değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler ise Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çarpıklık, basıklık ve çarpıklık ile basıklık istatistiklerinin kendi standart hatalarına bölümleri ile elde edilen normallik katsayılarına bakıldığında benzer şekilde değerlerin normal dağılım göstermediği görülmektedir.

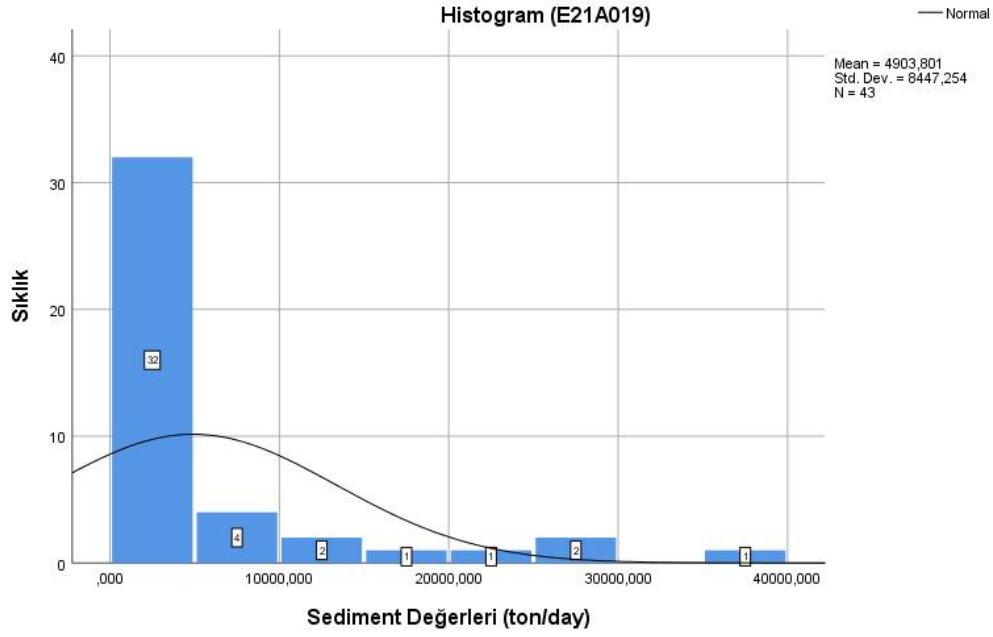
Çizelge 4.3. Sediment değerlerine ait normallik testi olasılık (P) değerleri

Sıra No	Normallik Testi						
	Sediment (ton/day)	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		KS _{istatistik}	df	P	SW _{istatistik}	df	P
1	E21A002	0,327	75	0,000	0,510	75	0,000
2	E21A015	0,396	75	0,000	0,255	75	0,000
3	E21A019	0,299	75	0,000	0,578	75	0,000
4	E21A074	0,372	75	0,000	0,353	75	0,000
5	E21A034	0,365	75	0,000	0,471	75	0,000
6	E26A010	0,439	72	0,000	0,135	72	0,000
7	E26A005	0,418	72	0,000	0,203	72	0,000
8	E21A064	0,441	72	0,000	0,241	72	0,000
9	E21A056	0,312	72	0,000	0,583	72	0,000
10	E21A051	0,299	54	0,000	0,564	54	0,000
11	E21A045	0,345	54	0,000	0,407	54	0,000
12	E26A021	0,419	54	0,000	0,207	54	0,000
13	E21A077	0,369	54	0,000	0,363	54	0,000
14	E21A022	0,387	54	0,000	0,309	54	0,000
15	E26A030	0,375	54	0,000	0,361	54	0,000
16	E26A027	0,358	52	0,000	0,502	52	0,000
17	E26A026	0,365	52	0,000	0,368	52	0,000
18	E26A006	0,394	52	0,000	0,342	52	0,000
19	E21A095	0,407	71	0,000	0,277	71	0,000
20	E21A076	0,386	71	0,000	0,297	71	0,000

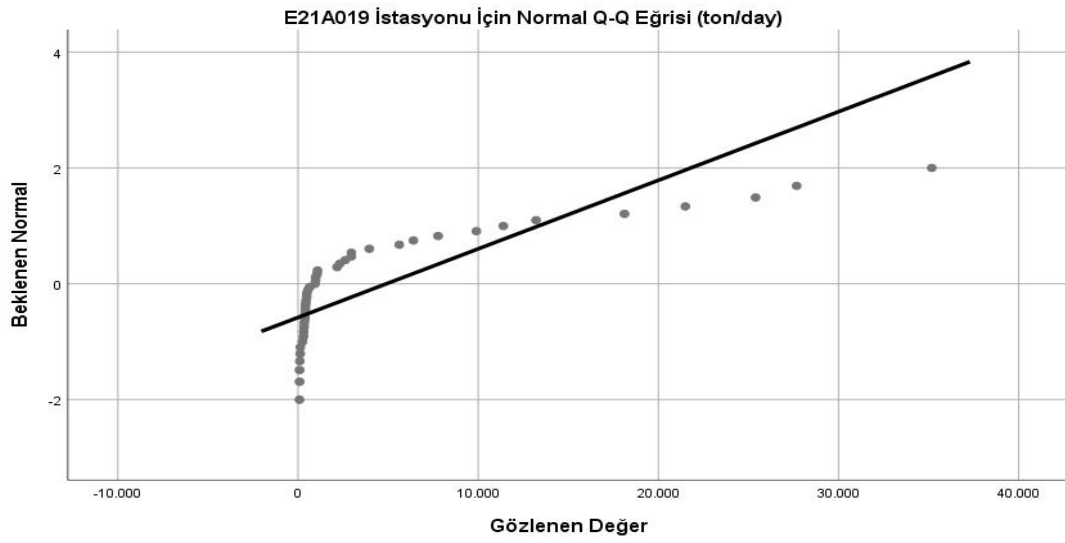
P : KS_{istatistik} ve SW_{istatistik} sonuçlarının ilgili tablolardaki olasılık değerleri

df : Serbestlik derecesi

Akım histogramlarına benzer şekilde yine en yüksek veri setine sahip E21A019 nolu istasyon sediment değerlerine ait histogram grafiği Şekil 4.3’de, Q-Q grafiği ise Şekil 4.4’de verilmiştir. Aynı şekilde bu grafikler de incelenirse verilerin normal dağılım göstermediği görülmektedir. Özellikle Q-Q grafiğine bakıldığında verilerin doğru etrafında değil de altında veya üzerinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Sediment değerlerine ait histogram grafiği



Şekil 4.4. Sediment değerlerine ait Q-Q grafiği

Çizelge 4.4. Sediment değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Sıra No	Tanımlayıcı İstatistikler	Örnek Sayısı	Minimum İstatistiği	Maximum İstatistiği	Ortalamanın		Standart Sapma İstatistiği	Varyans İstatistiği	Çarpıklık			Basıklık		
					İstatistiği	Standart Hatası			İstatistiği	Standart Hatası	Normallik katsayısı	İstatistiği	Standart Hatası	Normallik katsayısı
1	E21A002	448	38.99	1121616.6	40332.36	5057.73	112299.72	1.261E+10	5.07	0.11	46.11	32.32	0.22	146.89
2	E21A015	354	9.86	181219.9	6059.46	1042.61	20668.89	427202892	5.84	0.12	47.5	38.54	0.25	156.68
3	E21A019	486	35.38	134390.96	5773.15	739.09	16658.28	277498311	4.71	0.11	43.58	24.78	0.22	114.71
4	E21A022	61	25.4	289630.6	11134.18	4360.59	37256.91	1.388E+09	6.26	0.28	22.28	44.71	0.56	80.56
5	E21A045	237	32.4	26215.3	848.88	181.89	2921.54	8535393.3	6.84	0.15	45.03	51.36	0.3	170.07
6	E21A051	60	24	16005.5	1317.28	323.9	2611.34	6819110	3.61	0.3	12.15	15.95	0.59	27.21
7	E21A056	169	125.9	177606.8	12233.94	1535.11	23128.7	534936659	3.48	0.16	21.49	16.17	0.32	50.23
8	E21A064	234	2.9	99416.1	2935.15	619.43	10675.09	113957526	6.04	0.14	42.84	41.38	0.28	146.74
9	E21A074	234	5.38	340494.05	19339.61	3511.04	56066.73	3.143E+09	3.98	0.15	26.01	16.39	0.3	53.92
10	E21A076	306	0.1	1352.9	34.39	6.59	120.88	14611.44	6.87	0.13	51.66	57.94	0.27	218.65
11	E21A077	60	17.7	43074.8	2038.87	651.4	6179.72	38188910	5.25	0.25	20.67	30.36	0.5	60.35
12	E21A095	55	1.2	308.6	14.45	4.62	39.46	1557.3	6.36	0.28	22.63	44.79	0.56	80.7
13	E26A005	260	3.6	836643.71	12954.02	3147.32	58289.12	3.398E+09	9.98	0.13	75.64	124.78	0.26	474.44
14	E26A006	157	90.6	4692562.9	84315.4	18795.99	341446.1	1.166E+11	9.13	0.13	68.12	106.92	0.27	398.94
15	E26A010	274	2	241799.9	1967.04	870.6	14953.08	223594461	14.48	0.14	101.95	227.96	0.28	805.49
16	E26A021	168	5.9	70281.1	793.17	275.03	4494	20196012	14.17	0.15	95.11	217.23	0.3	731.41
17	E26A026	108	6.5	1694429.1	26611.07	7978.25	132063.54	1.744E+10	9.93	0.15	67.57	110.83	0.29	378.27
18	E26A027	62	15.6	75021.3	5053.13	1103.32	12286.07	150947467	3.9	0.22	17.95	17.01	0.43	39.46
19	E26A030	131	14.9	57664	2779.48	472.59	8061.75	64991849	4.55	0.14	31.82	22.33	0.29	78.33
20	E26A034	90	1.94	41523.4	2025.92	574.82	5748.18	33041589	4.51	0.24	18.73	24.83	0.48	51.94

4.1.3 Meteorolojik veriler

İlk olarak MGM kurumundan elde edilen MGİ sayısı 24 adettir. Ancak daha önceden yapılan Thiessen çokgenleri yöntemi (bkz Şekil 3.8 ve Çizelge 3.7) ile sediment istasyonları ile yakından ilişkili olduğu tespit edilen istasyon sayısı 13 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle diğer 11 istasyon değerlendirmeye tabi tutulmamıştır. Değerlendirilen bu istasyonlar için 5 farklı ölçüm parametresine (yağış, nem, rüzgâr hızı, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık) bakılmıştır. Değerlendirilen 13 istasyon ve 5 ölçüm değerine ait normallik test sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Akım ve sediment verilerinden farklı olarak meteorolojik verilerin birçoğunda P değerleri 0.05 (%5) değerinden küçük oldukları için normallik koşulu sağlanmıştır. Çizelgede normal dağılıma uymayan veriler ise kırmızı renkli olarak işaretlenmiştir. Özellikle Shapiro-Wilk testine kıyasla Kolmogorov-Smirnov testinde daha fazla normal olmayan veriye rastlanmıştır.

Çizelge 4.5. MGİ verilerine ait normallik testi probability (P) değerleri

	Normallik Testi					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	KSistatistik	df	P	SWistatistik	df	P
yağış HINIS	0,098	129	0,004	0,960	129	0,001
yağış BASKIL	0,082	129	0,033	0,916	129	0,000
yağış ERZINCAN	0,082	129	0,032	0,941	129	0,000
yağış AGRI	0,124	129	0,000	0,855	129	0,000
yağış TUNCELI	0,074	129	0,082	0,973	129	0,012
yağış MALATYA	0,089	129	0,014	0,944	129	0,000
yağış ELAZIG	0,121	129	0,000	0,946	129	0,000
yağış MUS	0,065	129	0,200	0,958	129	0,001
yağış KAHRAMANMARAS	0,107	129	0,001	0,914	129	0,000
yağış ADIYAMAN	0,113	129	0,000	0,900	129	0,000
yağış MARDIN	0,121	129	0,000	0,907	129	0,000
yağış DIYARBAKIR	0,068	129	0,200	0,962	129	0,001
yağış SIRNAK	0,105	129	0,001	0,929	129	0,000
NEM HINIS	0,103	129	0,002	0,961	129	0,001

Çizelge 4.5. (Devamı) MGİ verilerine ait normallik testi probability (P) değerleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	KS _{istatistik}	df	P	SW _{istatistik}	df	P
NEM BASKIL	0,078	129	0,052	0,975	129	0,019
NEM ERZINCAN	0,112	129	0,000	0,965	129	0,002
NEM AGRI	0,052	129	0,200	0,991	129	0,577
NEM TUNCELI	0,070	129	0,200	0,979	129	0,047
NEM MALATYA	0,079	129	0,047	0,981	129	0,064
NEM ELAZIG	0,075	129	0,071	0,969	129	0,005
NEM MUS	0,120	129	0,000	0,939	129	0,000
NEM KAHRAMANMARAS	0,038	129	0,200	0,989	129	0,393
NEM ADIYAMAN	0,040	129	0,200	0,984	129	0,147
NEM MARDIN	0,051	129	0,200	0,995	129	0,913
NEM DIYARBAKIR	0,089	129	0,014	0,951	129	0,000
NEM SIRNAK	0,060	129	0,200	0,972	129	0,010
rüzgar hızı HINIS	0,080	129	0,043	0,981	129	0,067
rüzgar hızı BASKIL	0,127	129	0,000	0,940	129	0,000
rüzgar hızı ERZINCAN	0,126	129	0,000	0,968	129	0,003
rüzgar hızı AGRI	0,115	129	0,000	0,956	129	0,000
rüzgar hızı TUNCELI	0,114	129	0,000	0,946	129	0,000
rüzgar hızı MALATYA	0,095	129	0,007	0,963	129	0,001
rüzgar hızı ELAZIG	0,060	129	0,200	0,985	129	0,160
rüzgar hızı MUS	0,120	129	0,000	0,967	129	0,003
rüzgar hızı KAHRAMANMARAS	0,160	129	0,000	0,932	129	0,000
rüzgar hızı ADIYAMAN	0,124	129	0,000	0,946	129	0,000
rüzgar hızı MARDIN	0,092	129	0,010	0,968	129	0,004
rüzgar hızı DIYARBAKIR	0,073	129	0,089	0,976	129	0,024
rüzgar hızı SIRNAK	0,117	129	0,000	0,956	129	0,000
min sıcaklık HINIS	0,104	129	0,002	0,952	129	0,000
min sıcaklık BASKIL	0,081	129	0,039	0,978	129	0,034
min sıcaklık ERZINCAN	0,058	129	0,200	0,986	129	0,194
min sıcaklık AGRI	0,123	129	0,000	0,940	129	0,000
min sıcaklık TUNCELI	0,084	129	0,028	0,984	129	0,134
min sıcaklık MALATYA	0,068	129	0,200	0,987	129	0,267
min sıcaklık ELAZIG	0,066	129	0,200	0,982	129	0,086

Çizelge 4.5. (Devamı) MGİ verilerine ait normallik testi probability (P) değerleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	KS _{istatistik}	df	P	SW _{istatistik}	df	P
min-temp_MUS	0,123	129	0,000	0,940	129	0,000
min-temp_KAHRAMANMARAS	0,091	129	0,011	0,969	129	0,005
min-temp_ADIYAMAN	0,091	129	0,011	0,969	129	0,004
min-temp_MARDIN	0,088	129	0,015	0,977	129	0,029
min-temp_DIYARBAKIR	0,063	129	0,200	0,987	129	0,279
min-temp_SIRNAK	0,066	129	0,200	0,980	129	0,053
max_sıcaklık_HINIS	0,122	129	0,000	0,940	129	0,000
max_sıcaklık_BASKIL	0,106	129	0,001	0,952	129	0,000
max_sıcaklık_ERZINCAN	0,106	129	0,001	0,958	129	0,001
max_sıcaklık_AGRI	0,138	129	0,000	0,939	129	0,000
max_sıcaklık_TUNCELI	0,096	129	0,005	0,959	129	0,001
max_sıcaklık_MALATYA	0,107	129	0,001	0,958	129	0,000
max_sıcaklık_ELAZIG	0,098	129	0,004	0,957	129	0,000
max_sıcaklık_MUS	0,111	129	0,001	0,951	129	0,000
max_sıcaklık_KAHRAMANMARAS	0,090	129	0,012	0,966	129	0,003
max_sıcaklık_ADIYAMAN	0,079	129	0,048	0,967	129	0,003
max_sıcaklık_MARDIN	0,079	129	0,049	0,962	129	0,001
max_sıcaklık_DIYARBAKIR	0,097	129	0,005	0,964	129	0,002
max_sıcaklık_SIRNAK	0,097	129	0,005	0,956	129	0,000

P : KS_{istatistik} ve SW_{istatistik} sonuçlarının ilgili tablolardaki olasılık değerleri

df : Serbestlik derecesi

Bunlara ek olarak, seçilen 13 istasyon için meteorolojik verilere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.6’da verilmiştir. Çarpıklık ve basıklık istatistiği değerlerine bakıldığında tamamının -2 ile +2 arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca en yüksek veri sayısına sahip E21A019 için meteorolojik ölçütlere ait frekans histogramları Şekil 4.5’de, Q-Q grafikleri ise Şekil 4.6’da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm meteorolojik verilerin çoğunlukla normala daha yakın dağılım gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.6. Kullanılan 13 MGİ verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

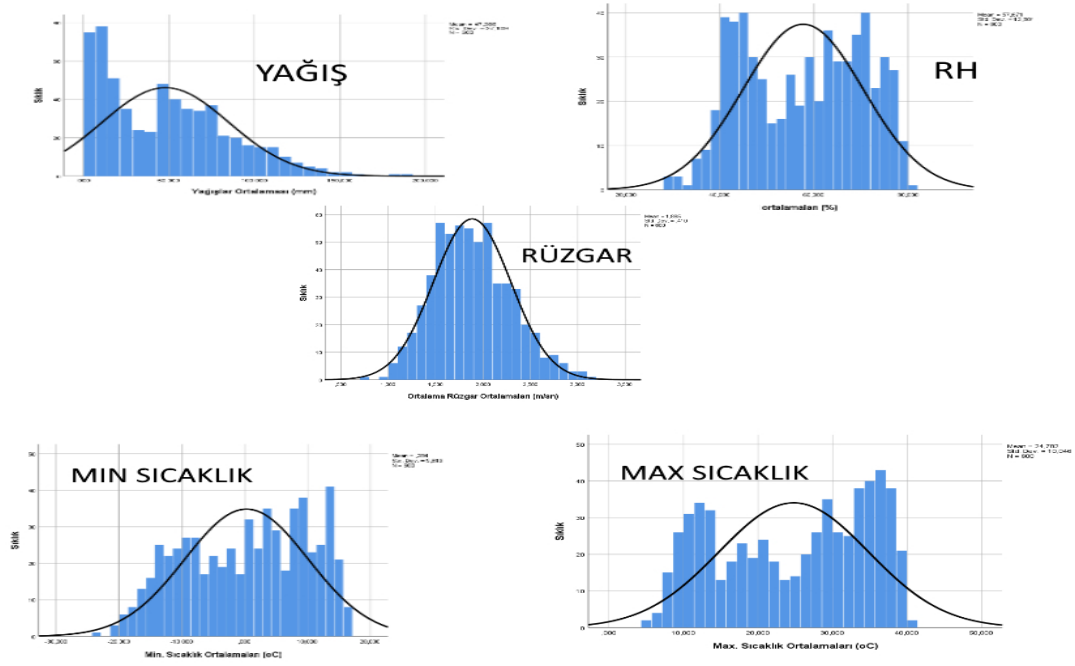
	Değer Aralık	Minimum İstatistik	Maximum İstatistik	Ortalama		Std. Sapma İstatistik	Varyans İstatistik	Çarpıklık		Basıklık	
				İstatistik	Std.			İstatistik	Std.	İstatistik	Std.
toplam yağış HINIS	191,00	0,00	191,00	50,63	1,63	38,48	1480,44	0,79	0,10	0,25	0,207
toplam yağış BASKIL	208,10	0,00	208,10	39,58	1,82	32,54	1059,02	1,37	0,14	3,34	0,272
toplam yağış ERZINCAN	130,90	0,00	130,90	32,10	1,00	24,36	593,59	0,92	0,10	0,62	0,201
toplam yağış AGRI	254,50	0,00	254,50	44,05	1,36	32,96	1086,41	1,29	0,10	3,24	0,202
toplam yağış TUNCELI	540,20	0,00	540,20	76,25	2,97	70,54	4975,48	1,48	0,10	4,21	0,206
toplam yağış MALATYA	157,70	0,00	157,70	34,39	1,22	28,78	828,53	1,04	0,10	1,32	0,207
toplam yağış ELAZIG	166,80	0,00	166,80	36,88	1,29	30,30	918,33	0,85	0,10	0,36	0,208
toplam yağış MUS	255,30	0,00	255,30	67,33	2,29	54,41	2960,16	0,73	0,10	-0,10	0,205
toplam yağış KAHRAMANMARAS	325,00	0,00	325,00	69,87	2,88	65,89	4341,57	1,15	0,11	1,05	0,213
toplam yağış ADIYAMAN	367,10	0,00	367,10	65,58	2,90	67,51	4558,14	1,37	0,10	2,12	0,209
toplam yağış MARDIN	337,80	0,00	337,80	67,66	3,00	66,27	4391,54	1,26	0,11	1,51	0,221
toplam yağış DIYARBAKIR	210,30	0,00	210,30	45,95	1,96	42,11	1773,42	0,88	0,11	0,26	0,226
toplam yağış SIRNAK	276,60	0,00	276,60	66,73	3,42	58,13	3378,52	1,02	0,14	0,83	0,286
NEM HINIS	61,10	28,80	89,90	65,17	0,56	13,66	186,51	-0,26	0,10	-1,01	0,201
NEM BASKIL	67,50	18,30	85,80	54,00	0,80	15,47	239,21	-0,12	0,13	-0,90	0,251
NEM ERZINCAN	53,10	30,70	83,80	61,27	0,46	11,20	125,45	-0,24	0,10	-0,86	0,200
NEM AGRI	56,60	32,80	89,40	67,72	0,53	12,96	167,95	-0,38	0,10	-0,83	0,200
NEM TUNCELI	70,70	18,50	89,20	58,23	0,64	15,66	245,12	-0,32	0,10	-0,92	0,200
NEM MALATYA	65,40	19,50	84,90	53,32	0,67	16,26	264,47	-0,01	0,10	-1,19	0,202
NEM ELAZIG	68,10	15,60	83,70	53,85	0,71	17,35	301,10	-0,12	0,10	-1,25	0,200

Çizelge 4.6. (Devamı) Kullanılan 13 MGİ verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

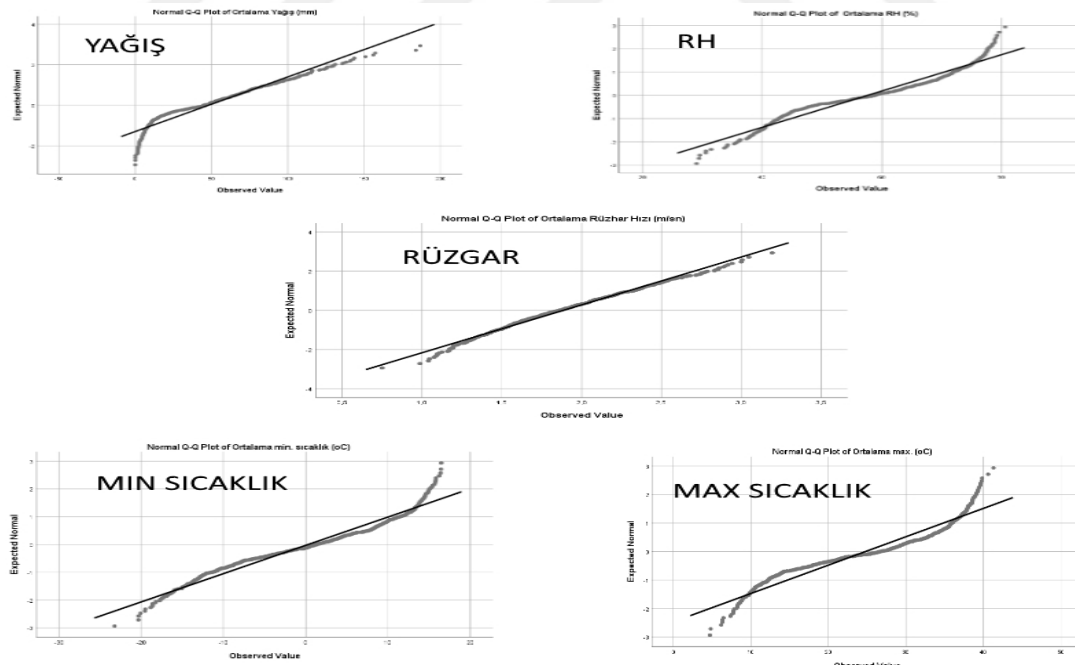
	Değer Aralık	Minimum İstatistik	Maximum İstatistik	Ortalama		Std. Sapma	Varyans İstatistik	Çarpıklık		Basıklık	
				İstatistik	Std.			İstatistik	Std.	İstatistik	Std.
NEM MUS	70,90	19,90	90,80	62,75	0,69	16,80	282,15	-0,43	0,10	-1,00	0,200
NEM KAHRAMANMARAS	49,30	33,40	82,70	58,52	0,40	9,84	96,82	0,22	0,10	-0,49	0,200
NEM ADIYAMAN	68,00	13,70	81,70	49,09	0,67	16,47	271,23	-0,04	0,10	-1,09	0,200
NEM MARDIN	81,10	9,00	90,10	47,55	0,71	17,18	295,31	0,06	0,10	-0,99	0,202
NEM DIYARBAKIR	75,70	10,70	86,40	54,62	0,85	19,59	383,82	-0,28	0,11	-1,18	0,213
NEM SIRNAK	72,30	10,90	83,20	41,50	0,94	17,37	301,86	0,21	0,13	-1,15	0,264
rüzgar hızı HINIS	4,40	0,10	4,50	1,57	0,03	0,75	0,57	0,47	0,10	0,06	0,205
rüzgar hızı BASKIL	3,50	0,00	3,50	1,23	0,04	0,85	0,72	0,80	0,13	-0,35	0,257
rüzgar hızı ERZINCAN	2,50	0,70	3,20	1,64	0,02	0,43	0,19	0,51	0,10	0,21	0,204
rüzgar hızı AGRI	3,50	0,20	3,70	1,83	0,03	0,74	0,55	0,13	0,10	-0,79	0,209
rüzgar hızı TUNCELI	3,40	0,40	3,80	1,40	0,02	0,49	0,24	1,19	0,10	2,14	0,206
rüzgar hızı MALATYA	3,10	0,10	3,20	1,27	0,03	0,62	0,39	0,12	0,10	-0,69	0,202
rüzgar hızı ELAZIG	3,20	0,60	3,80	2,19	0,03	0,63	0,39	0,11	0,10	-0,62	0,203
rüzgar hızı MUS	2,90	0,20	3,10	1,45	0,02	0,51	0,26	0,29	0,10	-0,42	0,206
rüzgar hızı KAHRAMANMARAS	7,20	0,00	7,20	2,04	0,05	1,29	1,66	1,06	0,10	1,00	0,204
rüzgar hızı ADIYAMAN	3,80	0,70	4,50	2,01	0,02	0,56	0,32	0,70	0,10	0,91	0,202
rüzgar hızı MARDIN	3,70	2,50	6,20	3,96	0,02	0,60	0,36	0,33	0,10	-0,06	0,202
rüzgar hızı DIYARBAKIR	4,80	0,10	4,90	2,16	0,04	0,87	0,76	-0,02	0,11	-0,31	0,212
rüzgar hızı SIRNAK	5,00	0,40	5,40	2,21	0,04	0,82	0,68	1,06	0,13	1,39	0,263
min-sıcaklık HINIS	45,50	-34,00	11,50	-6,93	0,51	12,35	152,53	-0,38	0,10	-1,18	0,200

Çizelge 4.6. (Devamı) Kullanılan 13 MGİ verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Değer	Minimum	Maximum	Ortalama		Std.	Varyans	Çarpıklık		Basıklık	
	Aralık	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std.	Sapma	İstatistik	İstatistik	Std.	İstatistik	Std.
min-sıcaklık BASKIL	37,60	-20,80	16,80	-0,49	0,47	9,25	85,59	-0,15	0,12	-1,05	0,249
min-sıcaklık ERZINCAN	42,30	-26,70	15,60	-1,62	0,40	9,69	93,89	-0,34	0,10	-0,80	0,200
min-sıcaklık AGRI	56,70	-45,60	11,10	-8,98	0,58	14,25	203,06	-0,55	0,10	-1,02	0,200
min-sıcaklık TUNCELI	47,60	-30,30	17,30	0,29	0,42	10,34	106,98	-0,40	0,10	-0,57	0,199
min-sıcaklık MALATYA	39,70	-19,00	20,70	2,75	0,37	9,04	81,73	-0,09	0,10	-1,05	0,200
min-sıcaklık ELAZIG	41,20	-22,60	18,60	1,61	0,38	9,27	86,00	-0,12	0,10	-0,95	0,200
min-sıcaklık MUS	51,00	-34,40	16,60	-3,02	0,54	13,13	172,50	-0,60	0,10	-0,72	0,200
min-sıcaklık KAHRAMANMARAS	32,10	-9,60	22,50	6,45	0,34	8,34	69,62	0,13	0,10	-1,18	0,200
min-sıcaklık ADIYAMAN	36,40	-14,40	22,00	6,59	0,34	8,35	69,72	0,11	0,10	-1,15	0,199
min-sıcaklık MARDIN	37,60	-14,00	23,60	5,82	0,37	8,92	79,58	0,11	0,10	-1,12	0,201
min-sıcaklık DIYARBAKIR	44,60	-23,40	21,20	2,92	0,42	9,72	94,53	-0,14	0,11	-0,77	0,212
min-sıcaklık SIRNAK	38,70	-14,50	24,20	5,00	0,50	9,44	89,09	0,14	0,13	-1,11	0,260
min-sıcaklık SIRNAK	38,70	-14,50	24,20	5,00	0,50	9,44	89,09	0,14	0,13	-1,11	0,260
max-sıcaklık HINIS	39,00	-1,80	37,20	19,14	0,44	10,65	113,35	-0,22	0,10	-1,36	0,200
max-sıcaklık BASKIL	36,70	3,00	39,70	23,72	0,53	10,27	105,44	-0,27	0,13	-1,27	0,249
max-sıcaklık ERZINCAN	39,60	1,00	40,60	23,83	0,41	9,96	99,24	-0,27	0,10	-1,21	0,200
max-sıcaklık AGRI	42,20	-4,00	38,20	19,76	0,46	11,23	126,11	-0,20	0,10	-1,34	0,200
max-sıcaklık TUNCELI	40,60	1,90	42,50	25,31	0,45	10,92	119,15	-0,29	0,10	-1,23	0,199
max-sıcaklık MALATYA	39,00	3,20	42,20	25,36	0,42	10,31	106,38	-0,24	0,10	-1,27	0,200
max-sıcaklık ELAZIG	40,10	2,10	42,20	25,00	0,44	10,65	113,43	-0,25	0,10	-1,27	0,200



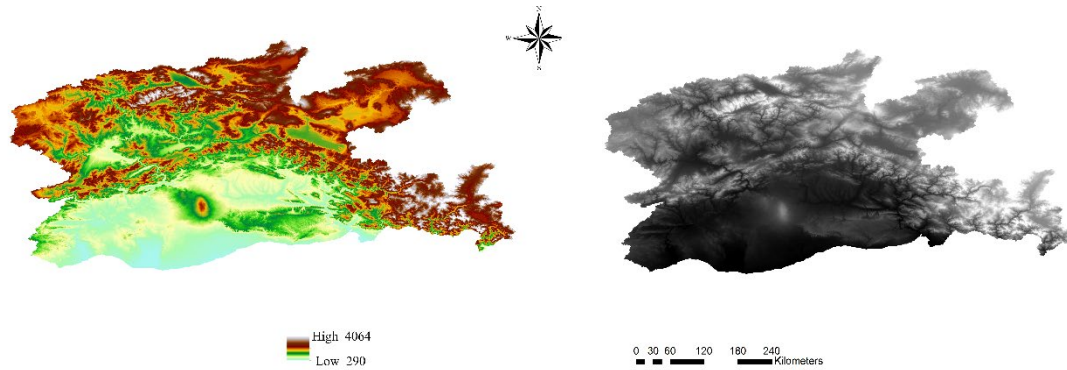
Şekil 4.5. E21A019 İstasyonu meteorolojik ölçütlere ait frekans histogramları



Şekil 4.6. E21A019 İstasyonu Meteorolojik ölçütlere ait Q-Q grafikleri

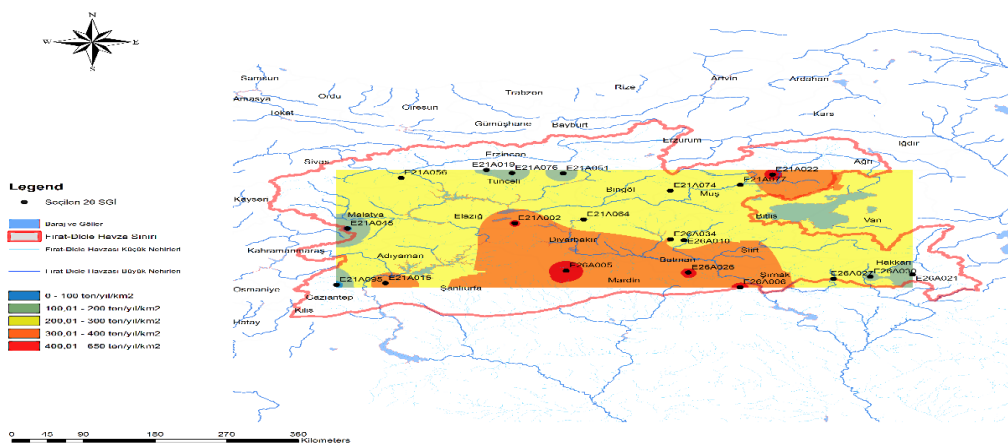
4.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Hidrolojik Veri Analizi

Analiz amaçlı kullanılan altlık haritaları FAO, FAO-Aquastat, FA-Geonetwork, USGS-Earthexplorer, USGS-Hydrosheds, USGS-Glovis ve adreslerinden, DEM (Digital elevation model) ise CGIAR-srtm adresinden 90 m çözünürlük ile temin edilmiştir. Fırat-Dicle havzasına ait Sayısal Yükseklik Haritası (DEM) Şekil 4.7’de verilmiştir.

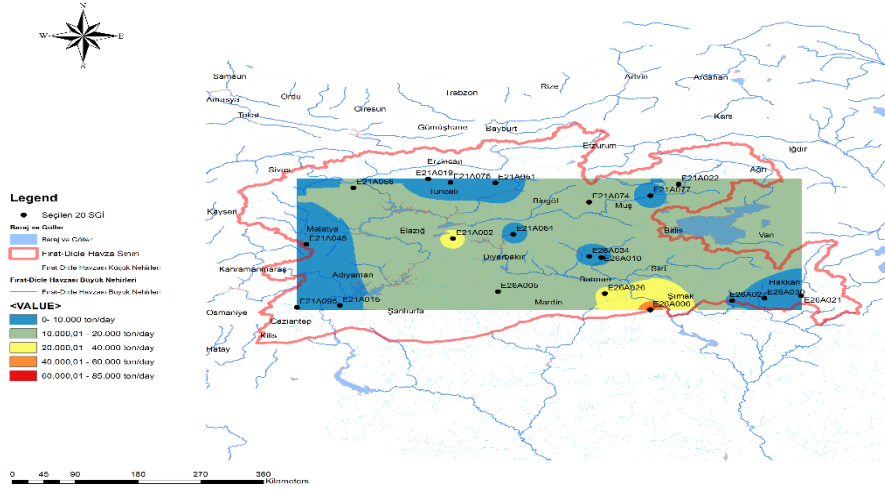


Şekil 4.7. Fırat-Dicle havzasına ait sayısal yükseklik haritası (DEM)

Elde edilen verilerin sınırlı olması nedeniyle kriging yerine ters uzaklık ağırlıklandırma (IDW) yöntemi kullanılmıştır. ArcGIS yazılımında IDW yöntemiyle oluşturulan ton cinsinden uzun yıllar ortalama sediment miktarları (ton/yıl/km²) Şekil 4.8’de, eldeki mevcut istasyonlara göre oluşturulmuş günlük biriken sediment miktarları ise (ton/day) ise şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8 Uzun yıllar ortalama sediment miktarları (ton/yıl/km²)



Şekil 4.9. Mevcut istasyonlara göre oluşturulmuş günlük biriken sediment miktarı (ton/gün)

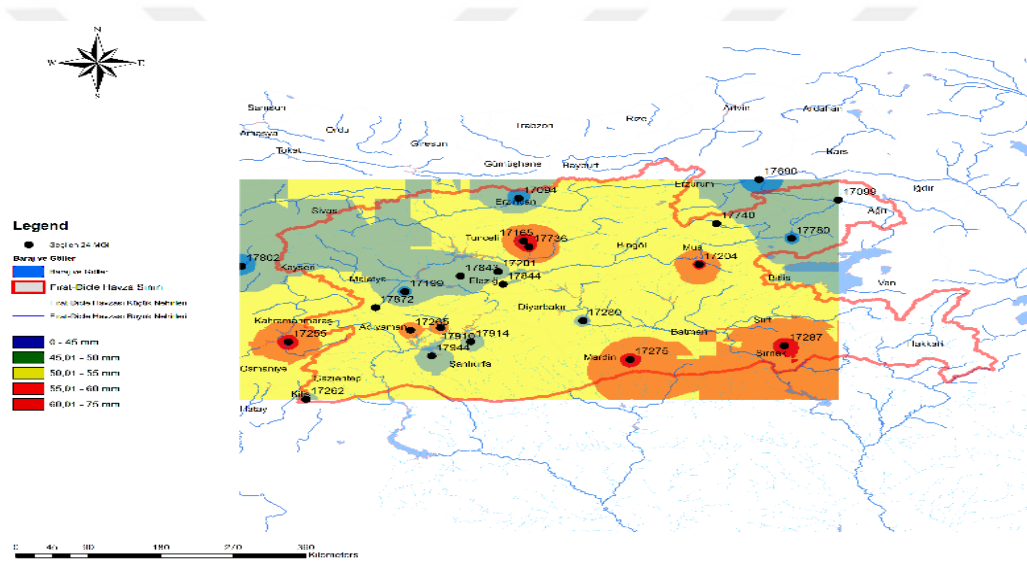
Uzun yıllar ortalama sediment birikim miktarlarına bakıldığında E21A022, E21A002, E26A005, E26A026 ve E26A006 istasyonlarının bulunduğu Şırnak, Mardin, Diyarbakır, Batman, Şanlıurfa ve Siirt illerindeki sediment birikim değerlerinin diğerlerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sediment birikim miktarları 400-650 ton/yıl/km² arasında değişmektedir. Bu istasyonların hemen hemen tümü Dicle nehri üzerinde veya yakınında bulunmaktadır. Buradan, Dicle nehrinin Fırat nehrine oranla daha fazla miktarda sediment taşıdığı sonucuna varılabilmektedir.

Ayrıca Türkiye'deki önemli barajlardan olan Keban, Karakaya ve Atatürk barajlarının çevresinde yaklaşık 200-300 ton/yıl/km² sediment birikim miktarları tespit edilmiştir. Malatya, Tunceli, Erzincan ile Adıyaman ve Elazığ'ın belli bir kesiminde ise 100-200 ton/yıl/km² gibi diğerlerine göre oldukça küçük değerlerin olduğu tespit edilmiştir.

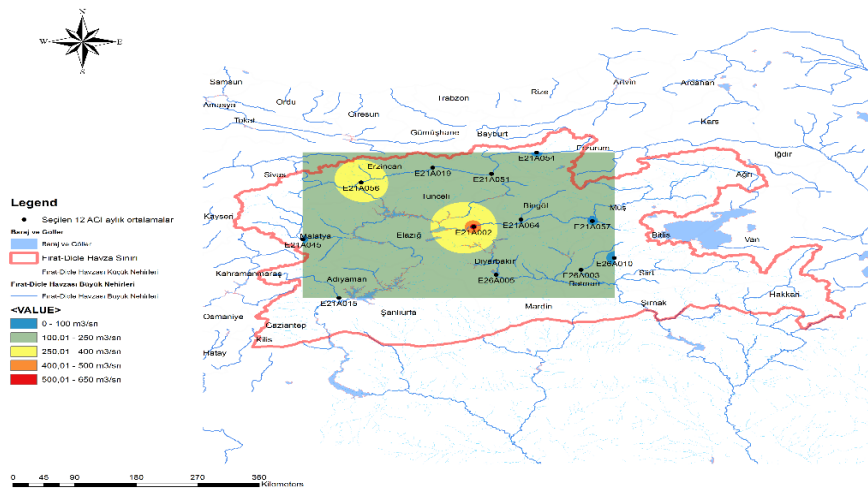
Eldeki mevcut verilerin ortalaması ile elde edilen günlük sediment birikim değerlerine göre özellikle E26A006 numaralı Şırnak ilindeki istasyonun değerleri diğerlerine göre oldukça yüksek miktarda çıkmaktadır. Sediment değerleri 65 000-85 000 ton/gün arasında değişmektedir. Bu durum, uzun yıllar ortalama değerlerine benzer şekilde Dicle nehrinin Türkiye'den çıkış noktasında sediment oranının çok fazla miktarda olduğunu göstermektedir.

Buna ek olarak sadece Elâzığ ili Keban-Karakaya barajına yakın bir noktada yer alan E21A002 numaralı istasyonda yüksek değerler olduğu tespit edilmiştir. Diğer istasyonlarda ise nispeten daha düşük sediment değerlerine rastlanmıştır. E21A002 numaralı istasyon dışında Atatürk ve Keban-Karakaya barajlarında nispeten düşük sediment birikim oranlarına rastlanmıştır.

Uzun yıllara ait aylık elde edilen yağış ortalamaları (mm) Şekil 4.10'da, aylık ortalama akım miktarı (m^3/sn) Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Uzun yıllara ait aylık yağış ortalamaları (mm)



Şekil 4.11. Mevcut istasyonlara göre oluşturulmuş aylık ortalama akım miktarları (m^3/s)

Örnek olması açısından, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 2018 yılı Nisan ayı yağış ortalaması 35.8 mm, normali 60.2 mm ve 2019 yılı yağış ortalaması 86.4 mm'dir (Anonim, 2018). Bölgedeki yağışlarda ise 2019 yılına göre %59 azalma gerçekleşmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen aylık yağış ortalamalarına bakıldığında ise Tunceli, Muş, Kahramanmaraş, Mardin, Şırnak, Siirt ve Batman çevresinde diğerlerine oranla daha fazla aylık ortalama yağışlar olduğu görülmektedir. Bu yağış miktarları 60-75 mm/ay olarak değişmektedir. Diğer illerde ise en fazla 55 mm civarında yağış değerlerine rastlanmıştır. Aylık ortalama 50-55 mm yağış değerlerine sahip alanların sayısı daha fazladır.

Çalışma kapsamında ArcGIS yazılımı ile elde edilen aylık ortalama akışların uzun yıllık değerlerine göre bakıldığında E21A002 ve E21A056 istasyonları haricindeki diğer istasyonlarda değerler hemen hemen aynıdır. Buradaki aylık ortalama değerlerin büyük bir kısmı 0-250 m³/sn arasında değişmektedir. E21A002 istasyonu Murat nehrinden, E21A056 istasyonu ise Karasu nehrinden beslenmektedir. En yüksek değerlere E21A002 istasyonun bulunduğu yerde rastlanmıştır. Bu istasyon tam olarak Keban barajı, Kralkızı barajı, Hazar gölü ve Murat nehri arasında bir bölgede yer almaktadır. İstasyonun akım ortalamasının 400 m³/sn'den daha büyük olduğu görülmektedir.

Sediment ile aynı anda alınan anlık akım değerlerinin büyük bir kısmı 0-100 m³/sn arasında değişmektedir. Yüksek akım değerlerine nispeten bazı istasyonların çevresinde (E21A002, E21A056, E21A074, E26A026) rastlanmıştır ve en yüksek değerler Dicle nehrinin çıkış kısmındaki E26A006 numaralı istasyon çevresinde görülmüştür.

4.3 YSA Modelleri

Denemede, eğitimler için literatürde başarılı olduğu belirtilen Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve Eşlenik Gradyan Azaltma (CG) algoritmaları ayrı ayrı denenmiştir (Hagan ve Menhaj, 1994). Tüm denemelerde çoğunlukla kullanılan ve eğitim algoritmasının sonlandırma devir sınırı (epoch) sayısı 1000 olarak seçilmiştir. Buna ek olarak çalışmadaki tüm eğitimlerde çapraz doğrulama yapılmıştır. Performans (test) değerlendirmesi için belirlenen ağlar veri setinden ayrılan ve eğitim sürecine etkisi olmayan test seti ile simüle edilmiştir.

Akım tahminlerinde gizli katman nöronlarında Linear Tanh Axon, çıkış nöronlarında ise Tanh Axon fonksiyonları seçilmiştir. Sediment tahminlerinde ise gizli katman nöronlarında transfer fonksiyonu olarak daha önceki çalışmalarda başarılı olduğu rapor edilen, başarıyı arttırdığı ve işlem yükünü diğerlerine göre azalttığı belirtilmiş “Linear Sigmoid Axon” fonksiyonu kullanılmıştır (Alpaydın, 2010). Bu fonksiyonun seçilmesinde eğitim algoritmasının hesap kabiliyeti ve hızı düşünülmüştür. Ağların çıkış katmanında “Bias Axon” transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

YSA modellerinin oluşturulması, eğitimi ve test sonuçları Neurosolutions v6.00 alpha 2 yazılımı ile, istatistiksel hesaplamalar ve sonuçların değerlendirilmesi için oluşturulan çizelge ve grafikler SPSS v25 yazılımı ile yapılmıştır. Eğitim verisinin analiz öncesi ve sonrası düzenlenmesi işlemi ise Microsoft Excel ile yapılmıştır.

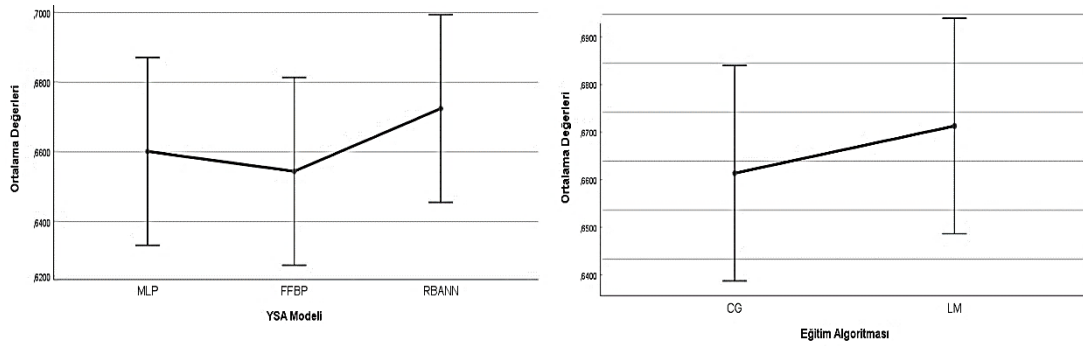
YSA eğitimleri çapraz doğrulama ile uygun şekilde durdurulmadığı takdirde aşırı uydurmaya eğilimli olduklarından, eğitimin ne zaman durdurulacağına karar verilmesi son derece önemli bir konudur. Aşırı uydurmayı önlemek için en yaygın kullanılan yöntem çapraz doğrulama ile erken durdurma tekniğidir (ASCE, 2000a).

Bununla birlikte Master (1993) ve Ripley (1994) gibi bazı araştırmacılar, optimal durma süresinin belirlenmesinin imkânsız olduğunu ve eğitimin zamanından önce durdurulma tehlikesinin bulunduğunu ileri sürmüşlerdir. Amari ve ark., (1997), ağıdaki ağırlıkların sayısına göre belirlenen eğitim sayısı oranının 30’u aşması durumunda aşırı uydurmanın gerçekleşmeyeceğini göstermiştir. Bu gibi durumlarda, eğitim hatası yeterince küçük bir değere ulaştığında veya eğitim hatası değişiklikleri küçük kaldığında eğitim durdurulabilir.

Aşırı uydurmayı önlemek için, mevcut veriler eğitim, test seti ve doğrulama kümesi (çapraz doğrulama) olarak üç alt kümeye ayrılmıştır. Eğitim seti, bir dizi farklı YSA modelini eğitmek için; doğrulama kümesi ise, eğitimin ne zaman duracağını belirlemek için kullanılmıştır. Son olarak, test seti seçilen modelin bağımsız verilere karşı performans değerlendirmesinde kullanılmıştır.

4.3.1 Akım tahminleri

En iyi veri giriş kümesinin belirlenmesi amacıyla akım ve akım ile meteorolojik değerler girdi olarak kullanılmış, sonuçta akım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar SPSS yazılımıyla değerlendirilmiştir. En iyi küme sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Sonuçlara bakılırsa en iyi giriş kümesinin tüm verilerin dahil olduğu küme olarak belirlenmiştir. Diğer YSA yöntemleri bu giriş kümeleri ölçüt alınarak eğitimler yapılmıştır. En iyi YSA olarak RBANN ağı, eğitim algoritması olarak da LM yöntemi seçilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. En iyi akım girişleri ile elde edilen en iyi YSA ve eğitim algoritması

Fırat nehri için 5 istasyonda, Dicle nehri için 3 farklı istasyonda yığılımlı olarak akım tahminleri yapılmıştır. Nehrin en üst noktasından en alt noktasına doğru ve her defasında bir önceki akımın bir sonraki akım tahmininde girdi olması koşuluyla tahminler yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Akım tahmininde elde edilen en iyi giriş küme sonuçları

Tanımlayıcı İstatistikler			
Girişler	Ortalamalar	Standart Sapma	MSE
önceki akım	0.457	0.364	0.282
önceki akım + yağış	0.635	0.221	0.244
önceki akım + yağış + nem	0.721	0.222	0.183
önceki akım + yağış + nem + rüzgar	0.702	0.268	0.180
önceki akım + yağış + nem + rüzgar + minT	0.718	0.203	0.168
önceki akım + yağış + nem + rüzgar + minT + maxT	0.722	0.164	0.175

En iyi ağı bulmak için 8 akım, 3 farklı YSA, 3 farklı deneme (deneme, test ve doğrulama) ve iki eğitim algoritmasıyla (CG ve LM) ayrı ayrı 8x3x3x2 toplamda 144 farklı deneme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Fırat nehri YSA analizi akım tahmini regresyon R ve mse hata değerleri

			MLP		FFBP		RBANN	
			CG	LM	CG	LM	CG	LM
Fırat	E21A019	train	0.4760	0.5050	0.4770	0.5070	0.4560	0.5170
		mse	0.2535	0.2621	0.2533	0.2505	0.2343	0.2411
		cv	0.4750	0.4690	0.4970	0.4280	0.5720	0.5330
		mse	0.2487	0.2576	0.2671	0.2646	0.2112	0.2161
		test	0.6140	0.6260	0.5930	0.6050	0.4520	0.5220
		mse	0.2303	0.2601	0.2375	0.2313	0.2205	0.2273
	E21A076	train	0.5330	0.6000	0.5430	0.5710	0.6030	0.6260
		mse	0.2542	0.2157	0.2383	0.2205	0.2195	0.2285
		cv	0.5770	0.6370	0.5360	0.6530	0.6470	0.6820
		mse	0.2543	0.2196	0.2408	0.2105	0.1921	0.2008
		test	0.6050	0.5860	0.5620	0.6060	0.6280	0.5740
		mse	0.1871	0.1851	0.1811	0.1774	0.1896	0.1757
	E21A064	train	0.7670	0.7730	0.7770	0.7870	0.7740	0.7730
		mse	0.1291	0.1143	0.1347	0.1372	0.1299	0.1425
		cv	0.7640	0.7630	0.7460	0.7730	0.7820	0.7700
		mse	0.1044	0.1096	0.1031	0.1068	0.1054	0.1118
		test	0.7980	0.7640	0.7580	0.8020	0.7750	0.7920
		mse	0.1364	0.1369	0.1433	0.1437	0.1417	0.1519
	E21A002	train	0.6970	0.7060	0.6060	0.7000	0.6780	0.6950
		mse	0.0556	0.0542	0.0631	0.0561	0.0690	0.0510
		cv	0.6440	0.6940	0.6170	0.6780	0.6040	0.6530
		mse	0.0619	0.0539	0.0639	0.0573	0.0640	0.0610
		test	0.6590	0.6120	0.6100	0.6910	0.7030	0.7350
		mse	0.0683	0.0673	0.0542	0.0543	0.0736	0.0557
	E21A015	train	0.6780	0.7470	0.7430	0.7050	0.7020	0.8040
		mse	0.1639	0.1460	0.1459	0.1561	0.1695	0.1654
		cv	0.7580	0.7870	0.7780	0.7500	0.7480	0.8447
		mse	0.1470	0.1288	0.1449	0.1276	0.1491	0.1487
		test	0.6060	0.5190	0.5690	0.6240	0.6130	0.8154
		mse	0.1801	0.1440	0.1351	0.1962	0.1472	0.1568
Dicle	E26A010	train	0.5390	0.5500	0.4840	0.5560	0.4590	0.4870
		mse	0.4141	0.2614	0.2854	0.3124	0.2583	0.3062
		cv	0.5190	0.5920	0.4380	0.6050	0.6880	0.6630
		mse	0.1633	0.1821	0.1552	0.1396	0.1483	0.1262
		test	0.3580	0.3550	0.3290	0.3860	0.2770	0.4040
		mse	0.2043	0.1852	0.1853	0.1737	0.2367	0.2318

Train = Eğitim,

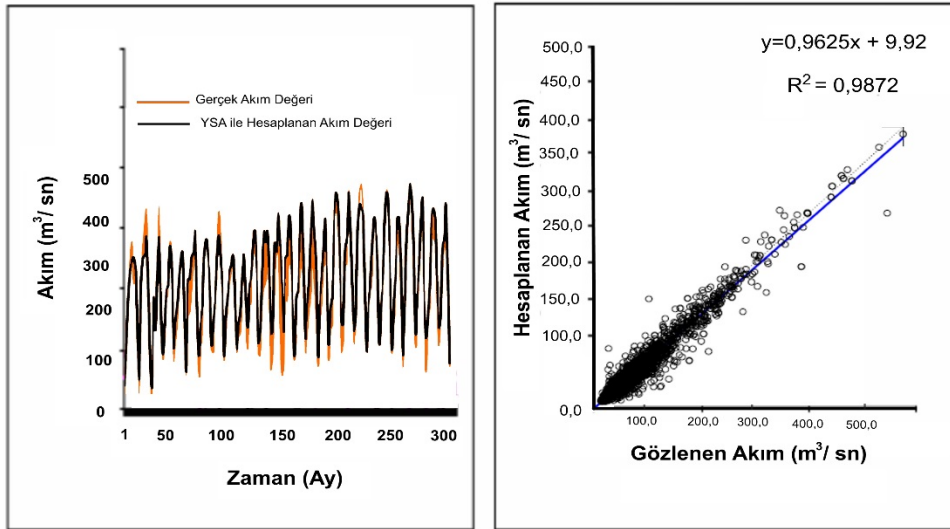
Cv = Çapraz Doğrulama,

Test = Test Veri Seti

Çizelge 4.8. (Devamı) Fırat nehri YSA analizi akım tahmini regresyon R ve mse hata değerleri

E26A026	train	0.3900	0.1300	0.3870	0.3740	0.4710	0.3350
	mse	0.1160	0.1167	0.1221	0.1394	0.1286	0.1426
	cv	0.2100	0.4800	0.2020	0.1000	0.4870	0.5150
	mse	0.0861	0.0798	0.0818	0.0832	0.0667	0.0718
	test	0.2000	0.3100	0.1000	0.3760	0.3970	0.6090
	mse	0.1265	0.0954	0.1038	0.1255	0.0993	0.1086
E26A006	train	0.8300	0.8330	0.8440	0.8130	0.8230	0.9324
	mse	0.0147	0.0711	0.0345	0.4000	0.0127	0.0181
	cv	0.7300	0.7250	0.7240	0.6990	0.7370	0.9528
	mse	0.0549	0.0371	0.0545	0.0382	0.0376	0.0076
	test	0.7159	0.7158	0.7150	0.7740	0.7261	0.9876
	mse	0.0391	0.0371	0.0421	0.0288	0.0379	0.0030

Ölçülen akım değerleri ile tahmin edilen akım değerlerini (m^3/s) içeren saçılma ve gidiş grafikleri Şekil 4.13’de verilmiştir.



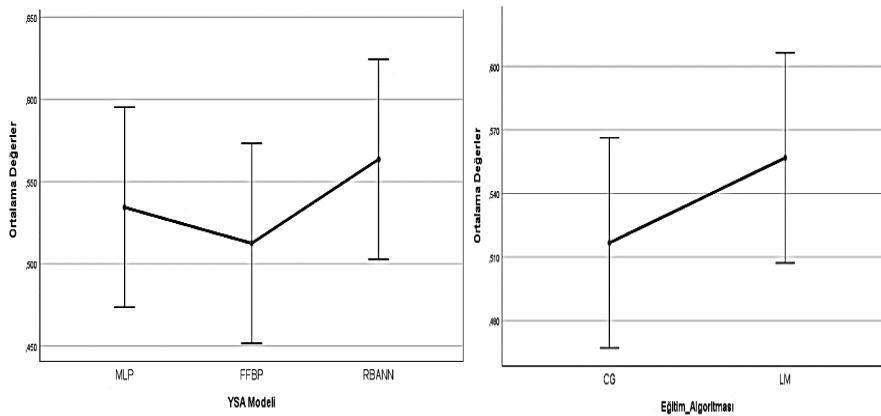
Şekil 4.13. E21A015 akım istasyonu gözlem ve tahmin değerlerine ait saçılma ve gidiş grafiği

Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla elde edilen sonuçlar SPSS yardımıyla MANOVA testine tabi tutulmuştur. Test sırasında elde edilen tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.9’da verilmiştir. En iyi model ile ilgili elde edilen grafiksel gösterim ise Şekil 4.14’de verilmiştir. Hem çizelge hem de şekilde görüleceği üzere YSA ile elde edilen en yüksek ortalama R değerleri CG

algoritmasından ziyade LM algoritması ve radyal tabanlı yapay sinir ağıları (RBANN) modeli ile elde edilmiştir.

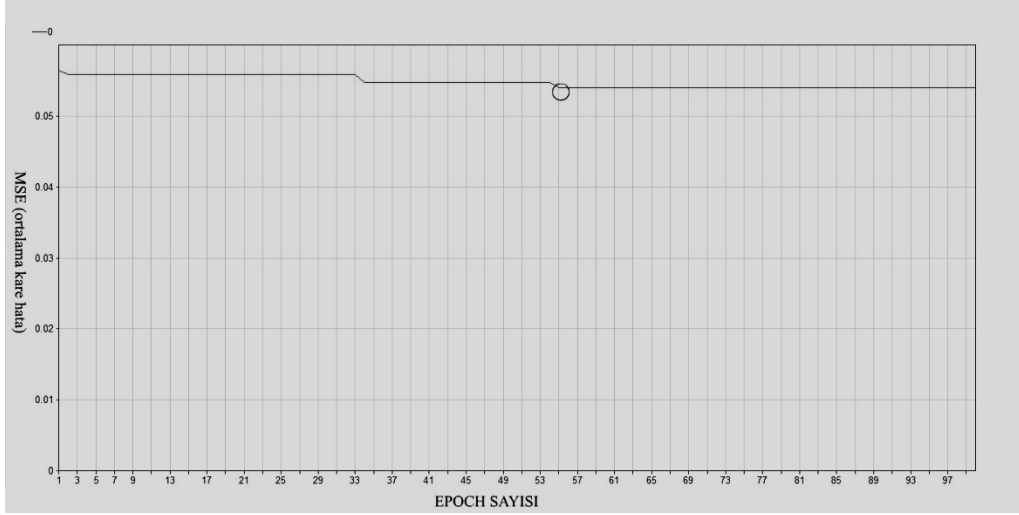
Çizelge 4.9. Fırat ve Dicle YSA ile elde edilen R değerleri için MANOVA tanımlayıcı istatistikleri

Tanımlayıcı İstatistikler				
	YSA Modelleri	Eğitim Algoritmaları	Ortalama	Standart Hata
Deneme	MLP	CG	0,6138	0,1523
		LM	0,6055	0,2234
	FFBP	CG	0,6076	0,1639
		LM	0,6266	0,1503
	RBANN	CG	0,6208	0,1465
		LM	0,5914	0,1411
Doğrulama	MLP	CG	0,5846	0,1866
		LM	0,6434	0,1219
	FFBP	CG	0,5673	0,1925
		LM	0,5858	0,2233
	RBANN	CG	0,6581	0,1002
		LM	0,6664	0,0989
Test	MLP	CG	0,5700	0,1959
		LM	0,4988	0,1861
	FFBP	CG	0,4670	0,2260
		LM	0,5580	0,1615
	RBANN	CG	0,5133	0,1943
		LM	0,6139	0,1207

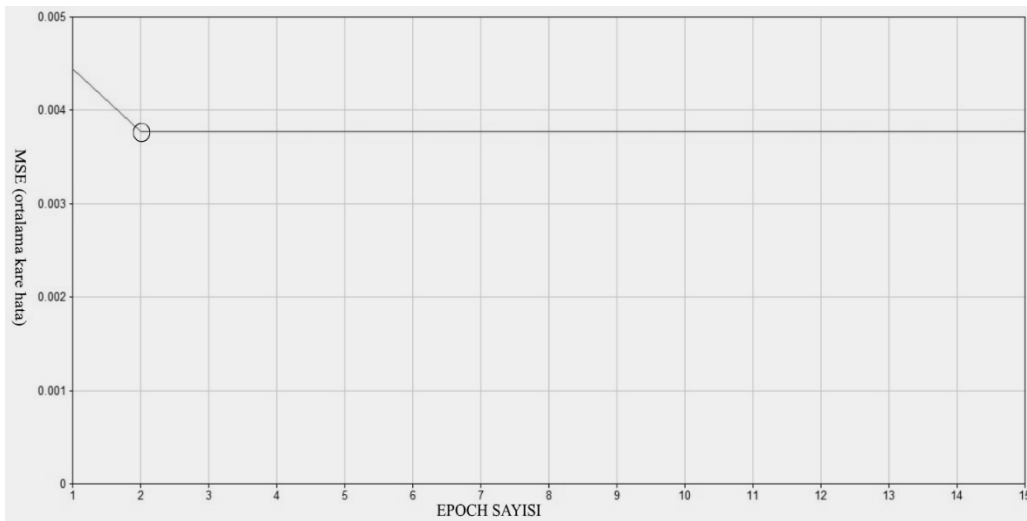


Şekil 4.14. Akım tahmininde en iyi model olan RBANN ve LM grafikleri

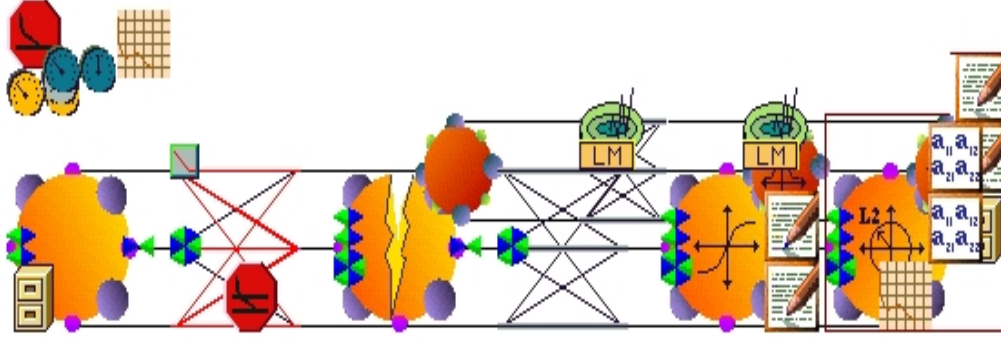
Fırat nehri için en yüksek R değerine ve en çok veriye sahip olan E21A015 akım istasyonunun RBANN ve LM algoritması ile yapılan eğitim süreci grafiği Şekil 4.15’de, Dicle nehri için E26A006 akım istasyonunun ait eğitim süreci grafiği ise Şekil 4.1’6 da verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi Fırat için 0.0561 ortalama hata ile 55. epoch değerinde, Dicle için yaklaşık 0.0039 ortalama hata ile 2. epoch değerinde eğitim sonlandırılmıştır. Dicle nehrinde ağın eğitim süreci veri sayısına da bağlı olarak Fırat nehrine oranla daha çabuk sonlandırılmıştır. Her iki nehir için kullanılan radyal ağının model grafiği ise Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekilde model sürecinde kullanılan girdi, çıktı ve algoritmalar gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Fırat nehrinde RBANN modeli ve LM algoritması ile ağların eğitim süreci



Şekil 4.16. Dicle nehrinde RBANN modeli ve LM algoritması ile ağların eğitim süreci



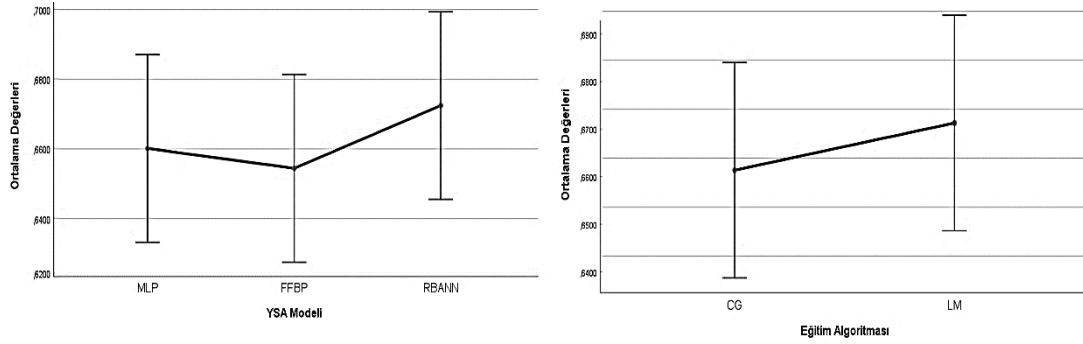
Şekil 4.17. En başarılı RBANN model LM algoritmasının model grafiği

Fırat nehrinde test için 0.8154 değeri hesaplanırken, doğrulama seti için 0.8447 ve deneme için 0.8040 olarak bulunmuştur. Dicle nehrinde test için 0.9876 değeri hesaplanırken, doğrulama seti için 0.9578 ve eğitim için 0.9324 olarak bulunmuştur.

Tüm bu R değerlerinin, mevcut hesaplamalar içindeki en yüksek değerler olduğu belirlenmiştir. Bu da bir kez daha veri setinin fazla olmasının doğruluk ve tahmin oranını arttırdığını göstermiştir. Farklı olarak Dicle nehri akım tahminleri Fırat nehrine oranla yaklaşık %10 daha yüksek doğrulukla tahmin edilmiştir.

4.3.2 Sediment tahminleri

En iyi veri giriş kümesinin belirlenmesi amacıyla akım ve akım ile meteorolojik değerler girdi olarak kullanılmış, sonuçta sediment değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar SPSS yazılımıyla değerlendirilmiştir. En iyi küme sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Sonuçlara bakılırsa en iyi giriş kümesinin tüm verilerin dahil olduğu küme olarak belirlenmiştir. Diğer YSA yöntemleri bu giriş kümeleri ölçüt alınarak eğitimler yapılmıştır. En iyi YSA olarak RBANN ağı, eğitim algoritması olarak da LM yöntemi seçilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. En iyi sediment girişleri ile elde edilen en iyi YSA ve eğitim algoritması

Şekil 4.18 ve Çizelge 4.10 dikkatli bir şekilde incelenirse en iyi YSA yöntemi RBANN ağı ile LM algoritmasıdır. En iyi giriş kümesi tüm verilerin dahil edildiği eğitimin olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı sonraki analizler de tüm veri setinin dahil edildiği yöntemler kullanılmıştır

Çizelge 4.10. Sediment tahmininde elde edilen en iyi giriş küme sonuçları

Tanımlayıcı İstatistikler			
Girişler	Ortalamalar	Standart Sapma	MSE
önceki akım	0.355	0.076	0.040
önceki akım + yağış	0.823	0.073	0.018
önceki akım + yağış + nem	0.682	0.160	0.026
önceki akım + yağış + nem + rüzgar	0.793	0.090	0.018
önceki akım + yağış + nem + rüzgar + minT	0.711	0.191	0.023
önceki akım + yağış + nem + rüzgar + minT + maxT	0.817	0.065	0.017

YSA tahminde, havzayı temsil edecek şekilde DSİ tarafından belirlenmiş ve ölçülmüş 20 SGI verisi kullanılmıştır. Bu verilere ek olarak farklı eğitim algoritmaları (2), denemeler (3) ve yapay sinir ağı (3) 20x2x3x3 olmak üzere toplam 360 YSA denemesi yapılmıştır. Sadece çok katmanlı algılayıcı (MLP) modelinde ek olarak çift katmanlı model denenmiş ve istatistiksel olarak hangi katmanın daha doğru ve anlamlı olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

YSA analizinde kullanılacak MLP, FFBP, RBANN modellerinin herbiri için neurosolutions yazılımında farklı transfer fonksiyonları ve öğrenme kuralları ile denemeler yapılmıştır. Gizli katman ve çıktı katmanı için en uygun giriş kombinasyonunun belirlenmesine çalışılmıştır. Farklı eğitim, test ve çapraz doğrulama

değerleri elde edilmiştir. MLP için 1 ve 2 katmanlı, diğer YSA modelleri için 1 katmanlı olacak şekilde farklı denemeler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar, MLP modelinde katman sayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için SPSS yazılımı yardımıyla MANOVA testine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Sediment analizinde uygun MLP katman sayısı MANOVA testi probability (P) değerleri

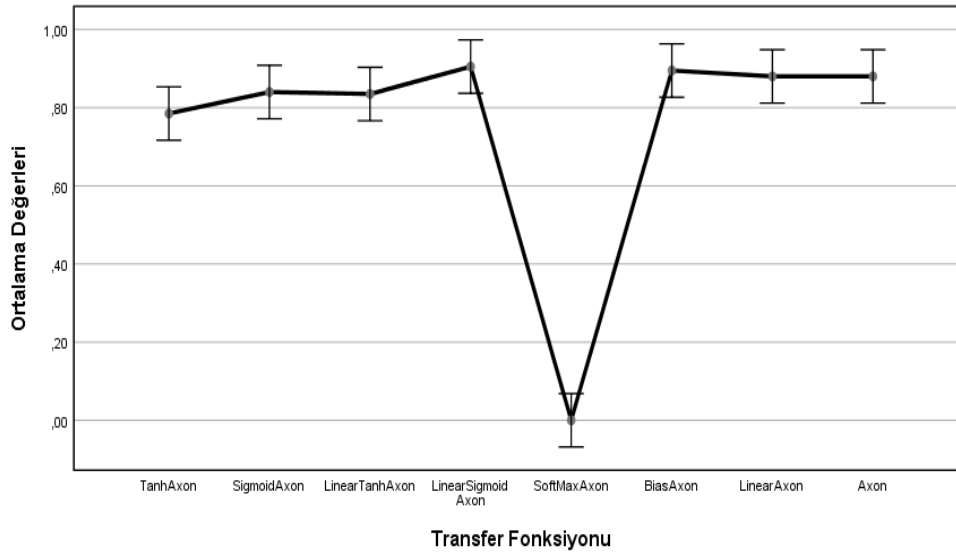
Etki Eden		Değer	F	Hipotez df	Hata df	P	Kısmi eta-kare
Çıkış transfer fonksiyonu	Pillai's Trace	1,572	11,547	14,000	44,000	0,000	0,786
	Wilks' Lambda	0,005	41,595	14,000	42,000	0,000	0,933
	Hotelling's Trace	92,552	132,217	14,000	40,000	0,000	0,979
	Roy's Largest Root	91,154	286,484	7,000	22,000	0,000	0,989
Öğrenme kuralı	Pillai's Trace	0,206	2,730	2,000	21,000	0,088	0,206
	Wilks' Lambda	0,794	2,730	2,000	21,000	0,088	0,206
	Hotelling's Trace	0,260	2,730	2,000	21,000	0,088	0,206
	Roy's Largest Root	0,260	2,730	2,000	21,000	0,088	0,206
Katman sayısı	Pillai's Trace	0,045	0,493	2,000	21,000	0,618	0,045
	Wilks' Lambda	0,955	0,493	2,000	21,000	0,618	0,045
	Hotelling's Trace	0,047	0,493	2,000	21,000	0,618	0,045
	Roy's Largest Root	0,047	0,493	2,000	21,000	0,618	0,045

Burada ANOVA yerine MANOVA testinin yapılma nedeni, bir değilde birden fazla bağımlı değişkenin olmasıdır. Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi katman sayısının P değerleri güven düzeyi olan 0.05 değerinden daha büyük olduğu için sonuçlar üzerinde herhangi bir olumlu etkisi olmadığı için MLP analizi YSA modelinde tek katmanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Öğrenme kuralı ise 0.088 değeri ile 0.05 değerine nispeten yakın olduğundan daha anlamlı olarak değerlendirilebilmektedir.

Sonuca en çok etki eden etmenin $P < 0,05$ olması nedeniyle çıkış transfer fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Bunun anlamı, transfer fonksiyonundaki değişimlerin sediment değerini etkilediği, ancak öğrenme kuralı ve katman sayısının sediment değeri üzerinde

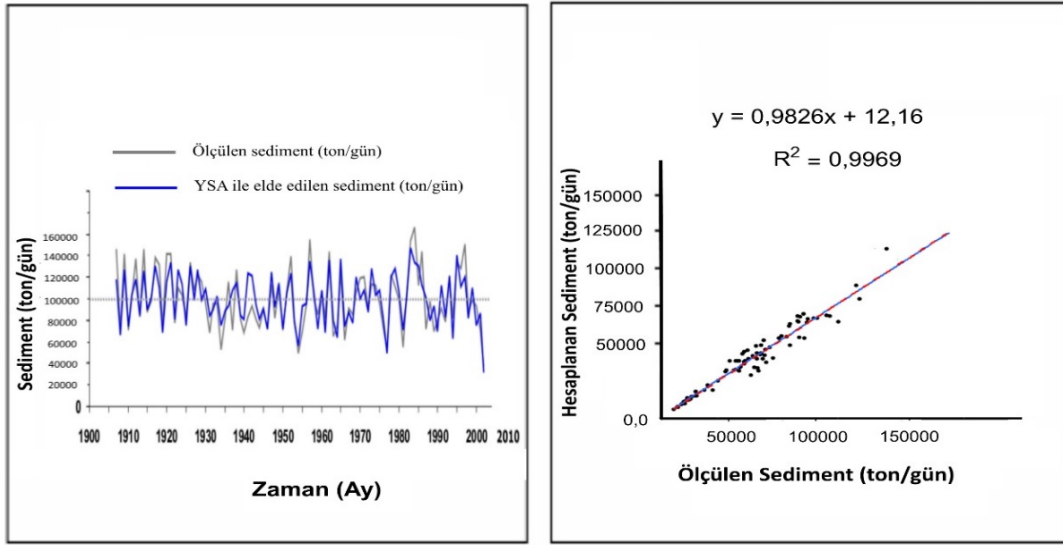
herhangi bir olumlu etkisinin olmadığıdır. Bundan dolayı MLP denemesi tek katmanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Hangi transfer fonksiyonun sediment değerini daha iyi belirlediğinin belirlenmesi amacıyla MANOVA testi ile birlikte fonksiyon eğrileri çizilmiştir. Test değerlerine göre çizilen grafik Şekil 4.19’da verilmiştir. Grafikte en yüksek değerlerin görüldüğü Linear Sigmoid Axon gizli katman fonksiyonu, Bias Axon ise çıktı katmanı fonksiyonları olarak belirlenmiştir. Sonuçta gizli katmanda Linear Sigmoid Axon fonksiyonunun, çıktı katmanında ise Bias Axon’un en iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.19. Sediment test değerine karşılık gelen transfer fonksiyonları

Ölçülen sediment değerleri ile tahmin edilen akım değerleri (m^3/s) içeren saçılma ve gidiş grafikleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. E21A015 sediment istasyonu gözlem ve tahmin değerlerine ait saçılma ve gidiş grafiği

Elde edilen tüm sediment YSA tahmin sonuçları probability (R) ve mse değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Elde edilen en yüksek değerler MLP modelinde CG ve LM algoritmaları ile sırasıyla 0.9546 ve 0.9820, FFBG modelinde 0.9735 ve 0.9732, RBANN modelinde ise 0.9683 ve 0.9969 olarak belirlenmiştir. Sadece test değerlerinin YSA modellerine göre ortalama değerlerine bakıldığında yine en yüksek değer RBANN ve LM algoritmasında 0.8507 olarak elde edilmiştir. Bu değer MLP modelinde 0.7996, FFBG modelinde ise 0.8290 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. Fırat-Dicle havzası YSA analizi sediment tahmini regresyon R ve mse hata değerleri

			MLP						FFBP						RBANN					
Sıra No	Station No	Learning rule	train	mse	cv	mse	test	mse	train	mse	cv	mse	test	mse	train	mse	cv	mse	test	mse
1	E21A002	CG	0.8580	0.0041	0.8580	0.0041	0.8620	0.0030	0.9080	0.0039	0.9080	0.0039	0.9020	0.0025	0.9260	0.0036	0.9260	0.0036	0.9070	0.0029
		LM	0.9150	0.0038	0.9150	0.0038	0.8660	0.0026	0.9410	0.0036	0.9410	0.0036	0.8940	0.0040	0.8540	0.0034	0.9250	0.0034	0.9050	0.0030
2	E21A015	CG	0.7880	0.0020	0.6910	0.0020	0.7230	0.0280	0.7880	0.0020	0.6940	0.0020	0.7240	0.0274	0.6881	0.0020	0.6830	0.0020	0.6810	0.0242
		LM	0.7860	0.0019	0.7110	0.0019	0.6900	0.0318	0.8240	0.0019	0.7300	0.0019	0.7420	0.0233	0.8440	0.0024	0.6850	0.0024	0.7790	0.0280
3	E21A019	CG	0.8540	0.0099	0.8540	0.0099	0.9180	0.0150	0.8600	0.0146	0.8600	0.0149	0.9200	0.0150	0.8690	0.0104	0.8690	0.0104	0.8758	0.0175
		LM	0.8813	0.0087	0.8813	0.0087	0.8855	0.0203	0.8520	0.0105	0.8520	0.0105	0.8930	0.0168	0.9472	0.0097	0.7597	0.0097	0.9969	0.0194
4	E21A022	CG	0.9154	0.0033	0.9154	0.0033	0.9325	0.0023	0.8854	0.0450	0.8830	0.0450	0.9615	0.0801	0.8767	0.0310	0.8767	0.0310	0.9452	0.0849
		LM	0.9405	0.0023	0.9490	0.0023	0.9820	0.0016	0.7800	0.0116	0.8870	0.0116	0.9248	0.0252	0.8768	0.0211	0.9660	0.0212	0.9330	0.0103
5	E21A045	CG	0.8450	0.0102	0.7430	0.0026	0.7840	0.0022	0.8656	0.0077	0.8007	0.0021	0.7979	0.0023	0.7984	0.0163	0.7859	0.0022	0.8120	0.0022
		LM	0.9251	0.0061	0.8357	0.0017	0.7225	0.0033	0.8466	0.0016	0.8466	0.0016	0.7923	0.0021	0.8691	0.0074	0.7930	0.0023	0.7496	0.0025
6	E21A051	CG	0.8336	0.0388	0.9231	0.0037	0.7244	0.0105	0.8158	0.0322	0.9282	0.0032	0.8661	0.0109	0.9210	0.0110	0.9555	0.0020	0.8277	0.0134
		LM	0.8848	0.0506	0.9523	0.0024	0.7646	0.0135	0.9129	0.0464	0.9378	0.0033	0.8216	0.0097	0.9804	0.0012	0.9390	0.0031	0.9202	0.0176
7	E21A056	CG	0.7780	0.0382	0.9112	0.0123	0.8824	0.0244	0.8544	0.0419	0.9076	0.0128	0.8600	0.0335	0.8146	0.0325	0.9480	0.0070	0.8879	0.0396
		LM	0.8657	0.0405	0.9183	0.0109	0.8952	0.0363	0.8788	0.0381	0.9205	0.0111	0.8354	0.0476	0.8088	0.0334	0.9700	0.0051	0.8791	0.0068

Çizelge 4.12. (Devamı) Fırat-Dicle havzası YSA analizi sediment tahmini regresyon R ve mse hata değerleri

			MLP						FFBP						RBANN					
Sıra	Station	Learning	train	mse	cv	mse	test	mse	train	mse	cv	mse	test	mse	train	mse	cv	mse	test	mse
8	E21A064	CG	0.6912	0.0137	0.6447	0.0092	0.9113	0.0019	0.6538	0.0090	0.6538	0.0090	0.8805	0.0012	0.6298	0.0158	0.6957	0.0081	0.7828	0.0038
		LM	0.6369	0.0094	0.6369	0.0094	0.9701	0.0055	0.7006	0.0133	0.6713	0.0087	0.8882	0.0028	0.7667	0.0108	0.8261	0.0025	0.8951	0.0077
		LM	0.9386	0.0058	0.9777	0.0003	0.7642	0.0102	0.9677	0.0015	0.9827	0.0003	0.8667	0.0114	0.9769	0.0017	0.9970	0.0002	0.8410	0.0010
9	E21A074	CG	0.8415	0.0092	0.9885	0.0017	0.8560	0.0428	0.9433	0.0026	0.9433	0.0026	0.8623	0.0398	0.8328	0.0076	0.9554	0.0021	0.8989	0.0300
		LM	0.7620	0.0123	0.9268	0.0005	0.8086	0.0511	0.9460	0.0024	0.9460	0.0024	0.8866	0.0383	0.8201	0.0085	0.9471	0.0034	0.8868	0.0333
10	E21A076	CG	0.6560	0.1031	0.6568	0.1031	0.5945	0.1040	0.6771	0.0982	0.6771	0.0982	0.6053	0.0968	0.6481	0.0934	0.6713	0.1002	0.6620	0.0851
		LM	0.6881	0.0978	0.6881	0.0978	0.5198	0.1216	0.6762	0.0984	0.6762	0.0984	0.5975	0.1013	0.6053	0.1019	0.6761	0.0996	0.6263	0.1010
11	E21A077	CG	0.7763	0.0287	0.8573	0.0003	0.8516	0.1713	0.7208	0.0328	0.8276	0.0004	0.8553	0.1843	0.8156	0.0231	0.9220	0.0002	0.8187	0.1877
		LM	0.7285	0.0354	0.9478	0.0002	0.8440	0.2328	0.7818	0.0253	0.8405	0.0002	0.8506	0.1418	0.8962	0.0004	0.8544	0.0002	0.8819	0.0013
12	E21A095	CG	0.6093	0.2204	0.5303	0.2539	0.6192	0.2441	0.5986	0.1908	0.5503	0.2649	0.5279	0.2590	0.7020	0.1490	0.6719	0.2680	0.7276	0.2648
		LM	0.7116	0.1451	0.6773	0.2237	0.6265	0.1969	0.6521	0.1692	0.6985	0.1770	0.6274	0.2930	0.6334	0.1759	0.6744	0.1875	0.6915	0.1891
13	E26A005	CG	0.8265	0.0077	0.9093	0.0015	0.9324	0.0108	0.8757	0.0070	0.9259	0.0012	0.9152	0.0142	0.8870	0.0018	0.8870	0.0018	0.9344	0.0070
		LM	0.8851	0.0070	0.9165	0.0013	0.9334	0.0230	0.8251	0.0072	0.9055	0.0013	0.9403	0.0112	0.9146	0.0014	0.9146	0.0014	0.9595	0.0036
14	E26A006	CG	0.7861	0.0150	0.7611	0.0024	0.6753	0.0017	0.7893	0.0169	0.7337	0.0025	0.6746	0.0014	0.8147	0.0095	0.8543	0.0016	0.8440	0.0040
		LM	0.8261	0.0164	0.7323	0.0025	0.7057	0.0015	0.8359	0.0035	0.7547	0.0025	0.7388	0.0015	0.8201	0.0092	0.7820	0.0022	0.7340	0.0041
15	E26A010	CG	0.7861	0.0235	0.8457	0.0416	0.8678	0.1321	0.8847	0.0078	0.9306	0.9640	0.9505	0.2400	0.8343	0.0119	0.9182	0.3292	0.9683	0.0118
		LM	0.8953	0.0053	0.9121	0.3760	0.9462	0.0604	0.7624	0.0089	0.9728	0.6512	0.9732	0.0521	0.8124	0.0098	0.9348	0.6795	0.9035	0.5458

Çizelge 4.12. (Devamı) Fırat-Dicle havzası YSA analizi sediment tahmini regresyon R ve mse hata değerleri

N o	Station No	Learn ing rule	MLP						FFBP						RBANN					
			train	mse	cv	mse	test	mse	train	mse	cv	mse	test	mse	train	mse	cv	mse	test	mse
16	E26A021	CG	0.690	0.012	0.751	0.000	0.734	0.001	0.703	0.010	0.666	0.000	0.715	0.001	0.881	0.000	0.784	0.000	0.785	0.001
		LM	0.756	0.015	0.772	0.000	0.704	0.001	0.825	0.018	0.764	0.000	0.782	0.001	0.957	0.001	0.810	0.000	0.879	0.001
17	E26A026	CG	0.873	0.012	0.899	0.000	0.754	0.000	0.914	0.003	0.924	0.003	0.832	0.001	0.921	0.000	0.948	0.000	0.909	0.000
		LM	0.894	0.005	0.889	0.000	0.716	0.000	0.921	0.001	0.908	0.000	0.833	0.000	0.891	0.000	0.931	0.000	0.889	0.000
18	E26A027	CG	0.866	0.047	0.920	0.006	0.954	0.121	0.917	0.025	0.975	0.012	0.973	0.056	0.926	0.012	0.944	0.001	0.956	0.049
		LM	0.905	0.047	0.965	0.003	0.950	0.140	0.911	0.032	0.978	0.006	0.963	0.110	0.939	0.017	0.978	0.000	0.928	0.078
19	E26A030	CG	0.814	0.014	0.707	0.000	0.619	0.034	0.866	0.009	0.707	0.000	0.690	0.026	0.756	0.017	0.750	0.000	0.750	0.018
		LM	0.892	0.005	0.872	0.000	0.696	0.025	0.737	0.027	0.796	0.000	0.728	0.048	0.832	0.012	0.731	0.000	0.736	0.030
20	E26A034	CG	0.952	0.009	0.982	0.000	0.820	0.009	0.919	0.005	0.946	0.000	0.821	0.017	0.917	0.006	0.948	0.000	0.939	0.005
		LM	0.938	0.005	0.977	0.000	0.764	0.010	0.967	0.001	0.982	0.000	0.866	0.011	0.976	0.001	0.997	0.000	0.841	0.001

Train = Eğitim,

Cv = Çapraz Doğrulama,

Test = Test Veri Seti

mse = Ortalama Kare Hata

Çizelge 4.13’de ise 20 sediment istasyonuna ait sediment tahmin sonuçlarının SPSS yardımıyla elde edilmiş tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir. Çizelge dikkatli bir şekilde incelenirse deneme, test ve çapraz doğrulama işlemlerinin tümünde ortalama olarak en yüksek ve standart hata olarak da en düşük değerler çoğunlukla RBANN modeli ve LM algoritması ile elde edilmiştir. RBANN ve LM ile deneme, test ve çapraz doğrulama süreçlerinde elde edilen değerler sırasıyla 0.826, 0.816 ve 0.869’dur. Standart hata değerleri ise sırasıyla 0.099, 0.095 ve 0.117’dir

Çizelge 4.13. Sediment tahmin sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri

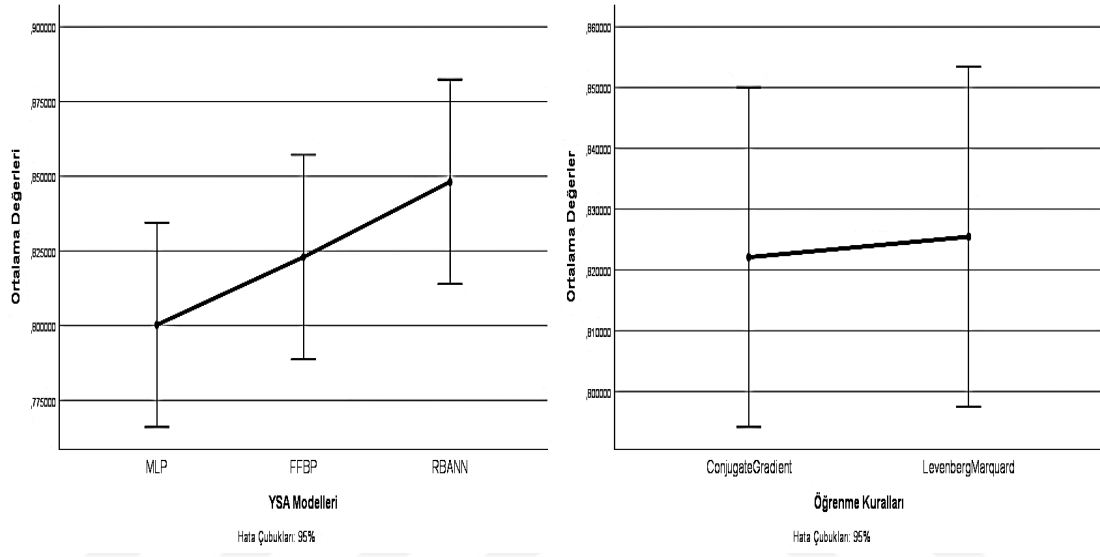
Sediment Tanımlayıcı İstatistikleri				
Denemeler	Öğrenme Kuralı	YSA Modeli	Ortalama	Standart Hata
train	ConjugateGradient	MLP	0,785	0,107
		FFBP	0,783	0,137
		RBANN	0,817	0,095
	LevenbergMarquard	MLP	0,782	0,115
		FFBP	0,825	0,104
		RBANN	0,826	0,099
cv	ConjugateGradient	MLP	0,814	0,133
		FFBP	0,816	0,132
		RBANN	0,858	0,130
	LevenbergMarquard	MLP	0,862	0,126
		FFBP	0,852	0,132
		RBANN	0,869	0,117
test	ConjugateGradient	MLP	0,787	0,125
		FFBP	0,815	0,121
		RBANN	0,816	0,113
	LevenbergMarquard	MLP	0,799	0,124
		FFBP	0,794	0,110
		RBANN	0,816	0,095

Train = Eğitim,

Cv = Çapraz Doğrulama,

Test = Test Veri Seti

Tüm YSA modelleri ve eğitim algoritmaları ile yapılan tahmin sonuçlarına göre elde edilen ortalama değerlere ait grafikler Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekle dikkatlice bakılırsa %95 önem düzeyine göre en düşük sonuçlar MLP modelinde, en yüksek sonuçlar ise RBANN modelinde elde edilmiştir. Benzer şekilde CG algoritmasında LM algoritmasına göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Sonuçta en yüksek değerler RBANN modeli ve LM algoritması ile elde edilmiştir.

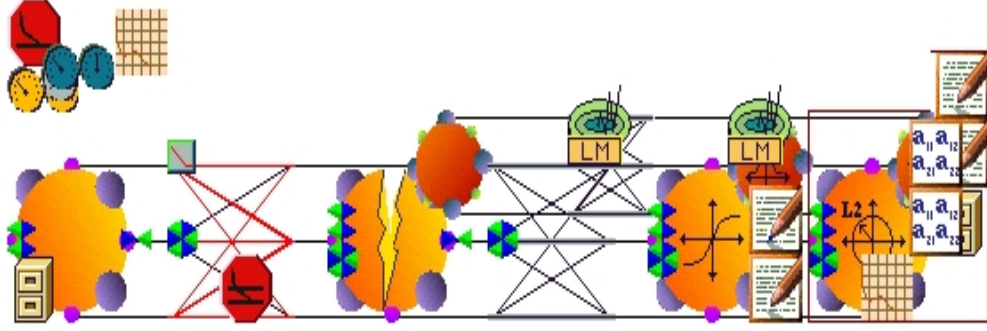


Şekil 4.21. Sediment tahmininde en iyi model olan RBANN ve LM grafikleri

Örnek olması amacıyla en yüksek R değeri ile veri setine sahip olan E21A019 nolu sediment istasyonuna ait RBANN modeli ve LM algoritması ile yapılan sediment eğitim süreci grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi Fırat için yaklaşık 0.0049 ortalama hata ile 80. epoch değerinde eğitim sonlandırılmıştır. RBANN ağınnın model grafiği ise Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.22. E21A019 için RBANN modeli ve LM algoritması ile ağların eğitim süreci



Şekil 4.23. En başarılı RBANN model LM algoritmasının model grafiği

Sediment tahmininde test değeri 0.9969, doğrulama değeri 0.7597 ve eğitim için 0.9472 olarak bulunmuştur.

4.4 Çoklu doğrusal regresyon (MLR) modeli

Akım tahmininde hem YSA modelinde hem de MLR modelinde Fırat ve Dicle nehir kolları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. YSA analizinde MLR modeli 2 defa kullanılmıştır. Bunun birinci amacı, farklı YSA denemeleri sonucu elde edilen değerlerden en yüksek R değerine sahip kombinasyonun belirlenmesidir. Böylece birçok fonksiyon ve algoritma içerisinde en iyisi seçilmiştir. İkinci olarak YSA denemeleri ile elde edilen R değerlerinin MLR ile kıyaslanarak hangi yöntemin daha iyi olduğunun belirlenebilmesidir.

4.4.1.1 MLR yarımıyla akım değerlerinden sediment tahminleri

MLR denemesinde alt model olarak enter modeli, güven aralığı olarak %95 seviyesi tercih edilmiştir. Eldeki sediment ve akım değerlerinden en yüksek veri setine E21A019 (486), en düşük veri setine ise E21A095 (55) numaralı istasyon sahiptir. Ortalama olarak elde edilen veri sayısı değerinden (198) küçük 11 istasyon, büyük 9 istasyon vardır.

Sediment değerlerinin MLR ile tahmini YSA analizinde kullanılan ve deneme, doğrulama ve test olarak bölünmüş her bir örnekleme grubu için ayrı ayrı yapılmıştır. Yani %70 eğitim, %15 test ve %15 doğrulama adımları MLR yardımıyla hesaplanmış ve herbiri için farklı R değeri belirlenmiştir. Amaç aynı örnekler üzerinde yapılan farklı testlerin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesidir. Bu amaçla SPSS yazılımında %95 önem düzeyinde enter yöntemi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.14’de verilmiştir. Çizelgede 20 sediment istasyonu için 3 farklı deneme (deneme, doğrulama, test) ve R ile toplamda 60 deneme yapılmıştır.

Çizelge 4.14. MLR yöntemi ile elde edilen sediment regresyon R değerleri

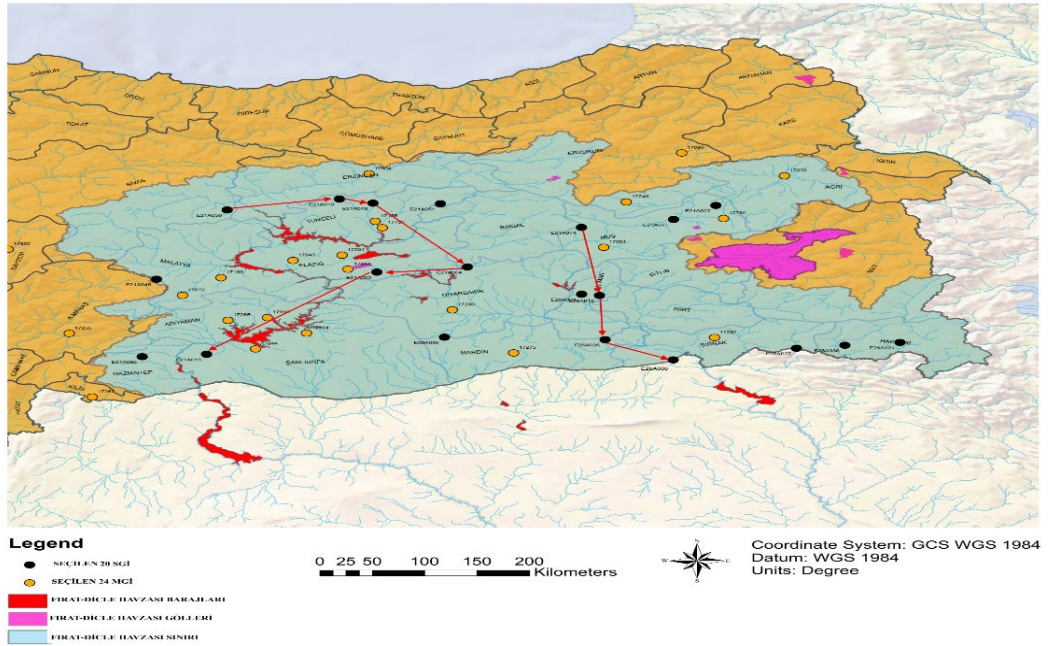
Sıra No	İstasyon No	Eğitim	Doğrulama	Test	Veri Sayısı
1	E21A002	0,823	0,844	0,838	448
2	E21A015	0,848	0,748	0,757	354
3	E21A019	0,879	0,841	0,998	486
4	E21A022	0,839	0,991	0,914	61
5	E21A045	0,807	0,741	0,794	237
6	E21A051	0,770	0,922	0,685	60
7	E21A056	0,719	0,871	0,863	169
8	E21A064	0,678	0,590	0,911	234
9	E21A074	0,775	0,927	0,894	234
10	E21A076	0,684	0,910	0,712	306
11	E21A077	0,723	0,982	0,960	60
12	E21A095	0,819	0,997	0,998	55
13	E26A005	0,590	0,904	0,945	260
14	E26A006	0,846	0,732	0,698	157
15	E26A010	0,616	0,899	0,939	274
16	E26A021	0,633	0,896	0,602	168
17	E26A026	0,788	0,970	0,875	108
18	E26A027	0,898	0,964	0,990	62
19	E26A030	0,845	0,707	0,740	131
20	E26A034	0,872	0,992	0,982	90
	min	0,590	0,590	0,602	55
	max	0,898	0,997	0,998	486
	ort	0,773	0,871	0,855	198

Çizelgede görüldüğü gibi en yüksek test değerine YSA analizinde olduğu gibi en yüksek veri setine sahip olan E21A019 nolu sediment istasyonunda rastlanmıştır. E21A019 için deneme, test ve çapraz doğrulama değerleri sırasıyla 0.879, 0.998 ve 0.841 olarak belirlenmiştir. Deneme sürecinde en yüksek değere 0.898 değeri ile E26A027 istasyonunda, en yüksek çapraz doğrulama değerine ise E21A095 nolu istasyonda rastlanmıştır.

4.4.1.2 MLR yardımıyla akım değerlerinden akım tahminleri

Akım denemeleri Fırat ve Dicle nehirleri için ayrı ayrı yapıp değerlendirilmiştir. Sırasıyla nehir kollarının en üst noktasından aşağıya doğru yığışmalı olarak akım tahmininde bulunulmaya çalışılmıştır. Amaç nehir ana kolları ve yan kollarından aşağı nehir sonlarına doğru herhangi bir değişim olup olmadığının belirlenebilmesidir. Seçimde öncelikle nehir yakınında veya üzerinde olmasının yanında veri sayısı fazla olan istasyonların olmasına dikkat edilmiştir.

Bu şekilde nehirleri en iyi temsil edebilecek Fırat için 6, Dicle için 4 istasyon belirlenmiştir (Şekil 4.24). Seçilen istasyonlar kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Buna bağlı olarak Fırat nehri için 5, Dicle nehri için 3 akım tahmininde bulunulmuştur.



Şekil 4.24. Fırat-Dicle nehirleri için akım tahmini yapılan istasyonlar

Fırat nehri akım tahmininde kullanılan istasyonlar Çizelge 4.15'te, Dicle nehri istasyonları ise Çizelge 4.16'da verilmiştir. Bu amaçla Fırat nehrinde 5 akım tahmini, Dicle nehri için 3 akım tahmininde bulunulmuştur. İstasyon seçiminde havzayı daha iyi bir şekilde temsil etmesi için veri sayısı yetersiz olan istasyonların yerine, veri sayısı daha çok olan istasyonlar seçilmiştir. Tahmin işlemi sırasında herbir istasyona ait meteorolojik değerler de kullanılmıştır.

Çizelge 4.15. Fırat nehir kolları akım tahmininde kullanılan girdi ve çıktılar

Tahmin Edilecek Akım İstasyonu	Kullanılan Girdiler
E21A019	E21A056
E21A076	E21A056
	E21A019
E21A064	E21A056
	E21A019
	E21A076
E21A002	E21A056
	E21A019
	E21A076
	E21A064
E21A015	E21A056
	E21A019
	E21A076
	E21A064
	E21A002

Çizelge 4.16. Dicle nehir kolları akım tahmininde kullanılan girdi ve çıktılar

Tahmin Edilecek Akım İstasyonu	Kullanılan Girdiler
E26A010	E21A074
E26A026	E21A074
	E26A010
E26A006	E21A074
	E26A010
	E26A026

Fırat ve Dicle nehir kolları için MLR analizleri sediment tahminlerine benzer şekilde, SPSS yazılımında %95 önem düzeyinde ve enter yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen regresyon R değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çizelgedeki regresyon değerlerinin büyük bir çoğunluğu 0.75 değerinden daha büyük çıkmıştır. Ancak E21A015 ve E26A010 istasyonlarına test R değerleri diğerlerine oranla daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni veri sayısından ziyade rastgele seçilen eğitim, doğrulama ve test değerlerinin uygun olmamasının olduğu tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.17. Fırat ve Dicle nehirleri MLR ile belirlenen akım tahmini regresyon R değerleri

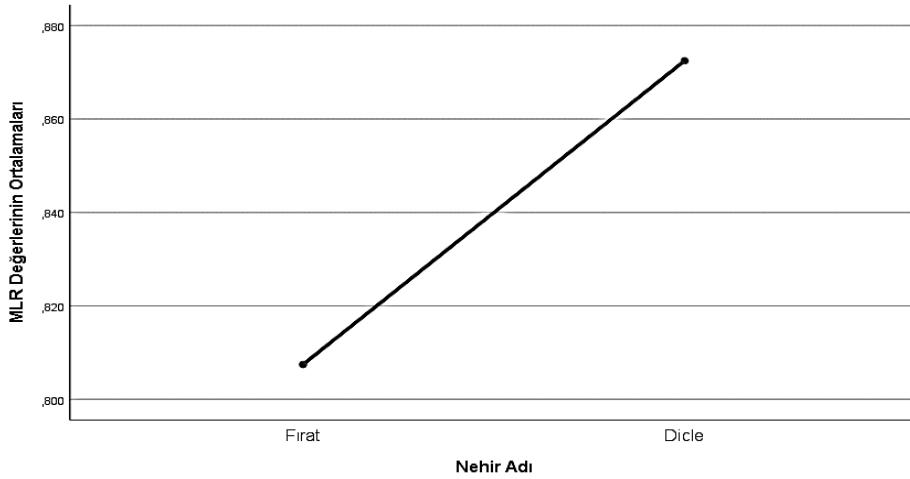
Nehir Adı	İstasyon No	Deneme Türü	MLR Değeri
Fırat	E21A019	train	0,903
		cv	0,911
		test	0,952
	E21A076	train	0,913
		cv	0,860
		test	0,811
	E21A064	train	0,808
		cv	0,712
		test	0,820
	E21A002	train	0,919
		cv	0,952
		test	0,838
Dicle	E21A015	train	0,496
		cv	0,658
		test	0,559
	E26A010	train	0,845
		cv	0,979
		test	0,410
	E26A026	train	0,917
		cv	0,918
		test	0,980
	E26A006	train	0,962
		cv	0,949
		test	0,892

Train = Eğitim,

Cv = Çapraz Doğrulama,

Test = Test Veri Seti

Çoklu doğrusal regresyon tahmin sonuçlarında, nehirlerin regresyon R değerleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla MLR sonuçları SPSS ile ANOVA testine tabi tutulmuştur. Test sonucunda elde edilen ANOVA $P=0.016 < 0.05$ olduğundan, Fırat ve Dicle nehirlerinin MLR test sonucu üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Test sonucu elde edilen ortalama eğri grafiği Şekil 4.25’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi MLR tahmininde Dicle nehrinde Fırat nehrine göre daha yüksek tahmin oranları elde edilmiştir.



Şekil 4.25. Akım tahmininde nehrin MLR tahmini üzerine etkisi

4.5 Modellerin Karşılaştırılması ve Model Performansları

Yapay sinir ağı modellerinden MLP, FFBG ve RBANN ağlarının denenmesi ile elde edilen maksimum, minimum ve ortalama değerleri içeren akım tahmini sonuçları Çizelge 4.18’de, sediment sonuçları ise Çizelge 4.19’da verilmiştir. Veriler değerlendirilirken performansı gösteren ve eğitime dahil edilmeyen test veri sonuçlarına bakılmıştır.

Akım tahmininde test sonuçlarına göre maksimum değere sahip ağ 0.988 R ile RBANN ağı ve LM algoritması ile Dicle nehrinde, FFBG ağlarda 0.802 R ile LM algoritmasında Fırat nehrinde, MLP ağlarda ise 0.798 R ile CG algoritmasında Fırat nehrinde görülmüştür. Yine test verilerinin ortalama değerlerine bakıldığında 0.688 R değeri ile yine RBANN ağı ve LM algoritmasında ve Fırat nehrinde olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde deneme ve çapraz doğrulama verilerinde maksimum ve ortalama değerlerde en iyi tahmin sonuçlarına RBANN ağı ve LM algoritmasında rastlanmıştır.

Çizelge 4.18. Fırat-Dicle YSA ile elde edilen akım regresyon R değerlerinin karşılaştırılması

Nehir Adı	YSA Yönte	Eğitim Algoritma	train			cv			test		
			max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
Fırat	MLP	CG	0,767	0,476	0,630	0,764	0,475	0,644	0,798	0,605	0,656
		LM	0,773	0,505	0,666	0,787	0,469	0,670	0,764	0,519	0,621
	FFBP	CG	0,777	0,477	0,629	0,778	0,497	0,635	0,758	0,562	0,618
		LM	0,787	0,507	0,654	0,773	0,428	0,656	0,802	0,605	0,666
	RBA NN	CG	0,774	0,456	0,643	0,782	0,572	0,671	0,775	0,452	0,634
		LM	0,804	0,517	0,683	0,845	0,533	0,697	0,815	0,522	0,688
Dicle	MLP	CG	0,830	0,390	0,586	0,730	0,210	0,486	0,716	0,200	0,425
		LM	0,833	0,130	0,504	0,725	0,480	0,599	0,716	0,310	0,460
	FFBP	CG	0,844	0,387	0,572	0,724	0,202	0,455	0,715	0,100	0,381
		LM	0,813	0,374	0,581	0,699	0,100	0,468	0,774	0,376	0,512
	RBA NN	CG	0,823	0,459	0,584	0,737	0,487	0,637	0,726	0,277	0,467
		LM	0,932	0,335	0,585	0,953	0,515	0,710	0,988	0,404	0,667

Çizelge 4.19. Fırat-Dicle YSA ile elde edilen sediment regresyon R değerlerinin karşılaştırılması

YSA Yöntemi	Eğitim Algoritması	train			cv			test		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
MLP	CG	0,952	0,609	0,802	0,988	0,530	0,817	0,954	0,594	0,800
	LM	0,940	0,636	0,836	0,977	0,636	0,853	0,982	0,519	0,799
FFBP	CG	0,943	0,598	0,822	0,975	0,550	0,822	0,973	0,527	0,816
	LM	0,967	0,652	0,828	0,982	0,671	0,850	0,973	0,597	0,829
RBANN	CG	0,926	0,629	0,823	0,955	0,671	0,849	0,968	0,662	0,845
	LM	0,980	0,605	0,852	0,997	0,674	0,854	0,996	0,626	0,850

Sediment tahmininde akım tahminine benzer şekilde test sonuçlarına bakıldığında, maksimum değere sahip ağ 0.9969 R değeri ile RBANN ağı ve LM algoritmasında rastlanmıştır. FFBG ağlarda buna en yakın sonuç 0.9735 R değeri ile CG algoritmasıyla, MLP ağına ise 0.9820 R değeri ile LM algoritması ile elde edilmiştir. Test sonuçlarının ortalama değerlerine bakıldığında 0.8507 R değeri ile yine RBANN ağı ve LM algoritmasında olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde deneme ve çapraz doğrulama verilerinde maksimum ve ortalama değerlerde en iyi tahmin sonuçlarına RBANN ağı ve LM algoritmasında rastlanmıştır.

Tüm bu sonuçlara göre en iyi ağ RBANN, en kötü ağ ise MLP olduğu tespit edilmiştir. Memarian ve Balasundram (2012)'in belirttiği gibi RBANN modeli MLP ağ modeline göre bazı durumlarda, özellikle eğitim boyunca, sediment tahmininde bir kademe daha iyi bir sonuç verebilir. Sonuçta her iki YSA modeli de büyük miktarlardaki sediment yüklerinin tahmininde güvenle kullanılabilir. Tahmin yöntemlerinin büyük bir çoğunluğu sediment miktarını doğrudan ölçüm gibi kesin olarak belirlemede yetersiz kalabilmektedir.

Çoklu doğrusal regresyon modelleme tekniği ile akım istasyonları için elde edilen R değerleri Çizelge 4.20'de verilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon yönteminde daha önceden YSA analizinde kullanılan deneme, test ve çapraz doğrulama veri setlerinin aynısı kullanılmıştır. Bu sayede daha doğru bir karşılaştırmada bulunulmuş olunacaktır.

Performans göstergesi olan test sonuçlarına göre en yüksek akım R değeri Dicle nehrinde E26A026 nolu istasyonda 0.980 olarak belirlenmiştir. Fırat nehrindeki 5, dicle nehrindeki 3 tahmin değeri olmak üzere toplamda 8 değer ortalama test R değeri ise 0.862 olarak belirlenmiştir. Genel olarak istasyonların büyük bir çoğunluğunun ortalamanın üstünde veya çok yakın olduğu görülmektedir. En düşük test R değerleri ise Fırat nehrinde E21A015 nolu istasyonda 0.759, Dicle nehrinde E26A010 nolu istasyonda 0.841 olarak belirlenmiştir. En yüksek deneme ve çapraz doğrulama değerlerine Dicle nehrindeki istasyonlarda rastlanmıştır.

Çizelge 4.20. Akım değerlerinin MLR ile elde edilmiş regresyon R değerleri

Nehir Adı	İstasyon Adı	train	cv	test
Fırat	E21A019	0,903	0,911	0,952
	E21A076	0,913	0,860	0,811
	E21A064	0,808	0,712	0,820
	E21A002	0,919	0,952	0,838
	E21A015	0,496	0,658	0,759
Dicle	E26A010	0,845	0,979	0,841
	E26A026	0,917	0,918	0,980
	E26A006	0,962	0,949	0,892
Ortalama		0,845	0,867	0,862
Minimum		0,496	0,658	0,759
Maksimum		0,962	0,979	0,980

Çoklu doğrusal regresyon modelleme tekniği ile sediment istasyonları için elde edilen regresyon R değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Performans göstergesi olan test sonuçlarına göre en yüksek sediment R değeri en yüksek veri setine sahip olan E21A019 nolu istasyonda 0.9980 olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarının ortalama R değeri ise 0.8548 olarak tespit edilmiştir. Toplam 20 sediment istasyonundan yaklaşık 8 tanesinde test sonuçlarında bu ortalama değerinin altında değerler tespit edilmiştir.

Akım tahmini açısından, YSA analizinde en yüksek R değerine eğitim aşamasında 0.9324, test aşamasında 0.9876 ve çapraz doğrulama aşamasında 0.9528 olarak RBANN modeli LM algoritmasında rastlanmıştır. Çoklu doğrusal regresyon modelinde ise en yüksek değerlerin eğitim aşamasında 0.9620, test aşamasında 0.9800 ve çapraz doğrulama aşamasında 0.9790 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta YSA yönteminde MLR yöntemine göre çok az bir farkla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.21. Anlık sediment değerlerinin MLR ile elde edilmiş regresyon R değerleri

Sıra No	İstasyon No	train	cv	test	Veri Sayısı
1	E21A002	0,8230	0,8440	0,8380	448
2	E21A015	0,8480	0,7480	0,7570	354
3	E21A019	0,8790	0,8410	0,9980	486
4	E21A022	0,8390	0,9910	0,9140	61
5	E21A045	0,8070	0,7410	0,7940	237
6	E21A051	0,7700	0,9220	0,6850	60
7	E21A056	0,7190	0,8710	0,8630	169
8	E21A064	0,6780	0,5900	0,9110	234
9	E21A074	0,7750	0,9270	0,8940	234
10	E21A076	0,6840	0,9100	0,7120	306
11	E21A077	0,7230	0,9820	0,9600	60
12	E21A095	0,8190	0,9970	0,9980	55
13	E26A005	0,5900	0,9040	0,9450	260
14	E26A006	0,8460	0,7320	0,6980	157
15	E26A010	0,6160	0,8990	0,9390	274
16	E26A021	0,6330	0,8960	0,6020	168
17	E26A026	0,7880	0,9700	0,8750	108
18	E26A027	0,8980	0,9640	0,9900	62
19	E26A030	0,8450	0,7070	0,7400	131
20	E26A034	0,8720	0,9920	0,9820	90
	min	0,5900	0,590	0,6020	55
	max	0,8980	0,9970	0,9980	486
	ort	0,7726	0,8714	0,8548	198

Sediment tahmini açısından, YSA analizinde en yüksek R değerine deneme aşamasında 0.9804, test aşamasında 0.9969 ve çapraz doğrulama aşamasında 0.9970 olarak RBANN modeli LM algoritmasında rastlanmıştır. Çoklu doğrusal regresyon modelinde ise en yüksek değerlerin deneme aşamasında 0.8980, test aşamasında 0.9980 ve çapraz doğrulama aşamasında 0.9790 olduğu tespit edilmiştir. Akım tahminine benzer şekilde YSA yönteminde MLR yöntemine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tüm YSA denemeleri ve çoklu doğrusal regresyon sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, benzer şekilde en iyi YSA yönteminin RBANN ve LM algoritması olduğu belirlenmiştir. Çoklu doğrusal regresyon yönteminde ise sediment tahmin de akım tahmine oranla bir kademe daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.22. Tüm YSA denemeleri ve MLR sonuçları için elde edilen performans ölçütleri

	Akım			Sediment			Akım MLR	Sediment MLR
	MLP	FFBG	RBANN	MLP	FFBG	RBANN		
eğitim	0.7730	0.7870	0.8040	0.9405	0.9677	0.9804	0.8080	0.7570
çapraz doğrulama	0.7870	0.7730	0.8447	0.9777	0.9827	0.9970	0.7120	0.7480
test	0.7640	0.8020	0.8154	0.9820	0.9732	0.9969	0.8200	0.8480
mse	0.2601	0.2313	0.2018	0.0585	0.0513	0.0385	-	-
rmse	0.5100	0.4839	0.4745	0.2203	0.2266	0.2002	-	-

Sonuç olarak çok katmanlı modellerde, çift katmanlı olanlara göre tek gizli katmanı olan YSA modellerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca YSA model performansında, gizli nöronların sayısının artmasıyla az da olsa bir düşüş yaşanmıştır. Özellikle YSA modellerine bir alternatif olarak denenen çoklu doğrusal regresyon modelinde girdi sayısı arttıkça model performansında da artışlar gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut tez çalışması ile, çoğunlukla Türkiye'nin Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Fırat-Dicle Havzasında taşınan akım ve sediment miktarının doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilebilme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla aylık olarak alınan 20 sediment ölçüm değeri, sediment ölçümleri sırasında alınan anlık akımlar (m^3/sn) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen havzadaki 24 istasyona ait aylık ortalama iklim verileri kullanılmıştır.

Akım tahmininde nehir ana kolları üzerinde ve barajlara yakın yerlerdeki akım ve sediment gözlem istasyonları seçilmeye çalışılmıştır. Ancak veri sayısının yetersiz veya eksik istasyonun bulunmasından dolayı bazı yerlerde ana kollar dışındaki yan kollarda yer alan istasyon verileri de kullanılmıştır.

Akım ve sediment verileri ve ileri beslemeli geri yayımlı YSA (FFBP), çok katmanlı YSA (MLP) ve radyal tabanlı YSA (RBANN) modelleri ile bölgedeki akım ve sediment miktarlarını en iyi şekilde temsil edecek modeller belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak YSA modellerinden elde edilen R değerleri alternatif bir yaklaşım olan çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile elde edilen R değerleri ile kıyaslanmıştır.

İlk olarak elde edilen tüm veriler üzerinde ayrı ayrı temel ve tanımlayıcı istatistiksel testler yapılarak, verilerin denemede kullanılmaya uygun olup olmadığı (normallik testi vb.) araştırılmıştır. Uç değerlerin oranının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla Shapiro-Wilk testleri, çarpıklık ve basıklık katsayıları gibi birçok ölçüt kontrol edilmiştir. Ayrıca histogram ve Q-Q grafikleri ile gerekli kontroller yapılmaya devam edilmiştir. Verilerin büyük bir kısmının normallik testleri veya çarpıklık ve basıklık ölçütlerine göre hesaplamalar sonucu normal dağılım gösterebileceği kanısına varılmıştır (George ve Mallery, 2010).

İkinci olarak, CBS yardımıyla internetten temin edilen bazı altlık haritalar yardımıyla havzanın topoğrafyası belirlenmiştir. Daha sonra verilerin ayrı ayrı haritalanması ile görsel olarak gruplaşmanın veya birikimin olduğu yerler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla geostatistic analyst inverse distance weighting (IDW) yöntemi kullanılmıştır. Böylece havzanın iyi durumda olan, sorun oluşturabilecek veya sorun olmuş bölgelerinin daha hızlı bir şekilde belirlenmesine çalışılmıştır. Tüm istasyonların havzayı gerçekten yansıtır yansıtmadığı kontrol edilmiştir.

Üçüncü olarak, SPSS yazılımında MLR öncesi ve sonrası korelasyon ile regresyon katsayılarının hesaplaması sonucu hangi verilerin birbirleri ile daha iyi bir ilişki içinde olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, çıktı olarak kullanılan sediment miktarını olumlu veya olumsuz yönde arttıran, etkileyen ölçütler tespit edilmeye çalışılmıştır. Hidrolojide genellikle korelasyon katsayısı R 'nin 0.60'tan büyük olması şartı aranmaktadır (Bayazıt, 1999).

Dördüncü olarak, YSA tahmini için LM ve CG eğitim algoritmaları kullanılmıştır (Hagan ve Menhaj, 1994; Adeloye ve Munari, 2006). Eğitim algoritmasının sonlandırma devir sınırı (epoch) 1000 olarak seçilmiştir. Herbir akım ve sediment istasyonu verisi %70'i eğitim ve %15'er de doğrulama ve test için rasgele ayrılmıştır. Eğitim seti, bir dizi farklı YSA modelini eğitmek için kullanılmıştır. Çapraz doğrulama seti, eğitimin ne zaman duracağını (aşırı uydurmayı önlemek için) ve ayrıca hangi ağların en doğru olduğunu belirlemek için kullanılmıştır. Test seti ile eğitime dahil edilmeyen veriler üzerinde tahminler yapılmaya çalışılmıştır. Ayrılan bu setler MLR analizinde de aynen kullanılmıştır. Eğitim algoritmasının hesap kabiliyeti ve hızı düşünülerek yapılan ön denemeler sonucunda akım tahmininde gizli katmanda transfer fonksiyonu olarak Linear Tanh Axon, çıkış katmanında ise Tanh Axon transfer fonksiyonu kullanılmıştır (Alpaydın, 2010). Sediment tahmininde ise transfer fonksiyonu olarak gizli katmanda Linear Sigmoid Axon, çıkış katmanında Bias Axon fonksiyonları seçilmiştir.

Beşinci olarak, tüm bu analizler sonrası MLR modellemesi ve meteorolojik veriler yardımıyla anlık akım ve sediment değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine çalışılmıştır. Elde edilen MLR sonuçları YSA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Daha doğru sonuçlar için eksik veriler tamamlanmadan işlemler yapılmıştır. Alt model olarak enter, güven aralığı olarak %95 seviyesi tercih edilmiştir. Akım tahmini için Fırat nehrinde 6 nehir ile 5 tahmin, Dicle nehri üzerinde 4 istasyon ile 3 akım tahmini yapılmıştır. Nehrin en üst noktasından aşağı doğru ve yığılmalı olacak şekilde tahminler yapılmıştır. Bir önceki değer bir sonraki istasyona girdi olması koşuluyla hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak sediment test değerlerine bakıldığında en yüksek R değeri RBANN ağı LM (0.9969) kombinasyonu ile, akım tahmininde ise sediment tahminine benzer şekilde RBANN ağı ve LM (0.9876) kombinasyonunda elde edilmiştir.

Akım tahmininde tek katmanlı FFBP ağı ile test için en yüksek 0.8020 (E21A064) değeri hesaplanırken, doğrulama seti için 0.8440 (E26A006) gibi yakın bir değer bulunmuştur. CG algoritması ile yapılan denemelerde en yüksek R değerleri eğitim için 0.8440 ile E26A006 nolu istasyonda, doğrulama için 0.7820 ile E21A064 nolu istasyonda ve test seti için 0.7980 ile E21A064 nolu istasyonda olduğu hesaplanmıştır. LM algoritması ile yapılan denemelerde en yüksek R değerleri eğitim için 0.9324, doğrulama için 0.9528 ve test seti için 0.9876 ile aynı E26A0646 nolu istasyonda olduğu hesaplanmıştır. Tek katmanlı MLP için öncelikle ön denemeler yapılmış ve 1 veya 2 katman olmasının sonuçlar üzerinde herhangi bir olumlu etkisinin olup olmadığına istatistiksel olarak bakılmıştır. Sonuçta tek katmanlı ağ seçilmiştir. LM ile en yüksek R değerleri sırasıyla eğitim, doğrulama ve test için 0.9324, 0.9528 ve 0.9876 olarak belirlenmiştir. CG ile en yüksek R değerleri sırasıyla eğitim, doğrulama ve test için 0.8440, 0.7820 ve 0.7980 olarak belirlenmiştir. RBANN için LM ile en yüksek R değerleri sırasıyla eğitim, doğrulama ve test için 0.9324, 0.9528 ve 0.9876 olarak belirlenmiştir. Tüm maksimum değerler E21A064 istasyonunda gözlenmiştir.

Sediment tahminlerinde MLP ağı ve LM algoritması ile en yüksek eğitim, doğrulama ve test R değerleri sırasıyla 0.9405, 0.9777 ve 0.9820 olarak bulunmuştur. CG değerleri ise test dışında biraz daha yüksek 0.9524, 0.9885 ve 0.9546 olarak bulunmuştur. FFBP ağı ve LM algoritması ile en yüksek eğitim, doğrulama ve test R değerleri sırasıyla 0.9677, 0.9827 ve 0.9732 olarak bulunmuştur. CG değerleri ise benzer şekilde 0.9443, 0.9753 ve 0.9735 olarak bulunmuştur. RBANN ağı ve LM algoritması ile en yüksek eğitim, doğrulama ve test R değerleri sırasıyla 0.9804, 0.9970 ve 0.9969 olarak bulunmuştur. CG değerleri ise biraz daha düşük 0.9267, 0.9555 ve 0.9683 olarak bulunmuştur. Tüm algoritmalara bakıldığında en yüksek değerlerin LM algoritması ile bulunduğu görülmüştür.

Genel olarak YSA modelleri çoklu doğrusal regresyon tabanlı modellerden daha iyi performans göstermiştir ve tek gizli katmanlı olan YSA modellerinde, çift gizli katmanlı olanlardan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca YSA model performansında, gizli nöronların sayısının artmasıyla az da olsa bir düşüş yaşanmıştır. Sonuç olarak, YSA yöntemleri sediment tahmininde güvenli bir şekilde kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abu Hassan, Z., 1998. Evaluation of Scour and Deposition in Malaysian Rivers Undergoing Training Works: Case Studies of Pari and Kerayong Rivers. (MSc Thesis). Penang, Universiti Sains Malaysia.
- Ackers, P. ve White, W., 1973. Sediment Transport: New Approach and Analysis. Journal of the Hydraulics Division, 2041-2060.
- Adeloye, A. ve Munari, A., 2006. Artificial Neural Network Based Generalized Storage Yield-Reliability Models Using The Levenberg–Marquardt Algorithm. J. Hydrol., Cilt 362, 215-230.
- Agarwal, A., Mishra, S., Ram, S. ve Singh, J., 2006. Simulation of Runoff and Sediment Yield Using Artificial Neural Networks. Biosystems Engi., 94(4), 597-613.
- Ağırlioğlu, N., 2004. Baraj Planlama ve Tasarımı. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Akal, M., 2003. Öngörü Tekniklerinin Doğruluk Kıyaslaması: Basit Ekonometrik ARMA ve ARMAX Teknikleri. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 22(1), 233-269.
- Akmandor, N., Pazarcı, H. ve Köni, H., 1994. Orta Doğu Ülkelerinde Su Sorunu., Ankara: TESAV Toplumsal, Ekonomik, Siyasal Araştırmalar Vakfı, 100 s. + 4 hrt.
- Ali, A., Al-Ansari, N. ve Knutsson, S., 2012. Morphology of Tigris River within Baghdad City. Hydrol. Earth Syst. Sci., Cilt 16, 1-8.
- Al-Ansari, N., I.E., I., Sherwani, G. ve Knutsson, S., 2013. Sedimentation in the Mosul Reservoir of Northern Iraq. 21(7), J. Environ. Hydrol., 21(7), 1-10.
- Alışık, A., 1995. Sediment Taşınımı ve Ölçüm Metotları. EİE, Hidrolik Etütler Dairesi Sediment Etütleri Şubesi Müd. Yayınları, Ankara.
- Alonso, C., 1980. Selecting a Formula to Estimate Sediment Transport Capacity in Nonvegetated Channels, CREAMS (A Field Scale Model for Chemicals, Runoff And Erosion from Agriculture Management System), ed. W.G. Knisel, U.S. Department of Agriculture.

- Alp, M., 2003. Akarsulardaki Askı Maddesi Miktarının Kara Kutu Modeliyle Belirlenmesi (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Alp, M. ve Cigizoglu, H., 2004. Farklı Yapay Sinir Ağı Metodları ile Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi. 3(1), 80-88.
- Alp, M. ve Cigizoglu, H., 2007. Suspended Sediment Load Simulation by Two Artificial Neural Network Methods Using Hydrometeorological Data. Environmental Modelling ve Software, Cilt 22, 2-13.
- Alpaslan, A.H. ve Harmancıoğlu, N.B., 1997. Akarsu Havzalarının Yönetiminde Yeni Yaklaşımlara Gereksinim. İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Ulusal Su Kaynaklarımız Sempozyumu Tebliğleri, s.17-23, İstanbul.
- Alpaydın, E., 2010. Introduction to Machine Learning. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Amari, S., Murata, N., Müller, K., Finke, M. ve Yang, H., 1997. Asymptotic Statistical Theory of Overtraining and Cross-Validation. IEEE, Transactions on Neural Networks, 8(5), 985-996.
- Anonim, 2008. "Climate Change and International Security", Yüksek Temsilcili'ğin ve Avrupa Komisyonu'nun Avrupa Konseyi'ne sunduğu rapor, Brüksel.
- Anonim, 2017. Türkiye Erozyonla Mücadele Eylem Planı 2013-2017. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Aquastat, F., 2009. Euphrates-Tigris River Basin. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/euphrates-tigris/index.stm> (15.03.2017).
- Araujo, J., Güntner, A. ve Bronstert, A., 2006. Loss of Reservoir Volume by Sediment Deposition and its Impact on Water Availability in Semiarid Brazil. Hydrol Sci. J., 51(1), 157-170.
- Ariffin, J., 2004. Development of Sediment Transport Models for Rivers in Malaysia Using Regression Analysis and Artificial Neural Network. (Ph.D Thesis), University of Science, Penang, Malaysia.

- Ariffin, J., Ahmad-Kamal, N., Sa'adon, M.S., Taib, M.N., Abdul-Talib, S., Ab-Ghani, A., Zakaria, N.A. ve Yahaya, S., 2008. Sediment Model for Natural and Man-Made Channels Using General Regression Neural Network. *The Institution of Engineers*, 69(3), 44-58.
- ASCE, 2000a. Artificial Neural Networks in Hydrology 1 : Preliminary Concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 115-123.
- ASCE, 2000b. Artificial Neural Networks in Hydrology, II : Hydrologic Applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 124-137.
- Atik, K., Deniz, E. ve Yıldız, E., 2007. Meteorolojik Verilerin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(1).
- Atiya, A. ve Shaheen, S., 1999. A Comparison Between Neural-Network Forecasting Techniques Case Study: River Flow Forecasting. *IEEE Transactions On Neural Networks*, Vol. 10, No. 2, 402-409.
- Awan, J. ve Maqbool, O., 2010. Application of Artificial Neural Networks for Monsoon Rainfall Prediction. *6th International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, 27-32.
- Aydın, A. ve Eker, R., 2012. Prediction of Daily Suspended Sediment Load Using Radial Basis Function Neural Networks. *Ormançılık Dergisi*, 8(2), 36-44.
- Baban, S. ve Yusof, K., 2001. Modelling Soil Erosion in Tropical Environments Using Remote Sensing and Geographical Information Systems. *Hydrol Sci. J.*, 46(2), 191-198.
- Bahadır, M., 2011. Güneydoğu Anadolu Proje Alanında Sıcaklık ve Yağışın Trend Analizi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi.*, 4(16, Kış.), 57.
- Barzegari, F., Yosefi, M. ve Talebi, A., 2015. Estimating Suspended Sediment by Artificial Neural Network (ANN), Decision Trees (DT) and Sediment Rating Curve (SRC) Models (Case study: Lorestan Province, Iran). *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 48(2), 373-380.
- Bayazıt, M., 1971. Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., 1998. Hidrolojik Modeller. İ.T.Ü. Rektörlüğü, İstanbul.

- Bayazıt, M., 1999. Hidroloji. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayram, A., Kankal, M. ve Önsoy, H., 2012. Estimation of Suspended Sediment Concentration From Turbidity Measurements Using Artificial Neural Networks. *Environ Monit Assess*, Cilt 184, 4355-4365.
- Beaumont, P., 1992. Ortadoğu'da Sınır Değiştiren Su Sorunları, Bilkent Üniversitesi, 2-3 Eylül, s.12.
- Beaumont, P., 1996. Agricultural and Environmental Changes in the Upper Euphrates Catchment of Turkey and Syria and Their Political and Economic Implications. *Appl Geogr.*, 16(2), 137-157.
- Berkoff, J., 1994. A Strategy for Managing Water in the Middle East and North Africa, The World Bank, Washington, D.C., U.S.A:
- Bilen, Ö., 1997. Turkey and Water Issues in the Middle East. Southeastern Anatolia Project Regional Development Administration, Ankara.
- Bilgiç, E., 2006. Su Sorunu: Fırat, Dicle ve Asi Nehirleri Örnekleri. (Yüksek Lisans Tezi), T.C. Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Ankara.
- Boukhrissa, Z., Khanchou, K., Bissonnais, Y. L. ve Tourki, M., 2013. Prediction of Sediment Load by Sediment Rating Curve and Neural Network (ANN) in El Kebir Catchment. *J. Earth Syst. Sci.*, 122(5), 1303-1312, Algeria.
- Bou-Zeid, E. ve El-Faled, M., 2002. Climate Change and Water Resources in Lebanon and the Middle East. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 345.
- Bozkurt, D. ve Şen, Ö., 2013. Climate Change Impacts in the Euphrates-Tigris Basin Based on Different Model and Scenario Simulations. *Journal of Hydrology*, Cilt 480, 149-161.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U.; Sen, O.L., Onol, B. ve Dalfes, H.N., 2012. Downscaled Simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 Global Models for the Eastern Mediterranean-Black Sea region: Evaluation of the Reference Period, *Clim. Dyn.*, 39, 207-225.

- Bravard, J.-P., Goichot, M. ve Tronchère, H., 2014. An Assessment of Sediment-Transport Processes in the Lower Mekong River Based on Deposit Grain Sizes, The CM Technique and Flow-Energy Data. *Geomorphology*, Cilt 207, 174-189.
- Brichambaut, D. ve Wallen, C., 1963. A study of Agro-Climatology in Semi-Arid and Arid Zones of the Near East, World Meteorological Organization Tech. Note No. 56.
- Broomhead, D. ve Lowe, D., 1988. Multivariable Functional İnterpolation and Adaptive Networks. *Complex System.*, 2(6), 321-355p.
- Burak, S., Duranyıldız, İ. ve Yetiş, Ü., 1997. Ulusal Çevre Eylem Planı: Su Kaynaklarının Yönetimi. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Camenen, B. ve Larson, M., 2004. A General Formula for Non-Cohesive Bed Load Sediment Transport. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Cilt 63, 249-260.
- Chakrapani, G., 2005. Factors Controlling Variations in River Sediment Loads (Review). *Current Science*, Cilt 88, 569-575.
- Chowdary, B., 2007. Back-Propagation Artificial Neural Network Approach for Machining Centre Selection. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(3), 315-332.
- Cigizoglu, H., 2002. Suspended Sediment Estimation and Forecasting Using Artificial Neural Networks. *Turkish J.Eng.Env.*, TUBITAK., 26(1), 15-25.
- Cigizoglu, H., 2005. Application of The Generalized Regression Neural Networks to Intermittent Flow Forecasting and Estimation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(4), 336-341.
- Cigizoglu, H. ve Kisi, O., 2005. Flow Prediction by Three Back Propagation Techniques Using K-Fold Partitioning of Neural Network Training Data. *Nordic Hydrol.*, 36(1), 49-64.
- Cobaner, M., Unal, B. ve Kisi, O., 2009. Suspended Sediment Concentration Estimation by an Adaptive Neuro-Fuzzy and Neural Network Approaches Using Hydro-Meteorological Data. *Journal of Hydrology*, Cilt 367, 52-61.

- Crowder, D., Demissie, M. ve Markus, M., 2007. The Accuracy of Sediment Loads When Log-Transformation Produces Nonlinear Sediment Load-Discharge Relationships. *J. Hydrol*, Cilt 336, 250-268.
- Çakırca, D., 2010. Su Politikaları Bağlamında Fırat-Dicle Havzası'nda Kültürel Mirası Korumanın Koşulları. (Doktora Tezi), T.C. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Edirne.
- Çarkoğlu, A. ve Eder, M., 2001. Domestic Concerns and the Water Conflict over the Euphrates-Tigris River Basin. *Middle Eastern Studies*, 37(1), 41-71.
- Çayiroğlu, İ., 2015. Yapay Sinir Ağları. İleri Algoritma Analizi-5. Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Ders Notları.
- Dadson, S., 2003. Links Between Erosion, Run-Off Variability and Seismicity in the Taiwan Orogen. *Nature*, Cilt 426, 648-651.
- Daggupati, P., Srinivasan, R., Ahmadi, M. ve Verma, D., 2017. Spatial and Temporal Patterns of Precipitation and Stream Flow Variations in Tigris-Euphrates River Basin. *Environ Monit Assess*, 189(50), 1-15.
- Demirpençe, H., 2005. Köprüçay Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya.
- Demuth, R., Beale, M. ve Hagan, . M., 2006. Neural Network Toolbox for use with MATLAB.
- Detienne, K.B., Detienne, D.H. ve Joshi, S.A., 2003. Neural Networks as Statistical Tools for Business Researchers. *Organizational Research Methods*, 6(2), 236-265.
- Dibike, Y. ve Solomatine, D., 2001. River Flow forecasting Using Artificial Neural Networks. *Phys, Chem. Earth (B)*, Issue 26, 1-7.
- Dinar, S., 2003. Geopolitics of Hydropolitics: Negotiations over Water in the Middle East and North Africa.
- DMİ, 2003. Ortalama, Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri. Yazılı Görüşme. Diyarbakır: Devlet Meteoroloji İşleri Diyarbakır Bölge Müdürlüğü.
- Doğan, E., Ateş, A., Yılmaz, E. ve Eren, B., 2008. Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand. *Environmental Progress*, 27(4), 439-446.

- Doğan, E., 2009. Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi. İMO Teknik Dergisi, Cilt 302, 4567-4582.
- DSİ, 2017. Toprak Su Kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> (05.03.2017).
- Du Boys, P., 1879. Le Rho^{ne} et les rivie`res a` lit affouillable. Annales des Ponts et Chaussée's, 18(5), 141-195.
- Dursun, A., 2006. Sınıraşan Sular Fırat ve Dicle Nehirlerinin Türkiye, Suriye ve Irak İlişkileri Üzerine Etkileri. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Isparta.
- EİEİ, 2006. Türkiye Sularında Süspanse Sediment Gözlemleri Yıllığı (1999-2005), EİEİ Matbaası, Ankara.
- Einstein, H., 1950. The Bed-Load Functions for Sediment Transport in Open Channel Flow.
- Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homae, M. ve Pazira, E., 2013. Modeling Sediment Yield Using Artificial Neural Network And Multiple Linear Regression Methods. International Journal of Biosciences, IJB, 3(9), 116-122.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Engelund, F. ve Hansen, E., 1967. A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Copenhagen: Danish Technical (Teknisk Forlag).
- Erkaymaz, H. ve Yaşar, Ö., 2011. Yapay Sinir Ağı İle Hava Sıcaklığı Tahmini. Elazığ, Turkey,
- Erpul, G. ve Saygın, S., 2012. Ülkemizde Toprak Erozyonu Sorunu Üzerine: Ne Yapılmalı?. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, Cilt 1, 26 -32.
- Esenyel, Ö., 2001. Türkiye'nin Su Potansiyeli ve Potansiyelin Kullanılması. Harp Akademileri Basımevi, İstanbul.
- Evans, J., Smith, R. ve Oglesby, R., 2004. Middle East Climate Simulation and Dominant Precipitation Processes. Int. J. Climatol., Cilt 24, 1671-1694.
- Eymen, U.A. 2007. SPSS 15.0 ile Veri Analizi. İstatistik Merkezi Yayınevi. 168 sayfa.

- FAO-Aquamaps, 2009. FAO-Aquamaps.
<http://www.fao.org/nr/water/aquamaps/> (27.04.2017).
- FAO-AQUASTAT, 2011. Maps and Spatial Data.
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/maps/index.stm> (30.05.2017).
- Fausett , L., 1994. Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications. Prentice Hall, New Jersey.
- Fernando, A. ve Jayawardena, A., 1998. Runoff Forecasting Using RBF Networks with OLS Algorithm. Journal of Hydrologic Engineering, Cilt 3, 203-209.
- Fırat, M. ve Güngör, M., 2004. Askı Maddesi Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. İMO Teknik Dergi., 15(3), 3267-3282.
- Fırat, M., 2007. Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Havza Modellemesi. (Doktora Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Fletcher, R., 1987. Practical Methods of Optimization. New York, USA.: Wiley ve Sons Inc.
- Freescall Technology R&D Center, 2005. Neural Network Theory MATLAB7 Realization. House of Electron Industry Press.
- GAP, 2017. GAP Nedir?.
<http://www.gap.gov.tr/gap-nedir-sayfa-1.html> (04.05.2017).
- Garde, R. ve Ranga Raju, K., 1977. Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems. Wiley Eastern, New Delhi.
- George, D. ve Mallery, P., 2010. SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 18.0 update. Prentice Hall.
- Gibbs, R., 1967. The Geochemistry of The Amazon River System. The Factors That Control The Salinity and Composition and Concentration of Suspended Solids. Geol. Soc. Am. Bull., Cilt 78, 1203-1232.
- Gleick, P., 1994. Water, War and Peace in the Middle East. Environment Magazine, Cilt 39, 6-42.

- Gümüş, V., Kavşut, M. ve Yenigün, K., 2010. Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesinde YSA Kullanımının Değerlendirilmesi: Orta Fırat Havzası Uygulaması. Diyarbakır, 1290-1301.
- Gümüş, V. ve Kanşut, M., 2013. Zamanti Nehri-Ergenuşağı İstasyonu Eksik Aylık Akım Verilerinin Tahmini. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji, GU J Sci Part:C, 1(2), 81-91.
- Gümüş, V., Soydan, N.G., Şimşek, O., Aköz, M.S. ve Kırkgöz, M.S., 2013. Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Sinir Ağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 37-49.
- Gündüz, A., 2011. Fırat-Dicle Havzasında Günlük Nehir Akımlarının Farklı Yapay Zekâ Yöntemleri ile Tahmini. (Yüksek Lisans Tezi),: T.C. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Hagan, M. ve Menhaj, M., 1994. Training Feed Forward Networks with the Marquardt Algorithm. IEEE Transactions on Neural Networks, 5(6), 989-993.
- Hamidi, N. ve Kayaalp, N., 2008. Estimation of the Amount of Suspended Sediment in the Tigris River using Artificial Neural Networks. Clean, 36(4), 380-386.
- Haykin, S., 2001. Neural Network: A Comprehensive Foundation. New Jersey. Macmillan College Publishing.
- Holeman, J., 1968. The Sediment Yield of Major Rivers of the World. Water Resources Research, Cilt 4, 737-747.
- Holland, H., 1981. River Transport to the Oceans. In The Sea. The Ocean Lithosphere , Cilt 7, 763-800.
- Hopfield, J., 1982. Neural Networks and Physical Systems With Emergent Collective Computational Abilities. Proc., Nat. Academy of Scientists, Cilt 79, 2554-2558.
- Hu, G. ve Zhang, Q., 2008. Application of Adaptive Variable Structure of ANN to Distributed Rainfall Interpolation. IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application.
- Hwang, G. ve Ding, A., 1997. Prediction Intervals for Artifical Neural Networks. Journal of the American Statistical Association, Cilt 92, 748-757.

- Ibrahim, N., 2002. Assessment and Development of the Equation Transport of Rivers in Malaysia (Penilaian dan Pembangunan Persamaan Pengangkutan Endapan Sungai-Sungai di Malaysia). The final thesis (Tesis akhir) Universiti Sains Malaysia, Penang (Pulau Pinang).
- İlker, A., Köse, M., Ergin, G. ve Terzi, Ö., 2011. An Artificial Neural Networks Approach to Monthly Flow Estimation. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 325-328.
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report on Scientific Aspects of Climate Change for Researchers, Students and Policymakers.
- Issazadeh, L. ve Govay, M., 2014. Reservoir Sediment Prediction in Duhok Dam Using Artificial Neural Network and Conventional Methods. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 4(2), 441-446.
- İşcen, C., Altın, A., Şenoğlu, B. ve Yavuz, H., 2009. Evaluation of Surface Water Quality Characteristics by Using Multivariate Statistical Techniques - A Case Study of The Euphrates River Basin. Environ Monit Assess, Cilt 151, 259-264, Turkey.
- İşık, E. ve İnallı, M., 2011. İklim Sistemlerinin Projelendirilmesini Etkileyen Meteorolojik Verilerin Akıllı Sistemlerle Tahmini ve Örnek Uygulama. İklim 11, 87-94.
- Jain, A., Sudheer, K. ve Srinivasulu, S., 2004. Identification of Physssical Inherent in Artificial Neural Network Rainfall Runoff Models. Hydrological Processes., Cilt 18, 571-581.
- Jain, S., 2001. Development of Integrated Sediment Rating Curves Using ANNs. J. Hydrol. Eng., 127(1), 30-37.
- JICA, 2001. The Study of Water Resources Development in the Western and Central Basins in Syrian Arab Republic (phase I). Unpublished Report, Ministry of Irrigation (in Arabic).
- Kagoda, P., Ndiritu, J., Ntuli, C. ve Mwaka, B., 2010. Application of Radial Basis Function Neural Networks to Short-Term Streamflow Forecasting. Physics and Chemistry of the Earth, Cilt 35, 571-581.

- Kalender, L. ve Uçar, S., 2013. Assessment of Metal Contamination in Sediments in the Tributaries of the Euphrates River, Using Pollution Indices and the Determination of the Pollution Source. *Journal of Geochemical Exploration.*, Cilt 134, 73-84, Turkey.
- Kartalopoulos, S., 1996. *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic : Basic Concepts and Applications*. New York.: IEEE Press.
- Kattan, Z., 2008. Estimation of Evaporation and Irrigation Return Flow in Arid Zones Using Stable İsootope Ratios and Chloride Mass-Balance Analysis: Case of the Euphrates River. *Journal of Arid Environments*, Cilt 72, 730-747, Syria.
- Kavvas, M.L., Chen, Z.Q., Anderson, M.L., Ohara, N., Yoon, J. ve Xiang, Fu., 2011. A Study of Water Balances Over The Tigris-Euphrates Watershed. *Physics and Chemistry of the Earth.*, Cilt 36, 197-203.
- Kaya, İ., 1998. The Euphrates–Tigris Basin: An Overview and Opportunities for Cooperation Under International Law. *Conflict Resolution and Transboundary Water Resources*, Cilt 44.
- Kaya, İ., 2009. *Sınıraşan Sular ve Türkiye*. DSİ Genel Müdürlüğü, İdari ve Mali İşler Dairesi Başkanlığı Matbaası, Ankara.
- Kayaalp, N., 2003. *Dicle Havzasındaki Akarsularda Sediment Taşınımının Matematiksel Modellerle Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), T.C. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anadilim Dalı, Diyarbakır.
- Kendirli, B. ve Benli, B., 2001. Türkiye’de Su Kalitesinin İzleme ve Değerlendirilmesi. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, Issue 331, 14-24.
- Keskin, M. ve Taylan, D., 2009. Artificial Models for Interbasin Flow Prediction in Southern Turkey. *J. Hydrologic Eng.*, 14(7), 752-758.
- Khayyun, A. ve Halihan, T., 2010. Changes in the Salinity of the Euphrates River System in Iraq. *Reg Environ Change*, Cilt 10, 27-35.
- Kıbaroğlu, A., 1998. *International Regimes for Effective and Equitable Management and Use of Water Resources: Implications for The Euphrates-Tigris River Basin*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Bilkent Üniversitesi Uluslararası İlişkiler Bölümü, Ankara.

- Kıbaroglu, A. ve Unver, O., 2000. An Institutional Framework for Facilitating Cooperation in the Euphrates-Tigris River Basin. *Int Negot J Theory Pract* 5(2):312.
- Kıbaroglu, A. ve Maden, T., 2014. An Analysis of the Causes of Water Crisis in the Euphrates-Tigris River Basin. *J Environ Study Sci.*, Cilt 4, 347-353.
- Kıran, A., 2005. Ortadoğu'da Su: Bir Çatışma ya da Uzlaşma Alanı. Kitap Yayınevi, İstanbul.
- Kişi, Ö., Yüksel, İ. ve Doğan, E., 2008. Modelling Daily Suspended Sediment of Rivers in Turkey Using Several Data-Driven Techniques. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 53(6), 1270-1285.
- Kişi, Ö. ve Afşar, S., 2010. Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Yapay Sinir Ağı Yöntemleri Kullanılarak Tava Buharlaştırma Tahmini. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 45-51.
- Kolars, . J. ve Mitchell, W., 1991. The Euphrates River and the Southeast Anatolia Development Project. Southern Illinois University Press, Carbondale.
- Kolars, 1992. Ortadoğu'da Su Kaynakları. *Canadian Journal of Development Studies*, Special Issues, s.108.
- Kolars, J.F., 1994. Problems of International River Management: The Case of the Euphrates. In: Biswas, A.K. (ed.): *International Water of the Middle East: From Euphrates-Tigris to Nile*, 44, Oxford University Press, Bombay.
- Kolman, A. ve Şen, A., 2002. Dünyada Su Kaynaklarının Paylaşımı Konusunda Yaşanan Başlıca Sorunlar. *Avrasya Stratejik Araştırmalar Merkezi Yayınları*, Ankara.
- Kona, G. G., 2004. Ortadoğu'da Güvenlik Algılaması ve Dahili Risk Faktörlerinin Etkisi. *Akdeniz Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 122.
- Korucu, T., Kirişçi, V. ve Görücü, S., 1998. Korunmalı Toprak İşleme ve Türkiye'deki Uygulamaları. *Conservation Tillage and Its Application in Turkey*. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi, 17-18 Eylül, 321-333, Tekirdağ.

- Köse, M., Terzi, Ö., İlker, A. ve Ergin, G., 2011. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi İle Kızılırmak Nehri'nin Akım Tahmini. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs, Elazığ, Turkey.
- Kutan, R., 1996. Water Disputes in Middle-Eastern Countries. 33-49.
- Kuzum, L., 2001. GAP'da Su ve Toprak Kaynakları Gelişimi. Meteoroloji Mühendisleri Odası Yayın Organı, Issue 1, 23.
- Laursen, E., 1958. The Total Sediment Load of Streams. Journal of the Hydraulics Division, 1-36.
- Lee, C. ve Lin, C., 1991. Neural-Network-Base Fuzzy Logic Control and Decision System. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, December, 40(12), 1320-1336.
- Lin, Gwo-Fong. ve Chen, Lu-Hsien., 2004. A Non-Linear Rainfall-Runoff Model Using Radial Basis Function Network. Journal of Hydrology, Issue 289, Issues 1-4, 1-8
- Lippmann, R., 1987. An Introduction to Computing With Neural Nets. IEEE ASSP Magazine, April, Cilt 4, 4-22.
- Luk, K., Ball, J. ve Sharma, A., 2001. An Application of Artificial Neural Networks for Rainfall Forecasting. Math. and Computer Modeling., Issue 33, 883-699.
- Luo, X., Xu, Y. ve Xu, J., 2010. Application of Radial Basis Function Network for Spatial Precipitation Interpolation. IEEE, 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China.
- Mandic, D.P. ve Chambers, J.A., 2001. Recurrent Neural Networks for Prediction - Learning Algorithms Architectures and Stability, 308s.
- Marquardt, D., 1963. An Algorithm for Least Squares Estimation of Non-Linear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11(2), 431-441.
- Master, T., 1993. Practical Neural Networks Recipes in C ++. Academic Press, Inc., San Diego, CA.
- McCulloch, W. ve Pitts, W., 1943. A Logic Calculus of The Ideas Immanent in Nervous Activity. Bulletin of Math. Biophys, Cilt 5, 115-133.

- McLennan, S., 1993. Weathering and Global Denudation. *The Journal of Geology*, 101(2), 295-303.
- Melesse, A.M., Ahmad, S., McClain, M.E., Wang, X. ve Lim, Y.H., 2011. Suspended Sediment Load Prediction of River Systems: An Artificial Neural Network Approach. *Agricultural Water Management*, Cilt 98, 855-866.
- Memarian, H. ve Balasundram, S., 2012. Comparison Between Multi-Layer Perceptron and Radial Basis Function Networks for Sediment Load Estimation in a Tropical Watershed. *Journal of Water Resource and Protection*, Cilt 4, 870-876.
- MFA and MI, 1999. *The Division of Waters in the International Law: Facts on the Joint Waters with Turkey*, Baghdad, Iraq.
- Milliman, J. ve Syvitski, S., 1992. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *J. Geol.*, Cilt 100, 525-544.
- Ministry of Foreign Affairs., 1996. *Water Issues Between Turkey, Syria and Iraq*, Ministry of Foreign Affairs, Ankara.
- Mohammadi, S. ve Siosemarde, M., 2016. Application of Artificial Neural Networks in Order to Predict Mahabad River Discharge. *Open Journal of Ecology*, Cilt 6, 427-434.
- Molinas, A. ve Wu, B., 2001. Transport of Sediment in Large Sand-Bed Rivers. *Journal of Hydraulic Research*, 39(2), 135-146.
- Moller, M., 1993. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning. *Neural Network*, 6(4), 525-533.
- Montazer, G., Moshfeghi, M. ve Ghodsian, M., 2003. Estimation of Sediment in Bazoft River Using Artificial Neural Network. 6th International Seminar of River Engineering, 1-8, Ahvaz, Iran.
- Morris, G. ve Fan, J., 1998. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use*. McGraw-Hill Press, New York.
- Mustafa, M., Rezaur, R., Saiedi, S. ve Isa, M., 2012. River Suspended Sediment Prediction Using Various Multilayer Perceptron Neural Network Training

- Algorithms - A Case Study in Malaysia. Water Resource Management, Cilt 26, 1879-1897.
- Müftüoğlu, R. F., 1980. Akarsu Yapıları, Cilt 1, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Nagy, H., Watanabe, K. ve Hirano, M., 2002. Prediction of Sediment Load Concentration in Rivers Using Artificial Neural Network Model. Journal of Hydr. Eng., Issue 128, 588-595.
- NASA, 2013. Satallites Find Freshwater Losses in Middle East. http://www.nasa.gov/mission_pages/Grace/news/grace20130212.html (16.03.2017).
- Nicoll, K., 2009. Landscape Development Within a Young Collision Zone: Implications For Post-Tethyan Evolution of The Upper Tigris River System in Southeastern Turkey. Int. Geol., 1-19.
- Odemis, B., Sangun, M. ve Evrendilek, F., 2010. Quantifying Long-Term Changes in Water Quality and Quantity of Euphrates and Tigris Rivers, Turkey. Environ. Monit. Assess., Cilt 170, 475-490.
- Okkan, U. ve Dalkılıç, H., 2012. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları ile Kemer Barajı Aylık Akımlarının Modellenmesi. İMO Teknik Dergi, Yazı 379, 5957-5966.
- Okkan, U. ve Mollamahmutoğlu, A., 2010. Yiğitler Çayı Günlük Akımlarının Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Analizi ile Modellenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı:23, ISSN - 1302 - 3055, 33-48.
- Öner, M., 1995. Karar Destek Sistemleri ve Bir Uygulama. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Önol, B. ve Semazzi, F., 2009. Regionalization of Climate Change Simulations Over Eastern Mediterranean. J. Climatol., Cilt 22, 1944-1961.
- Özaydın, Ö., 2009. Porsuk Barajı Su Seviyesinin Öngörülerinin Elde Edilmesinde YSA ve ARMAX Modellerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi. (Doktora Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Eskişehir.

- Özdemir, Y., Öziş, Ü., Baran, T., Demirci, N., Fıstıkoğlu, O. ve Çanga, R., 2002. Fırat-Dicle Havzasının Türkiye, Suriye, Irak ve İran'daki Su Potansiyeli. TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, 420-421-422 / 4-5-6(2), 27-34.
- Özdemir, Y., Öziş, Ü., Baran, T., Fıstıkoğlu, O. ve Demirci, N., 2006. Sınır-Aşan Fırat-Dicle Havzasının Su Potansiyeli ve Yararlanılması. Ankara, TMMOB, 506-516.
- Özdoğan, M., 2004. Uygarlığı Yaratan ve Yok Eden Nehir: Fırat. Atlas Dergisi, Issue 132, 19.
- Öziş, Ü., Baran, T., Durnabaş, İ. ve Özdemir, Y., 1997. Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli. Ankara, Meteoroloji Mühendisliği, 40-45.
- Özkaya, M., Seçkin, İ. ve Yıldız, M., 2006. EİE'de Göl Gözlemleri. II. Ulusal Limnoloji Çalıştayı, 6-8 Eylül, Sinop.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 232s, İstanbul.
- Öztürk, F., Apaydın, H. ve Walling, D., 2001. Suspended Sediment Loads Through Flood Events for Streams of Sakarya Basin. Turk J. Engin. Environ. Sci. TUBITAK, 25(643-650).
- Pandey, A., Chowdary, V., Mal, B. ve Billib, M., 2008. Runoff and Sediment Yield Modeling From a Small Agricultural Watershed in India Using the WEPP Model. J. Hydrol., 348(3), 305-319.
- Panu, U., Khalil, M. ve Elshorbagy, A., 2001. Artificial Neural Networks in Hydrology. World Meteorological Organization Bulletin, 50(3), 235-258.
- Paredes, V. ve Vidal, E., 2000. A Class-Dependent Weighted Dissimilarity Measure for Nearest Neighbor Classification Problems. Pattern Recogn Lett., Cilt 21, 1027-1036.
- Park, J. ve Sandberg, I., 1993. Universal Approximations Using Radial Basis Function Networks. Neural Computation, 3(2), 246-257.
- Partal, T., Cigizoglu, H. ve Kahya, E., 2007. Yağış Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Dalgacık Dönüşümünün Birlikte Uygulanması. V. Ulusal Hidroloji Kongresi ODTÜ, 5-7 Eylül, Ankara.

- Partal, T., Kahya, E. ve Cigizoglu, H., 2008. Yağış Verilerinin Yapay Sinir Ağları ve Dalgacık Dönüşümü Yöntemleri ile Tahmini. İTÜ Dergisi/d Mühendislik Cilt:7, Sayı:3, 73-85.
- Pazarcı, H., 1996. Uluslararası Hukuk Dersleri II. Turhan Kitabevi, Ankara.
- Pegram, G. ve James, G., 1972. Multilag Multivariate Autoregressive Model for the Generation of Operational Hydrology. Water Resources Research, Cilt 8, 1074-1076.
- Phien, H., 1981. Reservoir Sedimentation with Correlated Inflows. Journal of Hydrology, Cilt 53, 327-341.
- Phuphong, S. ve Surussavadee, C., 2013. An Artificial Neural Network Based Runoff Forecasting Model in the Absence of Precipitation Data: A Case Study of Khlong U-Tapao River Basin Songkhla Province. 4th International Conference on Intelligent Systems, Modeling and Simulation, 73-77, Thailand.
- Poggio, T. ve Girosi, F., 1990. Regularization Algorithms for Learning That are Equivalent to Multilayer Networks. Science, Cilt 2247, 978-982.
- Ponikarov, V., 1967. The Geology of Syria, Explanatory Notes on the Map of Syria, Scale 1:500 000, Part II, Mineral Deposits and Underground Water Resources. Moscow: Technoexport.
- Raghuwanshi, N., Singh, R. ve Reddy, L., 2006. Runoff and Sediment Yield Modeling Using Artificial Neural Networks: Upper Siwane River. Journal of Hydrologic Engineering, 11(1), 71-79, India
- Rajaei, T., Mirbagheri, S., Zounemat-Kermani, M. ve Nourani, V., 2009. Daily Suspended Sediment Concentration Simulation Using ANN and Neuro-Fuzzy Models. Science of the Total Environment, Cilt 407, 4916-4927
- Rani, S. ve Parekh, F., 2012. Application of Artificial Neural Network (ANN) for Reservoir Water Level Forecasting. International Journal of Science and Research (IJSR), 3(7), 1077-1082.
- Redha, M., 2009. A Numerical Method to Index Risk of Conflict Around the Transboundary Water Resources: Validation by a Case Study. Water Resource, Cilt 36, 731-742.

- Ripley, B., 1994. Neural Networks and Related Methods of Classification. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 56(3), 409-456.
- Rosegrant, M.W., Cai, X. ve Cline, S.A., 2002. Global Water Outlook to 2025-Averting and Implementing Crisis. Food Policy Report, International Food Policy Research.
- Rumelhart, D. ve McClelland, J., 1986. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. MA: MIT Press, Cambridge.
- Sajadi, S. ve Ramu., 2016. A Comparison Study on Artificial Neural Network and Sediment Rating Curve Modeling for Suspended Sediment Estimation (Case Study: Lokapavani River Basin). *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 13(4), 50-56.
- Saplıoğlu, K., 2010. Parametrik Havza Modellemesi ile Akım Tahmini; Köprüçay Nehri Havzası. (Doktora Tezi), T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Sarangi, A. ve Bhattacharya, A., 2005. Comparison of Artificial Neural Network and Regression Models for Sediment Loss Prediction From Banha Watershed in India. *Agricultural Water Management*, Issue 78, 195-208.
- Sattari, M., Fard, A., Docherkhesaz, M. ve Öztürk, F., 2007. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Savalan Sulama Rezervuarının Simülasyonu. 13(4), 337-345.
- Scheumann, W., 1993. New Irrigation Scheme in Southeast Anatolia and in Northern Syria: More Competition and Conflict over the Euphrates. *Q J Int Agric.*, 32(3), 240-259.
- Sedaei, N. ve Shahedi, K., 2012. Comparison of Empirical Methods and Neural Network Technique in Predication of Suspended Sediment: A Case Study of Armand River, Karoon Basin. *Agricultural Engineering Research Journal*, 2(3), 43-54, Iran.
- Sen, O., Unal, A., Bozkurt, D. ve Kindap, T., 2011. Temporal Changes in the Euphrates and Tigris Discharges and Teleconnections. *Environ. Res. Lett.* 6, 1-9.
- Sensoy, A., Şorman, A. ve Şorman, A., 2012. Comment on Catchment Flow Estimation Using Artifical Neural Networks in the Mountainous Euphrates Basin. *Journal of Hydrology*, Cilt 454-455, 208-210.

- Shabani, M. ve Shabani, N., 2012. Estimation of Daily Suspended Sediment Yield Using Artificial Neural Network and Sediment Rating Curve in Kharestan Watershed, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(12), 157-164, Iran.
- Shahin, M., 1989. Review and Assessment of Water Resources in the Arab Region. Water International, 14(4), 206-219.
- Singh, K., Basant, A., Malik, A. ve Jain, G., 2009. Artificial Neural Network Modeling of the River Water Quality - A Case Study. Ecological Modeling, 220(6), 888-895.
- Singh, A., Imtiyaz, M., Isaac, R. ve Denis, D., 2013. Comparison of Artificial Neural Network Models for Sediment Yield Prediction at Single Gauging Station of Watershed in Eastern India. J. Hydrol. Eng., Cilt 18, 115-120.
- Smith, R., 1981. A Kinematic Model for Surface Mine Sediment Yield. Transactions of the ASAE, 24(6), 1508-1514.
- Srinivasulu, S. ve Jain, A., 2006. A Comparative Analysis of Training Methods for Artificial Neural Network Rainfall-Runoff Models. Applied Soft Computing, Cilt 6, 295-306.
- Starr, J. ve Stoll, D., 1988. The Politics of Scarcity: Water in the Middle East. Boulder, Westview, 198p.
- Sultan, M., Becker, R., Al-Dousari, A., Al-Ghadban, A.N., ve Bufano, E., 2003. Water, Agriculture, and Land Cover: Lessons for the Postwar Era. http://www.geotimes.org/oct03/feature_water.html (24 Nisan 2017).
- Syvitski, J., 2003. Supply and Flux of Sediment along Hydrological Pathways: Research for the 21st Century. Global Planet. Change, Cilt 39, 1-11.
- Şahin, Ş., 2012. Büyük Menderes Nehri Üzerindeki Akım Gözlem İstasyonlarında Eksik Verilerinin Tamamlanması. (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı, Denizli.
- Şarlak, N. ve Karagöz, İ., 2011. Su Veri Yayınlama Sistemleri - Türkiye’de Durum Değerlendirilmesi. Diyarbakır, II. Su Yapıları Sempozyumu, 16-18 Eylül, 105-114.

- Tayfur, G. ve Guldal, V., 2006. Artificial Neural Networks for Estimating Daily Total Suspended Sediment in Natural Streams. *Nord. Hydrol.*, 37(1), 69-79.
- Tebelkis, J., 1995. Speech Recognition Using Neural Networks. (Ph.D. Thesis), Carnegie Mellon University, Pennsylvania.
- Terzi, Ö. ve Baykal, T., 2012. Akarsulardaki Katı Madde Miktarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini: Kızılırmak Nehri Örneği. *SDU International Technologic Science* Vol. 4, No 3, 8-14.
- Terzi, Ö. ve Köse, M., 2012. Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Göksu Nehri'nin Akım Tahmini. *SDU International Technologic Science*, Vol. 4, No 3, December, 1-7.
- Terzi, Ö. ve Önal, S., 2012. Application of Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression to Forecast Monthly River Flow in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 7(8), 1317-1323.
- Tfwala, S. ve Wang, Y.-M., 2016. Estimating Sediment Discharge Using Sediment Rating Curves and Artificial Neural Networks in the Shiwen River, *Journal of Water*, 8(2), 1-15, Taiwan.
- Tilahun, K., 2006. The Characterisation of Rainfall in the Arid and Semi-Arid Regions of Ethiopia. *Water SA*, 32(3), 429-436.
- Tingsanchali, T. ve Lal, N., 1992. A Combined Deterministic-Stochastic Model of Daily Sediment Concentrations in a River, *Proceedings 6th IAHR International Symposium Stochastic Hydraulics*, 221-228, Taipei.
- Tiryaki, O., 1994. Sınırsan Sular ve Ortadoğu'da Su Sorunu, Harp Akademileri Komutanlığı Yayınları, İstanbul.
- Tokar, A. ve Johnson, P., 1999. Rainfall-Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 232-239.
- Turan, İ., 1993. Turkey and the Middle East: Problems and Solutions. *Water International*, 18(1), 23-29.
- Turan, M. ve Yurdusev, M., 2009. River Flow Estimation From Upstream Flow Records by Artificial Intelligence Methods. *J. Hydrol.*, 71-77.
- Uluatam, Ö., 2004. Damlaya Damlaya [Ortadoğu'nun Su Sorunu] İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.

- Ulukaya, O., 2011. Yağış-Akış Bağıntıları ve Yapay Zeka Teknikleri İle Modellenmesi. (Doktora Tezi), T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- UNDG, 2005. The National Water Master Plan – Phase 1 Water Resources Assessment, 26p.
- UNEP, 2001. The Mesopotamian Marshlands: Demise of an Ecosystem, Early Warning and Assessment Technical Report, UNEP/DEWA/TR.01–3 (Geneva: UNEP).
- UN-ESCWA ve BGR, 2013. (United Nations Economic and Social Commission for Western Asia; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), Inventory of Shared Water Resources in Western Asia, Beirut.
- USDA-NRCS, 1998. Soil map and soil climate map.
- Uslu, H. ve İçağa, Y., 2010. Yapay Sinir Ağları ile Akarçay Akımının Modellemesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 2, 31-41.
- Ülke, A., 2010. Ege Bölgesi Doğal Akarsularında Katı Madde Taşınımı için Ampirik, Regresyon ve Yapay Zeka Yöntemlerinin Uygulanması. (Doktora Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Verleysen, M. ve Hlavackova, K., 1994. An Optimized RBF Network for Approximation of Functions, Proceedings European Symposium on Artificial Neural Networks, 175-180, Brussels, Belgium.
- Vudhivanich, V., Thongpumnak, S., Cherdchanpipat, N., Rittima, A. ve Nattaphun K., 2006. Application of Artificial Neural Networks for Reservoir Inflow Forecasting. Kasetsart J. (Nat. Sci.), Cilt 40, 247-259.
- Wang, D. ve Ding, J., 2003. Wavelet Network Model and its Application to the Prediction of Hydrology. Nature and Science, Issue 1, 67-71.
- Wang, G., Yadong, M., Rui, S. ve Jiangang, Q., 2011. Applying Radial Basis Function (RBF) Neural Network to Predict the Sediment Deposited From Check Dam, IEEE - 3rd International Conference on Computer Research and Development (ICCRD), Shanghai, China.
- Wang, L. ve Wu, J., 2012. Application of Hybrid RBF Neural Network Ensemble Model Based on Wavelet Support Vector Machine Regression in Rainfall Time Series

- Forecasting. 5th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 867-871.
- Werbos, P., 1974. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. (Ph.D. Thesis), Harvard University, Cambridge.
- Wicks, J., 1988. Physically-Based Mathematical Modelling of Catchment Sediment Yield. University of Newcastle Upon Tyne. (Ph.D. Thesis), Department of Civil Engineering.
- Wischmeier, H. ve Smith, D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook no. 537, USDA Science and Education Administration.
- WorldClim, 2011. Global Climate Data,
- Wu, W., Wang, S. ve Jia, Y., 2000. Non-Uniform Sediment Transport in Alluvial Rivers. Journal of Hydraulic Engineering, 38(6), 427-444.
- Wu, J., Han, M., Annambhotla, J. ve Bryant, S., 2005. Artificial Neural Networks for Forecasting Watershed Runoff and Stream Flows. Journal of Hydrologic Engineering, Cilt 10, 216-222.
- Yahaya, N., 1999. Development of Sediment Rating Curves for Rivers in Malaysia: Case Studies of Pari, Kerayong and Kulim Rivers. (MSc Thesis), Penang, Universiti Sains Malaysia.
- Yan, J., Cao, H., Wang, J., Liu, Y. ve Zhao, H., 2009. RBF Model Applied to Forecast the Water and Sediment Fluxes in Lijin Section. Image and Signal Processing, CISP '09. 2nd International Congress, IEEE, 4244-4131.
- Yan, X. ve Gang-Su, X., 2009. Linear Regression Analysis - Theory and Computing. World Scientific Publishing Company.
- Yanmaz, M., 1997. Applied Water Resources Engineering, METU Press, Ankara.
- Yaşar, M., 2009. Akım Sürek Eğrilerinin Yağış ve Havza Parametreleri Kullanılarak Elde Edilmesi. (Doktora Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- YEGM, 2017. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (07 Mart 2017)

- Yenigün, K., Bilgehan, M., Gerger, R. ve Mutlu, M., 2010. A Comparative Study on Prediction of Sediment Yield in The Euphrates Basin. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(5), 518-534.
- Yıldırım, D., Cemek, B., Küçüktopçu, E. 2019. Bulanık Yapay Sinir Ağları ve Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları ile Günlük Buharlaşma Tahmini. *Toprak Su Dergisi*, 2019, Özel Sayı: (24-31) Araştırma Makalesi.
- Yıldız, D. ve Güneş, M., 2016. Comparison of the Long Term Natural Streamflows Trend of the Upper Tigris River. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2(8).
- Yılmaz, A., Imteaz, M. ve Jenkins, G., 2011. Catchment Flow Estimation Using Artificial Neural Networks in the Mountainous Euphrates Basin. *Journal of Hydrology*, Cilt 410, 134-140.
- Yoffe, S., Wolf, A. ve Giordano, M., 2003. Conflict and Cooperation Over International Freshwater Resources: Indicators of Basins at Risk. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 10, 1109-1126.
- Yürekli, K., 1999. Kelkit Çayı Aylık Akımları Değişimi. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 16, 183-191.
- Yürekli, K., Simsek, H., Cemek, B. ve Karaman, S., 2007. Simulating Climatic Variables by Using Stochastic Approach. *Building and Environment*, Cilt 42, 3493-3499.
- Yürekli, K., 2015. Impact of Climate Variability on Precipitation in the Upper Euphrates-Tigris Rivers Basin of Southeast Turkey. *Atmospheric Research*, Cilt 154, 25-38.
- Zhang, G., Patuwo, B. ve HU, Y., 1998. Forecasting with Artificial Neural Networks. *International Journal of Forecasting*, Cilt 14, 35-62.
- Zhang, Q., 1998. Using Wavelet Network in Nonparametric Estimation. 8(2), 227-236.
- Zhang, Y.-N. ve Peng, H.-F., 2007. Zhang Neural Network for Linear Time-Varying Equation Solving and Its Robotic Application. *Proceedings of the 6th International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 3543-3548.
- Zhu, Y., Lu, X. ve Zhou, Y., 2007. Suspended Sediment Flux Modeling with Artificial Neural Network: An Example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment. *Geomorphology*, Cilt 84, 111-125.

7. ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk KARACA

Doğum Tarihi: 1979

Doğum Yeri: Yüreğir/ADANA

Lisans: Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü,
(Mezuniyet Yılı: 2004)

Yüksek Lisans: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Tarımsal yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (Mezuniyet Yılı: 2010)