

**YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNİN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE
MODELLENMESİ**

YUNUS YAMAN

OCAK 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNİN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE
MODELLENMESİ**



YUNUS YAMAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

OCAK 2022

DİYARBAKIR

YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNİN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ

Yunus YAMAN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

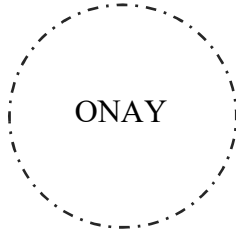
Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Doç. Dr. Nizamettin HAMİDİ (*)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN (**)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis Eren Üniversitesi



Savunma Tarihi: 31 / 01 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.

(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Yunus YAMAN

İmza:

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her zaman yanımda olan ailem ve arkadaşlarıma; ilgi ve desteğini esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam Prof. Dr. Fevzi Önen'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Yağış – Akış İlişkisi ve Akış Tahmininin Önemi	1
1.2 Akarsu Havzası Kavramı ve Özellikleri	2
1.3 Yağış – Akış Modelleri	4
1.3.1 Parametrik modeller	4
1.3.1.1 Basit parametrik modeller.....	5
1.3.1.2 Parametrik sürekli benzeşim modelleri.....	5
1.3.2 Klasik karakutu modeller	6
1.3.2.1 Birim hidrograf modeli (Lineer)	6
1.3.2.2 Nonlineer modeller	7
1.3.3 Yapay zeka yöntemleri.....	7
1.4 Tezin Amacı ve Kapsamı	8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1 Çalışma Alanı.....	13
3.2 Havzanın Sayısal Yükseklik Modelinin Elde Edilmesi	14
3.3 Uydu Kaynaklı Yağış Verilerinin Elde Edilmesi.....	17
3.4 Akım Verileri	20

3.5	Çoklu Doğrusal Regresyon	22
3.6	Yapay Zeka Yöntemleri	22
3.6.1	YSA.....	22
3.6.1.1	YSA'nın öğrenme mekanizması.....	23
3.6.1.2	Ağ mimarisi ve bilginin akış yönü.....	24
3.6.1.3	Eğitim algoritmaları.....	24
3.6.1.4	Transfer fonksiyonları.....	25
3.6.1.5	Matlab'ın YSA aracı.....	27
3.6.2	GEP	29
3.6.2.1	GEP'in kromozom temsili	30
3.6.2.2	İfade ağacı.....	31
3.6.3	ANFIS	32
3.6.3.1	ANFIS ağ mimarisi.....	33
3.6.3.2	Üyelik fonksiyonları (membership function)	36
3.6.3.3	Bulanık küme kavramı.....	37
3.7	Model Senaryoları.....	37
3.8	Performans Değerlendirme Kriterleri	37
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1	ÇDR Sonuçları	39
4.2	YSA Sonuçları	42
4.3	GEP Sonuçları.....	45
4.4	ANFIS Sonuçları.....	49
4.5	Genel Değerlendirme	51
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	53
	KAYNAKLAR	56
	ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Hidrolojik sistem kavramı (Bayazıt, 1998).....	2
Şekil 1.2 Mühendislik hidrolojisi açısından hidrolik çevrim (Bayazıt, 1998).	3
Şekil 3.1 Berta Suyu havzasının Türkiye haritasındaki konumu	13
Şekil 3.2 Berta Suyu Havzasının genel görünümü.....	14
Şekil 3.3 ALOS PALSAR küresel radar görüntüsü, 2006-2011.....	15
Şekil 3.4 Doğu Karadeniz bölümünün sayısal yükseklik modeli haritası.....	16
Şekil 3.5 Berta Suyunun havza sınırlarının belirlenmesi	16
Şekil 3.6 Berta Suyu Havzasının sayısal yükseklik modelinden akım ağının elde edilmesi	17
Şekil 3.7 Berta Suyu Havzası sayısal yükseklik modeli	17
Şekil 3.8 CHRS Veri Portalı web sayfasına genel bakış.....	18
Şekil 3.9 CHRS veri portalından elde edilen yağış verileri	19
Şekil 3.10 Yağış veri hücreleri.....	19
Şekil 3.11 Çoruh Havzası için DSİ ve EİE'ye ait akım gözlem istasyonları haritası	21
Şekil 3.12 EİE 2334 nolu akım gözlem istasyonunun konumu	21
Şekil 3.13 Bir nöronun çalışma prensibi.....	23
Şekil 3.14 YSA'nın genel ağ yapısı.....	23
Şekil 3.15 Birim basamak fonksiyonu	25
Şekil 3.16 Gauss transfer fonksiyonu.....	26
Şekil 3.17 Parçalı doğrusal transfer fonksiyonu	26
Şekil 3.18 Sigmoid transfer fonksiyonu.....	27
Şekil 3.19 Lineer transfer fonksiyonu.....	27
Şekil 3.20 Matlab YSA veri yönetim arayüzü	28
Şekil 3.21 Matlab YSA ağ konfigürasyon arayüzü.....	28
Şekil 3.22 Bir gen ifade programının akış şeması (Ferreira, 2006)	30
Şekil 3.23 Bir gen örneği	31
Şekil 3.24 Örnek genin ifade ağacı	31
Şekil 3.25 İki girişli, 2 kurallı ANFIS ağ mimarisi.....	33
Şekil 3.26 Matlab'da dört girişli ve 3 kurallı ANFIS ağ mimarisinin gösterimi.....	34
Şekil 3.27 Matlab'da giriş değişkenlerinin eklendiği arayüz	35
Şekil 3.28 Matlab arayüzünde üyelik fonksiyonu konfigürasyonlarının yapılması...	35

Şekil 3.29 Matlab "Fuzzy Designer" aracı kullanılarak ANFIS'in eğitilmesi ve testlerin yapılması	36
Şekil 3.30 Farklı üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.	36
Şekil 4.1 ÇDR-K7 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu	41
Şekil 4.2 Gözlenen akış değerleri ve ÇDR-K7 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi.....	41
Şekil 4.3 YSA eğitim sonuçlarının Matlab görünümü.....	43
Şekil 4.4 YSA-K3 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu	44
Şekil 4.5 Gözlenen akış değerleri ve YSA-K3 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi.....	44
Şekil 4.6 GEP-K4 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu	46
Şekil 4.7 Gözlenen akış değerleri ve GEP-K4 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi.....	46
Şekil 4.8 GEP-K4 modelinin 1. alt ifade ağacı.....	47
Şekil 4.9 GEP-K4 modelinin 2. alt ifade ağacı.....	48
Şekil 4.10 GEP-K4 modelinin 3. alt ifade ağacı	48
Şekil 4.11 ANFIS-K1 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu	50
Şekil 4.12 Gözlenen akış değerleri ve ANFIS-K1 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi.....	50
Şekil 4.13 Gözlenen akış ile modellerden elde edilen tahmini akışın zaman serisi...	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 01.01.2003 günü için günlük ortalama yağış hesabı.....	20
Tablo 3.2 GEP model parametreleri	32
Tablo 3.3 Yağış-Akış ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan senaryolar	37
Tablo 4.1 ÇDR eğitim ve test sonuçları.....	39
Tablo 4.2 ÇDR-K7 modelinin eğitim süreci için regresyon istatistikleri.	40
Tablo 4.3 ÇDR-K7 modeli için bağımsız değişken katsayıları.	40
Tablo 4.4 YSA eğitiminde kullanılan ağ için seçilen parametreler.	42
Tablo 4.5 YSA eğitim ve test sonuçları.	43
Tablo 4.6 GEP eğitim ve test sonuçları.....	45
Tablo 4.7 GEP ifade ağaçlarındaki değişkenlere karşılık gelen girdi değişkenleri ...	47
Tablo 4.8 ANFIS eğitim ve test sonuçları.....	49
Tablo 4.9 Tüm modellerin eğitim ve test aşamaları için R^2 ve KOKH değerleri	51

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge

Açıklama

R^2

Determinasyon Katsayısı

$P(t)$

Gözlenen günün yağış miktarı

$P(t-n)$

n gün önceki yağış miktarı

$Q(t)$

Gözlenen günün akım miktarı

$Q(t-n)$

n gün önceki akım miktarı

β_n

Bağımsız Değişken Ka

ε

Hata miktarı

w_i

YSA ve ANFIS için ağırlıklar

t

Zaman

$Q_{ölç.}$

Ölçülen akım

$Q_{tah.}$

Tahmin edilen akım

$Q_{ort.}$

Ortalama Akım

Kısaltma

Açıklama

AGİ

Akım Gözlem İstasyonu

ANFIS

Uyarlanabilir Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi

ASF

Alaska Satellite Facility

CBS

Coğrafi Bilgi Sistemleri

CCS

Cloud Classification System

CDR

Climate Data Record

CHRS

The Center for Hydrometeorology and Remote Sensing

ÇDR

Çoklu Doğrusal Regresyon

DDM

Data-Driven Modelling

DRM3

Daily Routing Model

DSİ

Devlet Su İşleri

EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ET	Expression Tree
GA	Genetik Algoritma
GEP	Genetik İfadeli Programlama
GP	Genetik Programlama
GRYSA	Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı
HES	Hidroelektrik Santral
HSPF	Hydrological Simulation Program-Fortran
IBGYSA	İleri Beslemeli Geriye Yayılım Yapay Sinir Ağı
ILLUDAS	The Illinois Urban Drainage Simulator
KOKH	Kök Ortalama Karesel Hata
MITCAT	MIT Catchment Model
OKH	Ortalama Karesel Hata
PRMS	Precipitation Runoff Modeling System
RTYSA	Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
SCS	The Soil Conservation Service
SSARR	Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation
SWMM	Storm Water Management Model
SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basins
TR-20	Technical Release No: 20
YSA	Yapay Sinir Ağı

ÖZET

YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNİN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ

Yaman, Yunus

Yüksek Lisans, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Fevzi Önen

Ocak 2022, 73 sayfa

Yağış-akış ilişkisinin doğru bir şekilde modellenmesi su mühendisliğinde önem arz etmektedir. Bununla birlikte, hidrolojik sistemlerin karmaşıklığı ve nonlinear olma özelliği göz önüne alındığında, yağış-akış ilişkisi gibi olguları tanımlamak için hala birçok model geliştirilmektedir. Özellikle son yıllarda etkili olan küresel ısınma ve küresel iklim değişimi gibi etmenler sebebiyle yağış-akış ilişkisini belirlemek daha da önemli hale gelmiştir. Son zamanlarda, Yapay Sinir Ağı (YSA), Genetik İfadeli Programlama (GEP), Uyarlanabilir Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) gibi yapay zeka teknikleri yağış-akış modellemesi gibi hidrolojik olaylar için kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu tez çalışmasında, havza yağış-akış modellemesi için üç ayrı yapay zeka tabanlı yöntemler (YSA, GEP, ANFIS) ve istatistiksel bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) kullanılarak tahmin edilen akış değerleri, gözlenen akış değerleri ile karşılaştırılmıştır. Girdi parametrelerinden yağış verisi, 4km x 4km çözünürlükteki uydu verilerinden yararlanılmıştır. Yağış verisi havza için günlük ortalama yağış yüksekliği şeklinde elde edilmiştir. Akım verisi olarak Berta Suyu Havzası çıkışında bulunan EİE-2334 nolu akım gözlem istasyonunun (AGİ) günlük akış verileri kullanılmıştır. Akım verisinin $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-3)$, $Q(t-4)$ ve yağış verisinin $P(t)$, $P(t-1)$, $P(t-2)$, $P(t-3)$ değerleri ile çeşitli girdi senaryoları oluşturulup çıkış olarak $Q(t)$ ile eşleştirilmiştir. Girdilerin bir kısmı model eğitimi, kalan kısmı da test için ayrılmıştır. Modellerin performansı determinasyon katsayısı (R^2) ve ortalama karesel hatanın kökü (KOKH) ile değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada ANFIS, GEP, YSA ve ÇDR sonuçlarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Berta Suyu Havzası için en yüksek $R^2=0,988$ ve en düşük $KOKH=4,770$ değerini veren modelin ANFIS-K1 olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapay zeka yöntemlerinin yağış-akış ilişkisini belirlemede kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağı, Genetik İfadeli Programlama, Uyarlanabilir Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi, Çoklu Doğrusal Regresyon, Yağış-Akış Modellemesi

ABSTRACT

MODELING THE RAINFALL-RUNOFF RELATIONSHIP WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Yaman, Yunus

Master of Science in Department of Hydraulic and Water Resources Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fevzi Önen

January 2022, 73 pages

The need for accurate modeling of the rainfall-runoff process has increased rapidly in recent years. However, given the complexity and nonlinearity of hydrological systems, many models are still being developed to describe phenomena such as the rainfall-runoff relationship. It has become even more important to determine the rainfall-runoff relationship due to factors such as global warming and global climate change, which have been effective especially in recent years. Recently, artificial intelligence techniques such as Artificial Neural Network (ANN), Genetic Expression Programming (GEP), Adaptive Neural-Fuzzy Inference System (ANFIS) have become widespread for hydrological purposes such as rainfall-runoff modeling. In this study, three different artificial intelligence-based methods (ANN, GEP, ANFIS) for basin precipitation-flow modeling were compared with Multiple Linear Regression (MLR), which is a more classical statistical method. Precipitation data, one of the input parameters, consists of satellite data with a resolution of 4km x 4km. Precipitation data were obtained in the form of daily average precipitation height for the basin. The daily flow data of the EIE-2334 flow observation station (FOS) located at the exit of the Berta Water Basin were used as flow data. The flow data $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-3)$, $Q(t-4)$ and precipitation data $P(t)$, $P(t-1)$, $P(t-2)$, $P(t-3)$ various input combinations are created with values and matched with $Q(t)$ as output. Some of the inputs are reserved for model training and the remainder for testing. The performance of the models was evaluated by the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error (RMSE). In the study, it was seen that the results of ANFIS, GEP, ANN and EDR were close. ANFIS-K1 was found to be the model that gave the highest $R^2=0.988$ and the lowest $RMSE=4.770$ value for the Berta Water Basin. It has been concluded that artificial intelligence methods can be easily used to determine the rainfall-runoff relationship.

Keywords: Artificial Neural Network, Genetic Expression Programming, Adaptive Neural-Fuzzy Inference System, Multiple Linear Regression, rainfall-runoff modelling

1. GİRİŞ

Yapay zeka alanındaki gelişmeler, su kaynakları mühendisliği uygulamalarının yanı sıra birçok bilim dalını da etkilemektedir. Yeni algoritmalar ve modeller, özellikle esnek hesaplama (soft computing) dayalı olanlar, araştırmacıların en karmaşık sistemlere farklı şekillerde yaklaşımlarını sağlamaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik İfadeli Programlama (GEP) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) gibi fizik denklemlerine dayanmayan tahmin yöntemlerinin kullanımı çeşitli mühendislik alanlarında yaygınlaşmaktadır. Yağış ve akış arasındaki ilişki, hidrolojide önemli bir konudur. Yağıştan gelen akış miktarı hidrolojik döngüde önemli bir yer tutmaktadır. Havzalarda yağmur riskinden kaçınmak ve taşkınları uyarmak için yağış miktarını ve yüzey akışını niceliksel olarak tahmin etme ihtiyacı olmaktadır.

1.1 Yağış – Akış İlişkisi ve Akış Tahmininin Önemi

İnsanlığın başlangıcından bu yana su önemli bir yaşam kaynağı olmuştur. Bu sebeple suyu kontrol etmek büyük önem arz etmektedir. Dünya nüfusundaki hızlı artış sebebiyle suya olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Çünkü su sadece içme amacıyla kullanılmamaktadır. Buna ek olarak tarımda ve enerji üretiminde önemli yer tutmaktadır.

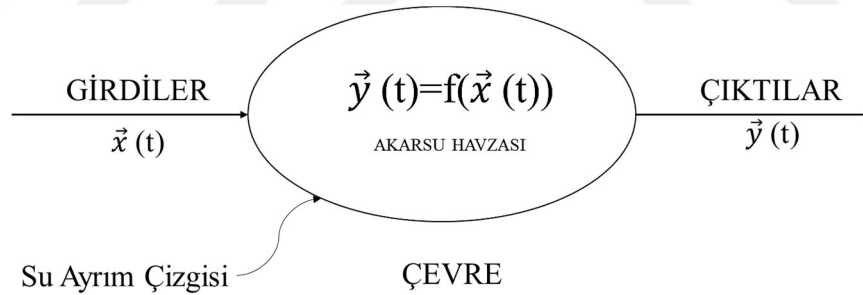
Sanayi devriminin ardından petrol ve kömür gibi fosil yakıtların kullanımının artması ve sanayiden dolayı oluşan çeşitli gazların atmosfere salınması ile atmosferde biriken sera gazları, döngüsel olarak gerçekleşmekte olan küresel iklim değişimini hızlandırarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple dünyanın ortalama sıcaklığında meydana gelen hızlı artış iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda hidrolojik çevrim olumsuz etkilenmektedir. Son yıllarda küresel iklim değişiminin etkilerini net olarak görmekteyiz. Taşkın ve kuraklık gibi uç hidrolojik olayların sayısı ve süresi her geçen gün artmaktadır. Bu durumlar ayrıca pozitif geri bildirim neden olmaktadır. Yani küresel ısınma neticesinde buharlaşma miktarının artmasıyla atmosferdeki su buharı miktarı artmaktadır. Artan su buharı miktarı dünyadan yansıyan güneş ışınlarını tutarak sera etkisine sebep olur ve daha fazla ısınmaya neden olur. Bu sebeple küresel ısınma ivmelenir. Bu ivmelenmeyle uç hidrolojik olayların

artması kaçınılmaz olur. Böyle bir ortamda su kaynaklarının kontrol edilmesi daha fazla önem kazanır.

Su kaynaklarının kontrol edilmesi ve gelecek için planlanması açısından yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi çok önemlidir. Çünkü bir havzaya düşen yağışın ne kadarının akışa dönüşeceğini bilmek, hem taşkın ve kuraklık durumlarının kontrolü açısından hem de su yapılarının boyutlandırılması açısından gereklilik arz etmektedir. Ayrıca düşen yağışın ne kadar süre sonra akışa dönüşeceğini belirlemek de mühimdir. Bu sayede taşkın erken uyarı sistemleri tasarlanabilmektedir.

1.2 Akarsu Havzası Kavramı ve Özellikleri

Hidrolojide havza, su ayırım çizgisiyle diğer havzalardan ayrılan ve gelen yağışı akışa dönüştüren hidrolojik sistemdir. Bir havzayı ele aldığımızda onu giriş ve çıkışları olan bir sistem olarak hayal etmek yanlış olmayacaktır. Bu farazi yaklaşım havzayı anlamak ve havza içerisindeki elemanların birbirleriyle olan ilişkilerini belirlemek açısından kolaylık sağlar. Hidrolojik sistem kavramı Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



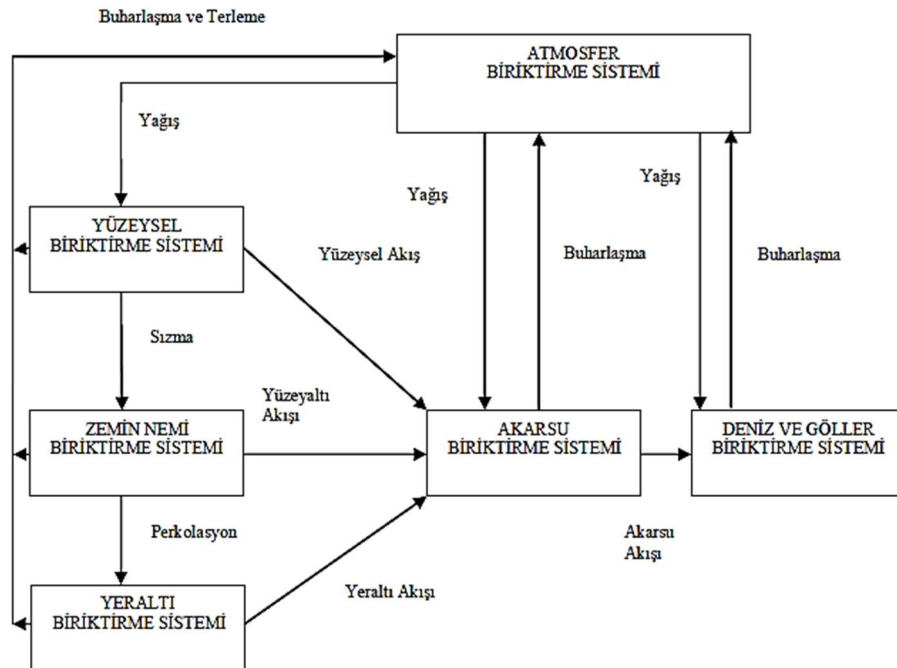
Şekil 1.1 Hidrolojik sistem kavramı (Bayazıt, 1998)

Burada f , sistemin dönüşüm fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Burada bahsedilen sistem kavramı hidrolojik çalışmaları kavramak açısından önemlidir. Hidrolojide sistem kavramı, ayırım çizgileriyle diğer birimlerden ayrılan ve girdileri dönüşüm fonksiyonu ile çıktılara dönüştüren bileşenler takımıdır. Hidrolojide bu ayırım çizgileri, su ayırım çizgileri olarak tanımlanır. Su ayırım çizgileriyle ayrılan bu sistemler hidrolojide havza olarak bilinir. Hidrolojik olarak incelendiğinde sistemler tek bir havzadan ya da birden fazla havzanın birleşiminden oluşabilir. Bu sistemlerin

çevreleriyle olan ilişkileri $\vec{x}(t)$ girdi ve $\vec{y}(t)$ çıktı vektörleri ile belirlenir. (Bayazıt, 1998).

Havzayı tanımlarken hidrolojik çevrime de değinmek gerekir. Havza içerisinde gerçekleşen birtakım olayları anlamak, yağış ve akış ilişkisini anlamak açısından çok önem arz etmektedir.

Atmosferden yeryüzüne düşen suyun büyük bir kısmı buharlaşma ve bitkilerin terlemesi yoluyla atmosfere geri döner. Geri kalan kısmı bitki örtüsü ve zemin tarafından tutulur. Zemine gelen su önce zemini ıslatır ve zeminde biriken nem miktarını artırır. Zeminin üst kısmı neme doyunca zemin üstünde ince bir su filmi tabakası oluşur. Oluşan bu su film tabakası yüzey gerilimini, viskozite kuvvetlerini ve yerçekimi kuvvetlerini yenecek büyüklüğe ulaşınca su hareketi başlar. Bu harekete yüzeysel akış denir. Harekete başlayan su ilk olarak yüzeydeki çukurları doldurur. Bundan sonra akarsu ağına ulaşır. Akarsu ağına ulaşırken öte yandan zemindeki çatlaklardan sızarak yeraltı su akışına katılır. Havzanın jeolojik yapısına bağlı olarak sızan bu suyun bir kısmı yeniden yüzeysel akışa katılabilir. Yüzeysel akışa katılmayan sızıntı su, yeraltı suyuna katılır (Hamidi, 1984). Hidroloji açısından hidrolojik çevrim Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Mühendislik hidrolojisi açısından hidrolik çevrim (Bayazıt, 1998).

1.3 Yağış – Akış Modelleri

Bir havzaya düşen yağışın akışa dönüşümünün modellenmesi hidroloji açısından önemlidir. Bu modellemenin en basit şekilde yapılanı akış yüksekliklerini yağış yükseklikleriyle ilişkilendirerek oluşturulan modeldir. Bu model için çizilen bir grafik üzerinde bir eksene yağış yüksekliğinin, diğer eksene akış yüksekliğinin yerleştirilmesiyle elde edilecek grafikten görülecektir ki hata oranı fazla olacaktır. Yani sapmalar yüksek olacaktır. Bu sapmaların yüksek oluşu, bu ilişkiyi etkileyen başka etmenlerinde bulunduğunu gösterir. Bu etmenlerin başında zemin türü ve zemin nemi gelir. Çünkü zemindeki nem miktarı zeminin doygunluğunun bir göstergesi ve yağışın akışa dönüşümünü direk etkileyen faktörlerden biridir. Bir diğer etmen olan zemin türü, zeminde bulunan boşluk miktarının göstergesi olmaktadır. Bu da zemine düşen yağışın sızma miktarını etkilemektedir. Dolayısıyla akışa geçecek miktarı etkilemektedir. Zemindeki nem miktarını etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: gerçekleşen yağıştan önceki yağışlar, yağışın başladığı zamanda akarsudaki akım miktarı, yağışın şiddeti ve devam ettiği süre. Bu verilen parametreler ile daha isabetli bir yağış – akış bağıntısı elde edilebilir (Bayazit, 1995). Yağış ve akış arasındaki ilişkiyi belirlemek için çeşitli modeller mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Parametrik Modeller
- Klasik Kara Kutu Modeller
- Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka yöntemleri her ne kadar birer kara kutu model gibi görülseler de bu yöntemleri farklı bir başlık altında incelemek daha sağlıklı olacaktır. Ana hatlarıyla benzer şekilde girdiler ile çıktılar arasında bir matematiksel bağıntı bulmaya çalışsalar da süreçleri metodolojik olarak farklı şekillerde işlemektedir. Yapay zeka, daha karmaşık süreçlerden geçerek hedeflenen matematiksel bağıntıya ulaşmaktadır.

1.3.1 Parametrik modeller

Bu modeller dönüşüm işlemini sızma, yeraltı akışı, yüzeysel akış gibi bileşenlerine ayırarak analiz ederken bu bileşenlerin aralarındaki ilişkileri fiziksel açıdan oldukça ayrıntılı bir şekilde ifade ederler. Hidrodinamik yasalarının uygulanması güç olduğundan bu modellerde de genellikle basitleştirmeler yapılır. Modeller bir takım

biriktirme elemanlarından kurulur, suyun izlediği yola bağlı olarak bu elemanların arasındaki ilişkiler (giren ve çıkan su miktarları) fiziksel özellikleriyle belirlenir. Bu gibi modellerin çok sayıda parametreleri vardır. Belli bir havza için model parametrelerinin değerleri, havzada gözlenmiş olan hidrograflar yeterli bir yaklaşımla modelden elde edilinceye kadar deneme yapılarak belirlenir (Bayazıt, 1998).

1.3.1.1 Basit parametrik modeller

Bu modellerde havza birkaç alt havzaya ayrılır. Bir fırtına sırasında her bir alt havzaya düşen yağıştan kayıplar ayrılıp elde edilen artık yağışın hidrografı belirlenir. Bu hidrograflar akarsu boyunca ötelenip süperpoze edilerek çıkış noktasındaki hidrograf elde edilir. Bu gibi modeller aralarında yağışsız süreler bulunan birden fazla yağış için kullanılamaz. Taşkın hidrografı elde etmenin amaçlandığı bu modellerde evapotranspirasyon kayıpları, zemin nemindeki değişimler ve taban akımının ayrıntıları hesaba katılmaz. Bu modellere örnek olarak şunlar verilebilir:

- HEC-HMS (The Hydrologic Modeling System – Hidrolojik Modelleme Sistemi)
- TR-20 (Technical Release No: 20 - Teknik Yayın No: 20)
- ILLUDAS (The Illinois Urban Drainage Simulator - Illinois Kentsel Drenaj Alanı Simülatörü)
- DRM3 (Daily Routing Model – Günlük Yönlendirme Modeli)
- SWMM (Storm Water Management Model – Yağmur Suyu Yönetim Modeli)

En çok kullanılan modellerden HEC-HMS modelinde sızma kayıpları SCS (Soil Conversion Service) modeli ile ayrılıp artık yağış hietografına geçilir (yağış ve sızmanın alt havza üzerinde üniform yayıldığı kabul edilir). Birim hidrograf modeliyle (Snyder ve SCS boyutsuz birim hidrograflarını kullanarak) veya kinematik dalga modeliyle alt havzaların hidrografları elde edilir. Bu hidrograflar Muskingum, kinematik dalga ve haznede öteleme modelleriyle ötelenip süperpoze edilir (Bayazıt, 1998).

1.3.1.2 Parametrik sürekli benzeşim modelleri

Havzaya düşen yağışın çıkış noktasına kadar hareketinin sürekli olarak izlendiği bu modellerde yağış düşmeyen sürelerde zemin nemindeki değişim, evapotranspirasyon,

doymamış ve doymuş bölgelerde yeraltı akışı olayları izlenir. Hidrolojik çevrimin çeşitli bileşenlerinin ayrıntılı bir şekilde benzeştirildiği gelişmiş modellerde havza çok sayıda bölgeye ayrıldığı gibi zemin de düşey yönde tabakalara ayrılabilirdiğinden parametre sayısı çok olur (Bayazıt, 1998). Bu modellere örnek olarak şunlar verilebilir:

- SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins - Kırsal Havzalar için Su Kaynakları Simülatörü)
- PRMS (Precipitation Runoff Modeling System – Yağış Akış Modelleme Sistemi)
- SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation - Akarsu Sentezi ve Rezervuar Düzenlemesi)
- HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran - Hidrolojik Simülasyon Programı-Fortran)
- MITCAT (MIT Catchment Model – MIT Havza Modeli)

1.3.2 Klasik karakutu modeller

Bir havza ele alındığında havza karakteristiğini etkileyen birçok parametre bulunur. Bu parametrelerin hepsinin doğru bir şekilde belirlenmesi çoğu zaman pratikte pek olanaklı değildir. Bu durum parametrik modeller için sorun teşkil eder. Bunun gibi parametrik modellerin kurulmasının olanaksız olduğu problemlerde kara (kapalı) kutu modellerin kurulması daha doğru olur.

Bu tür modellerde havzada yer alan olaylar ayrıntılı olarak incelenmeyip havzaya yağışı akışa çeviren kapalı bir kutu gözüyle bakılır. Sistem davranışının (dönüşüm fonksiyonunun) o havzada gözlenmiş olan yağış ve akış kayıtlarına dayanarak belirlenmesine çalışılır. Bu tip modeller gerçek durumu tam olarak yansıtmazlar da çok daha basittirler (Bayazıt, 1998).

1.3.2.1 Birim hidrograf modeli (Lineer)

Birim hidrograf modeli, Sherman tarafından 1932 yılında ortaya atılan ilk kara kutu modelidir. Yağış ve akış modellemesi için kullanılan bu model lineer sistem kabulüne dayanır. Bir havzanın özelliklerinin değişmez kabul edilebileceği, bu sebeple de benzer karakterli yağışların oluşturacağı akımların hidrograflarının da benzer olmaları gerektiği kabulünden yola çıkan Sherman havza davranışını karakterize eden bir

hidrografın (sistem davranışının) bulunabileceğini düşünmüştür. Birim hidrograf adını verdiği bu hidrograf, havzaya üniform olarak yayılmış ve belli bir süre boyunca sabit şiddetle yağan bir inç (günümüzde çoğunlukla bir cm olarak alınmaktadır) artık yağış meydana getiren yağmurun oluşturduğu akımın hidrografi olarak tarif edilmiştir (Müftüoğlu, 1984).

1.3.2.2 Nonlineer modeller

Yağış ve akış ilişkisi gerçekte nonlineerdir. Buna rağmen sistemlerin lineer olarak davrandığı kabulü yapılır. Bunun temel sebebi hesaplamalarda kolaylık sağlamaktır. Buna ek olarak lineer sistem yaklaşımı olan birim hidrograf modeli çoğunlukla yeterli görülmektedir.

Etkin yağış-toplam akış arasındaki ilişki modellenmek istendiğinde; havzanın yüzey alt sisteminin nonlineer iletim ve biriktirme etkilerini de (bitkilerce tutma, yüzeysel biriktirme ve sızma) göz önüne almak gerekir. Herhangi bir andaki etkin yağışın bitki örtüsü tarafından tutulacak, çukurlarda birikecek ve toprağa sızacak kısmı; bitki örtüsünün ıslaklık derecesine, çukurlardaki önceden biriken su hacmine ve toprağın doygunluk derecesine, dolayısıyla da önceki yağışlara bağlıdır (Müftüoğlu, 1984).

1.3.3 Yapay zeka yöntemleri

Yapay zeka, temel olarak insan düşünme yapısının veya bir şeyleri anlayıp çıkarım yapma yetisinin bilgisayar yardımıyla taklit edilmesi prensibine dayanır. Bu tanıma biraz daha açmak gerekirse yapay zeka, insan zekasının algılama, düşünme ve karar verme gibi özelliklerinin çeşitli algoritmalar veya çeşitli enstrümanlar aracılığıyla taklit edilmesi olarak tanımlanabilir. Yapay zekanın en önemli avantajı insani hatalardan arınması ve yansız sonuçlar elde edebilmesidir. Yani bir yapay zeka algoritması duygusal olarak düşünmez veya insanları bir problemi çözerken yapabileceği işlem hatalarını yapmaz. Bununla birlikte klasik istatistik biliminin yetersiz olduğu tüm alanlarda başarılı bir şekilde uygulanabilir. Tüm bu özellikleri toplarsak işlem hızı, detayları gözden kaçırmaması, maliyet ve zamandan tasarruf etmesi, çözülmesi güç matematiksel problemler için çözüm sunması açısından yapay zeka yöntemleri günümüzde hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Teknolojideki

gelişmelerle birlikte yapay zeka yöntemleri çeşitlenmiştir. Bunlardan en çok bilinenleri şu şekilde sıralanabilir:

- YSA
- Uzman Sistemler (Expert Systems)
- Metallerin Tavlanması Benzeşimi (Simulated Annealing)
- Gelişime Dayalı Algoritmalar
- Genetik algoritmalar (Genetic Algorithms)
- Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bunlardan bir kaçının kullanılmasıyla oluşturulan karma yöntemler de bulunmaktadır. Buna örnek olarak YSA ile bulanık mantık algoritmasının bir karışımı olan ANFIS verilebilir.

1.4 Tezin Amacı ve Kapsamı

Yağış ve akış ilişkisi hidroloji bilimi için önem arz etmektedir. Bu sebeple yağış ve akış ilişkisinin modellenmesi gerekir. Literatürde yağış ve akış ilişkisini modellemeye yönelik birçok yöntem ve çalışma bulunmaktadır. Bunların en önemlileri son yıllarda üzerine çalışmalar yapılan yapay zeka yöntemlerinin hidrolojideki uygulamaları olmuştur. Yapay zeka için artan bu talebin önemli sebebi klasik yöntemlere göre başarılı sonuçlar vermesi ve nonlinear davranan havzayı isabetli bir şekilde modellemesidir.

Bu çalışmada, yağış-akış ilişkisinin modellemesinde en çok kullanılan üç yapay zeka yöntemi olan YSA, GEP, ANFIS ve istatistiksel bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) ile hesaplanan tahmini akış değerleri, gözlenen akış değerleriyle karşılaştırılacaktır. Bu kapsamda uydu kaynaklı yağış verilerinden yararlanılacaktır. Karadeniz bölgesinde bulunan Berta çayı havzası için yapılacak olan bu çalışma, bölgede yapılmış ve yapılacak olan su yapılarının taşkın güvenliği için bir kaynak niteliği taşıması amaçlanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Alp ve Cıgızoğlu (2004) tarafından yapılan çalışmada farklı YSA algoritmaları olan IBGYSA ve GRYSA ile yağış – akış modellemesi yapılmıştır. Bu çalışmada IBGYSA metodu GRYSA metoduna göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. IBGYSA metodu için çok sayıda simülasyon denemiştir. Çünkü her simülasyonda başlangıç ağırlık değerleri rastgele atanmaktadır bu durum modelin performansını etkilemektedir. Ancak GRYSA için başlangıç ayarlanan parametrelere göre elde edilen sonuç hep aynı olduğu için çok sayıda simülasyona ihtiyaç duyulmamıştır. Sonuç olarak yağıştan akış tahmininde IBGYSA ve GRYSA ağ mimarilerinin rahatlıkla kullanılabileceği gösterilmiştir.

Aci (2006) tarafından yapılan çalışmada bir havzadaki akımlar, havzada gerçekleşen yağıştan ve önceki günlerdeki akım değerlerinden etkilenmektedir. Uygulama alanı Akarçay havzası olarak belirlenmiştir ve akış tahmininde YSA kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre akım değerlerinin tahmininde YSA'nın başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür.

Aytek vd. (2008), yağış – akış modellemesi için yapay zeka teknikleri olan YSA ve GEP kullanmışlardır. İki farklı YSA ağ mimarisi IBGYSA ve GRYSA kullanılmış olup GEP sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. ABD'nin Pensilvanya eyaletindeki Juniata Nehri Havzası için üç yağış istasyonu ve bir akış istasyonunun günlük verileri dikkate alınmıştır. Ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık, minimum ve maksimum değerler gibi istatistiksel parametreler ile ortalama kare hatası (OKH) ve determinasyon katsayısı gibi kriterler (R^2) modellerin performansını ölçmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre GEP, farklı YSA ağ mimarilerine göre oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan GEP'in yağış-akış modellemesinde YSA modellerine alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Dorum vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada Susurluk havzasında bulunan yedi akarsudaki akım gözlem istasyonunun akım verileri kullanılarak, YSA, GEP ve ÇDR ile yağış – akış ilişkisi kurumaya çalışılmıştır. Modellerin performans değerlendirmeye kriterleri olarak R^2 ve KOKH seçilmiştir. YSA ve ANFIS için R^2 değerleri sırasıyla

0,7587 ve 0,8005 olarak bulunmuştur. Ayrıca pik değerlerin tahmininde hata oranının diğer değerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Gümüş vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada Orta Fırat havzasında bulunan iki istasyona ait aylık ortalama akım değerleri ile bölgede bulunan yağış istasyonundan elde edilmiş olan aylık toplam yağış verileri YSA kullanılarak ileri beslemeli geri yayılım (İBGYSA) yöntemiyle modellenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar daha klasik istatistiksel bir yöntem olan ÇDR ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda YSA yöntemi, ÇDR yöntemine göre daha başarılı bulunmuştur.

Gümüş vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada Orta Fırat havzasında 2157 nolu akım gözlem istasyonuna ait aylık akım verileri ve 17204 nolu yağış gözlem istasyonuna ait aylık toplam yağış miktarı verileri arasındaki ilişki YSA'nın farklı ağ mimarileri ile modellenmiştir. Modelleme işleminde İBGYSA, GRYSA ve RTYSA birbirleriyle ve ÇDR iler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak seçilen tüm YSA modelleri, ÇDR'ye göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. RTYSA'nın diğer ağ mimarilerine göre daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

Lefadani vd. (2013) yaptıkları çalışmada İran'daki Eskandari havzasında kavramsal hidrolojik MIKE11/NAM modeli ve ANFIS ile YSA kullanılarak yağış tahmini yapılmıştır. YSA ve ANFIS modellerinin yağış tahmininden elde edilen sonuçlar, ANFIS modelinin Eskandari havzasındaki yağış tahmininde çok daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Kuni vd. (2014), Hindistanın Kerala eyaletinde bulunan Vamanapuram Nehri havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bölgede bulunan iki yağış istasyonundan aylık yağış verisi ve havza çıkışında bulunan akım gözlem istasyonundan aylık akış verisi elde edilmiştir. 10 yıllık verinin (120 ay) yüzde 75'i eğitime ve %25'i test aşaması için ayrılmıştır. ANFIS ve YSA kullanılarak yapılan çalışmada YSA için R^2 değeri 0,896 ve KOKH değeri 0,0593 olarak bulunmuştur. ANFIS için R^2 değeri 0,845 ve KOKH 0,0722 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ANFIS'in akış tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

Kumar vd. (2016) yaptıkları çalışmada Hindistan'da bulunan Sarada Nehri havzası için YSA ile yağış ve akış ilişkisini modellemişlerdir. Geliştirilen YSA modellerinin girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi başarıyla modellediği görülmüştür. YSA modellerinin eğitimi için önemli girdi değişkenleri çapraz korelasyon, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu istatistiksel parametrelere dayalı olarak seçilmiştir. Çeşitli senaryolar denenmiş ve bu fonksiyonların istatistiklerine dayalı olarak altı senaryo seçilmiştir. Geliştirilen sinir ağı modelinin iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. YSA modelinin, bu çalışmada ele alınan küçük bir yarı-kurak su toplama alanı için yağış verilerinden gelen akışı oldukça iyi tahmin edebildiği tespit edilmiştir.

Ercan vd. (2019) tarafından Kızılırmak Havzasındaki birçok meteorolojik istasyonlardan alınan yağış, sıcaklık ve nem girdilerine karşılık akım değerleri arasındaki ilişki YSA, GEP ve ÇDR ile modellenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 1975 – 2005 yılları arasında gözlenen yıllık yağış yükseklikleri, yıllık ortalama akış yüksekliği ve diğer meteoroloji veriler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Kızılırmak Havzasındaki akım tahmini için en iyi sonucu ÇDR vermiştir.

İfşaat vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada 17204 nolu meteorolojik gözlem istasyonunun aylık toplam yağış değerleri kullanılarak, E21A057 akım gözlem istasyonu (AGİ) aylık ortalama akış değerleri GEP ve ÇDR yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Farklı girdi parametreleri kullanılarak hazırlanan modellerde, GEP yönteminin ÇDR yöntemine göre hemen hemen tüm durumlarda daha başarılı olduğu bulunmuştur. GEP yönteminde dört giriş parametresi kullanılarak tüm modeller arasında en başarılı model DM04 olarak belirlenmiştir. Bu parametreler yağış $P(t)$, 1 aylık gecikmeli debi $Q(t-1)$, 1 aylık gecikmeli yağış $P(t-1)$ ve 2 aylık gecikmeli yağış $P(t-2)$ şeklindedir.

Razali vd. (2020) yaptıkları çalışmada radar tekniğiyle elde edilen hava durumu verileri kullanılmıştır. Çalışmada Endonezya'da bulunan Pahang eyaletinin Kuantan şehrinde bulunan ve sık sık taşkınlara neden olan Kuantan Nehri için yağış-akış modellemesinde ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Model parametreleri olarak üçgen tipi üyelik fonksiyonu seçilmiştir ve her girdi için 2 kural tanımlanmıştır. Modelin performansı R^2 ve KOKH ile ölçülmüştür. Akış ve yağışın bir önceki günkü

değerlerinin farklı kombinasyonları girdi, akım tahmininde bulunan günün akımı çıktı olarak seçilmiştir. En iyi sonucu veren kombinasyon $P(t)$, $P(t-1)$, $P(t-2)$, $Q(t-1)$ girdilerine karşılık $Q(t)$ çıkış olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar tatmin edici bulunup ANFIS'in genel olarak taşkın tahmini veya özel olarak yağış-akış modellemesi için kullanılma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

Gerger vd. (2021) yaptıkları çalışmada Dicle Havzası içerisinde bulunan iki akım istasyonuna ait aylık ortalama akım değerleri ve meteorolojik istasyona ait yağış değerleri kullanarak farklı yapay zeka yöntemleri ile yağış akış ilişkisini modellemeye çalışmışlardır. Girdi olarak yağış ve akışın önceki günlerdeki değerlerinin kombinasyonları ve çıktı olarak tahmin edilen günün akış değeri alınarak modeller kurulmuştur. Çalışmada YSA, GEP, ANFIS yapay zeka yöntemleri ve ÇDR istatistik yöntemi karşılaştırılmıştır. Verilerin %70'i eğitim, %30'u test için ayrılarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre akım gözlem istasyonlarının birinde GEP, diğerinde ise ANFIS diğer modellere göre iyi performans göstermiştir. Çalışma, yapay zeka yöntemlerinin yağış-akış ilişkisini modellemede kullanılabilirliğini göstermekle birlikte GEP'in de matematiksel model oluşturma aşamasında başarılı olduğunu göstermiştir.

Wakas vd. (2021) yaptıkları çalışmada yağış-akış sürecinin modellenmesi için Veriye Dayalı Modelleme (DDM) ve GEP incelenmiştir. Çalışma sonucunda GEP'in DDM'e göre yağış-akış sürecinin modellenmesi ve tahmin edilmesi için oldukça verimli olduğu bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışma Alanı

Çoruh Nehrinin önemli bir kolu olan Berta Suyu (Berta Çayı) Havzası çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu seçimde etkili olan en büyük etmenlerden biri bölgedeki akım gözlem istasyonu (AGİ) sayısının fazla olması ve ihtiyaç duyulan verilere sahip olmasıdır. Buna ek olarak bölgedeki akım gözlem istasyonlarında geçmişe dönük çok fazla veri bulunabilmektedir. Veri sayısının fazla olması yapay zeka yöntemleri için önemli rol oynamaktadır. Ayrıca bölge ile ilgili pek çalışma olmaması, bölgede çok sayıda HES, baraj gibi su yapılarının bulunması ve yenilerinin yapımının planlanıyor olması sebebiyle bu bölgenin seçilmesi önemlidir. Berta Suyu Havzasının Türkiye haritasındaki konumu Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Berta Suyu havzasının Türkiye haritasındaki konumu

Doğu Karadeniz bölümünde bulunan Berta Suyu (Berta Çayı) Havzası, Çoruh Havzasının bir alt havzası olmakla birlikte Artvin ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Yaklaşık olarak 1550 km²’lik bir alanı kaplar. Bölge engebeli bir yapıdadır. Havzaya çoğunlukla yüksek dağlar hakimdir.



Şekil 3.2 Berta Suyu Havzasının genel görünümü

Berta Suyu Havzası meteorolojik olarak incelendiğinde hem Karadeniz iklimi hem de Doğu Anadolu tipi karasal iklim koşulları arasında görülmesine karşın çoğunlukla Karadeniz iklimi hâkimdir. Bu da yıl boyunca yağış miktarının fazla olduğunu gösterir. Bölgenin yüksek kesimleri kış aylarında çoğunlukla kar yağışlıdır. En soğuk ay sıcaklık ortalaması 3,4 °C, en sıcak ay sıcaklık ortalaması ise 21,1 °C şeklindedir. Ölçülen en düşük sıcaklık -16,1 °C (14 Ocak 1950) ve en yüksek sıcaklık ise 43 °C (18 Ağustos 1961)'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı 689,8 mm olmakla birlikte her mevsim yağış almaktadır. En çok yağış aldığı aylar Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır (MGM, 2020).

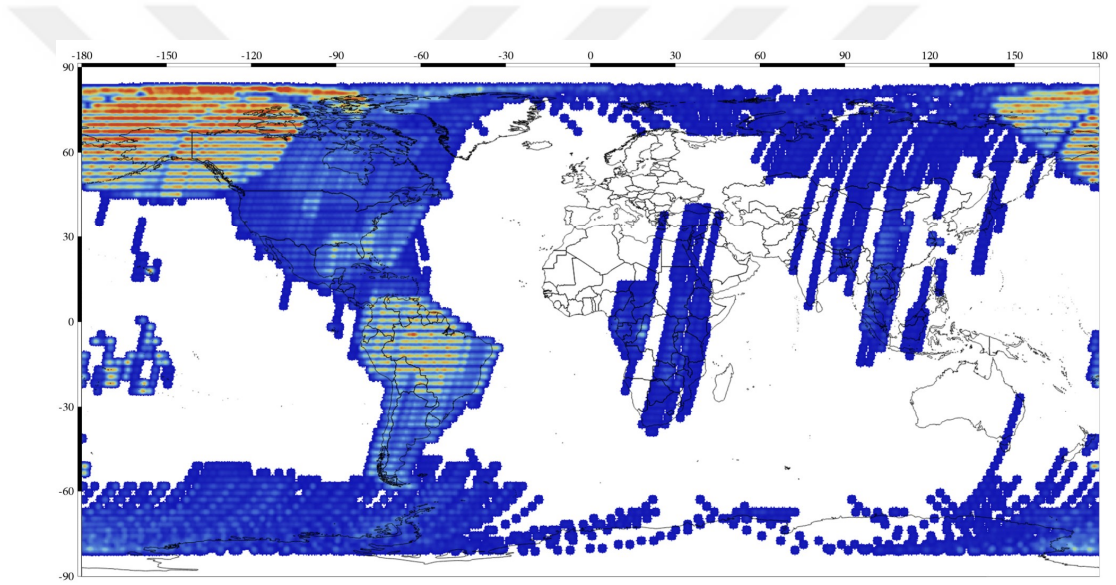
3.2 Havzanın Sayısal Yükseklik Modelinin Elde Edilmesi

Uzaktan algılama (Remote Sensing) teknolojilerinin gelişmesi, yeryüzünün detaylı (veya yüksek çözünürlükteki) haritalarının elde edilmesini kolaylaştırmıştır. Uzaktan algılama temel olarak fiziksel bir bağlantı olmaksızın bilginin uzaktan elde edilmesi prensibine dayanır. Uygulama alanı her geçen gün artan uzaktan algılama teknolojilerinin kullanım alanlarından birkaçı şu şekilde sıralanabilir:

- Çevre ve şehircilik uygulamaları
- Tarım ve orman uygulamaları
- Jeoloji ve maden uygulamaları
- Hidroloji uygulamaları
- Haritacılık uygulamaları
- Savunma ve güvenlik
- Afet uygulamaları şeklinde sıralayabiliriz.

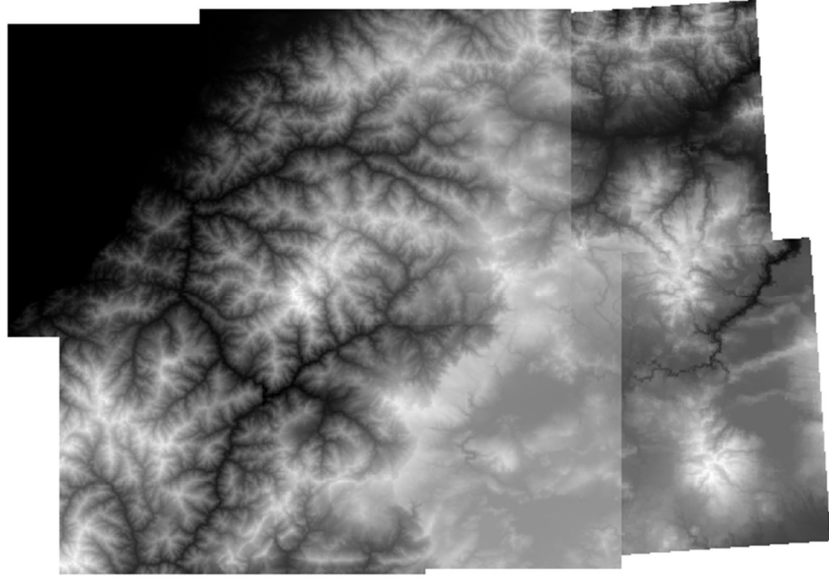
Hidrolojide, incelenecek bir havza için havza sınırlarının yüksek doğrulukta belirlenmesi önemlidir. Çünkü çıkış noktası bilinen bir havzanın büyüklüğünün net olarak anlaşılması ile havzaya düşen yağış miktarı gibi bazı parametreler doğru hesaplanabilir.

Yapılan çalışma için Alaska Üniversitesine ait Alaska Uydu Tesisi (Alaska Satellite Facility – ASF) tarafından sağlanan ALOS PALSAR veri setinin 12,5m x 12,5m çözünürlükteki sayısal yükseklik modeli tercih edilmiştir. ALOS PALSAR veri setinin küresel radar görüntüsü Şekil 3.3’te verilmiştir.



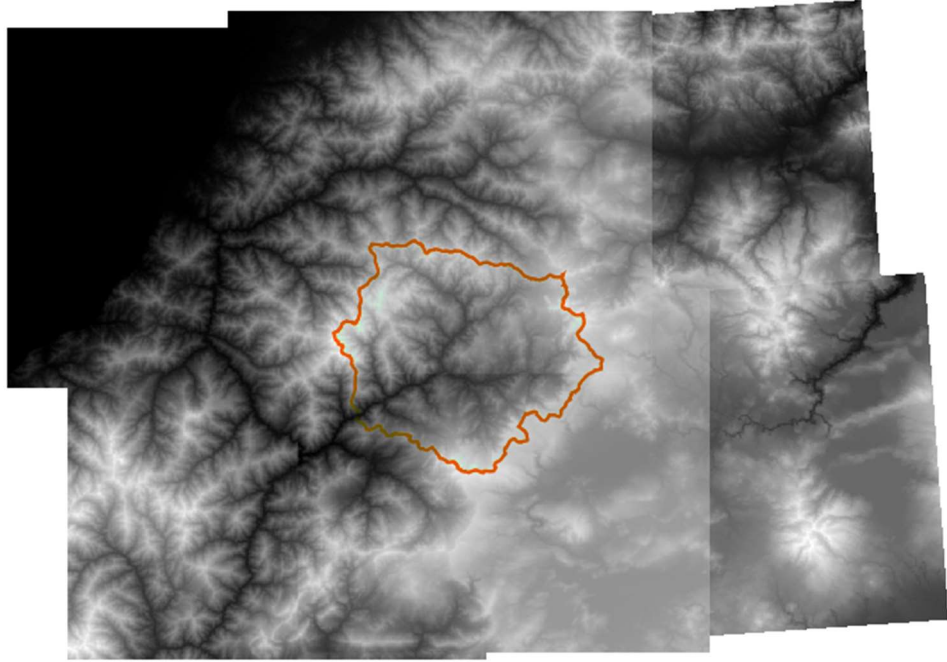
Şekil 3.3 ALOS PALSAR küresel radar görüntüsü, 2006-2011

ALOS PALSAR veri setinden Doğu Karadeniz bölümünün elde edilen sayısal yükseklik modeli Şekil 3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Doğu Karadeniz bölümünün sayısal yükseklik modeli haritası

Elde edilen sayısal yükseklik modeli, Arcgis veya Qgis gibi CBS programlarının hidrolojik analiz araçları yardımıyla çeşitli aşamalardan geçilerek işlenir. Yapılan çalışmada Arcgis programının hidrolojik analiz araçları kullanılarak havza çıkış noktası EİE - 2334 nolu AGİ olacak şekilde havza sınırları belirlenmiştir. Havza sınırları Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



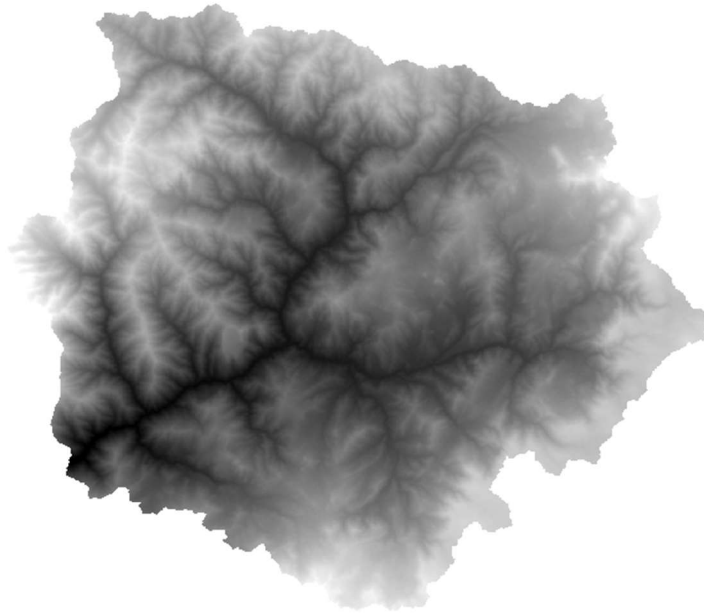
Şekil 3.5 Berta Suyunun havza sınırlarının belirlenmesi

Şekil 3.6’da ise havza sayısal yükseklik modelinden akım ağının elde edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Berta Suyu Havzasının sayısal yükseklik modelinden akım ağının elde edilmesi

Havza sınırları belirlendikten sonra Arcgis programında mask (maskeleme) işlemiyle Şekil 3.7’de görüldüğü gibi ayrılır.



Şekil 3.7 Berta Suyu Havzası sayısal yükseklik modeli

3.3 Uydu Kaynaklı Yağış Verilerinin Elde Edilmesi

Uydu teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte uzaktan algılama gibi coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu sayede meteorolojik parametrelerin ölçülmesi kolaylaşmaktadır. Geleneksel yöntemlerle elde edilen verileri hassasiyetinin düşük olması ve her bölgede ölçüm yapılamaması gibi

nedenlerle uydu kaynaklı verilere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Buna örnek vermek için engebeli bir havzayı ele alalım. Havzanın her yerine meteorolojik istasyonların kurulması ekonomik değildir. Bu gibi yerlerde istasyon sayısı seyrek olur ve tek bir istasyon bazen çok büyük bir alanı temsil etmek durumunda kalır. Thiessen yöntemi gibi yöntemlerle yağış havza üzerine dağıtılır ancak yağışların üniform olarak gerçekleşmemesinden ötürü hata payı yüksek olur.

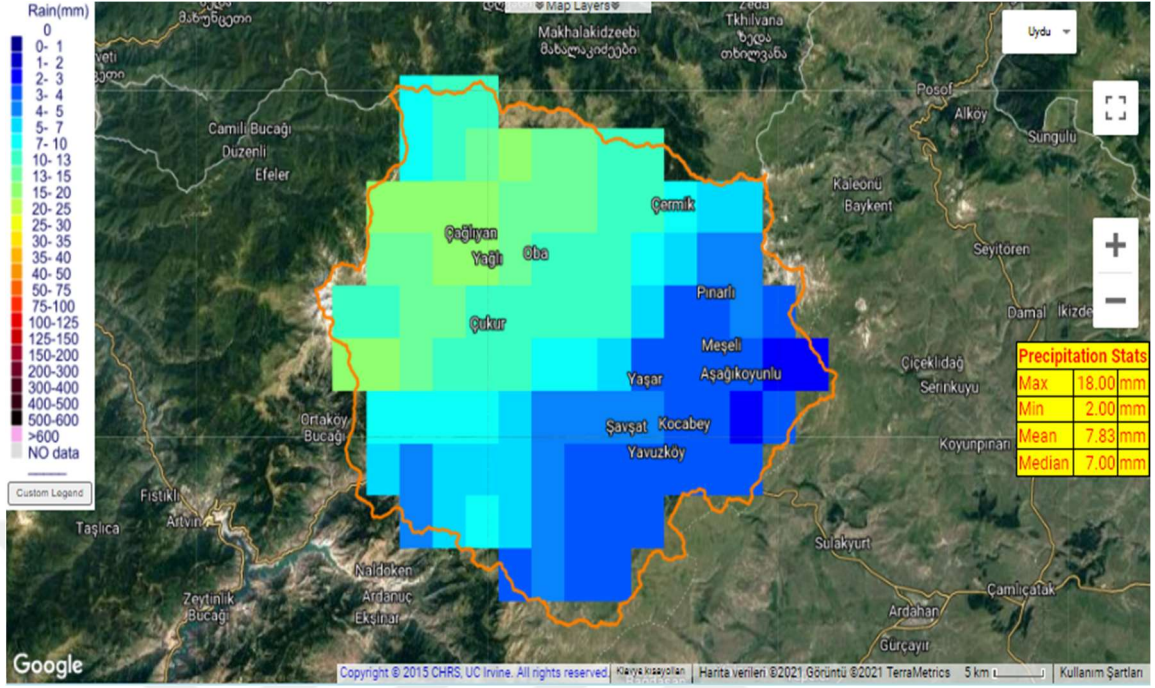
Bu çalışmada Kaliforniya Üniversitesi bünyesindeki Hidrometeoroloji ve Uzaktan Algılama Merkezi (CHRS - The Center for Hydrometeorology and Remote Sensing) tarafından sağlanan uydu kaynaklı veri setleri kullanılmıştır. CHRS veri portalında 3 farklı veri seti bulunmaktadır. Bunlar:

- PERSIANN
- PERSIANN-Bulut Sınıflandırma Sistemi (CCS)
- PERSIANN-İklim Veri Kaydı (CDR).

Bu üç veri setinin ortak özelliği YSA (PERSIANN) kullanılarak uzaktan algılanan bilgilerden yağış tahmininde bulunulmasıdır. Fakat bu veri setlerinde kullanılan algoritmalar ve veri çözünürlükleri farklıdır. Yapılan çalışmada PERSIANN-CCS veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri seti $0.04^\circ \times 0.04^\circ$ (4 km x 4 km) gibi yüksek bir çözünürlüktedir. CHRS veri portalı Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da görüldüğü gibidir.

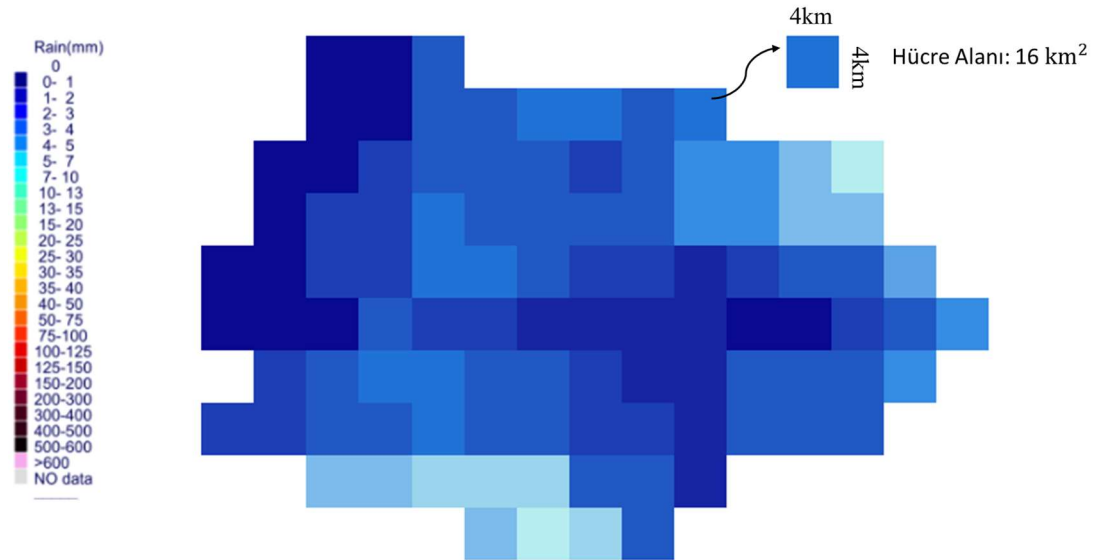


Şekil 3.8 CHRS veri portalı web sayfasına genel bakış (CHRS Data Portal, 2021)

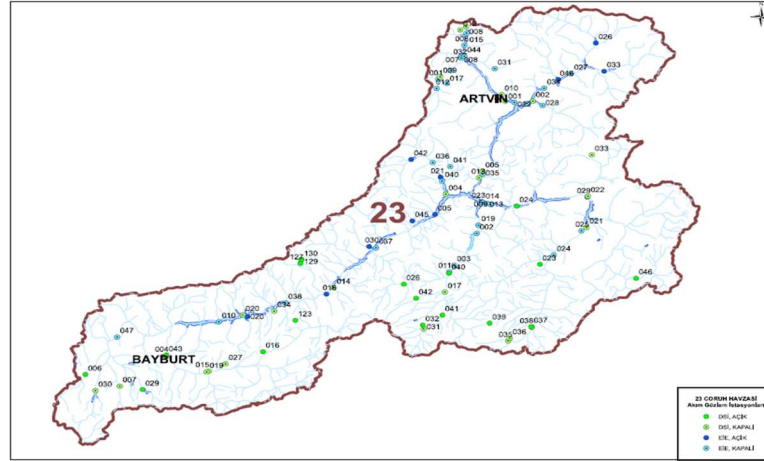


Şekil 3.9 CHRS veri portalından elde edilen yağış verileri (CHRS Data Portal, 2021)

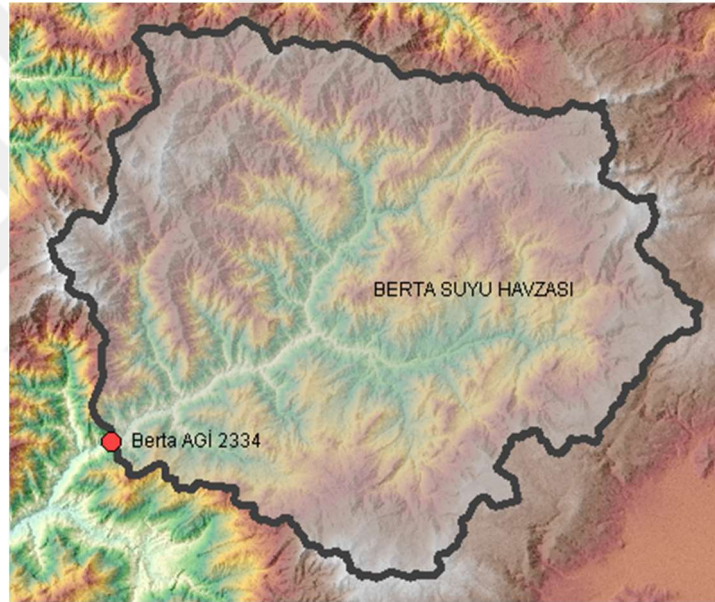
Şekil 3.10’da görüldüğü üzere elde edilen verilerde her bir hücre 4 km x 4 km çözünürlükte olup hücre alanı 16 km²’dir. Burada her hücreye düşen yağış miktarı farklı renklerle belirtilmiştir.



Şekil 3.10 Yağış veri hücreleri



Şekil 3.11 Çoruh Havzası için DSİ ve EİE'ye ait akım gözlem istasyonları haritası



Şekil 3.12 EİE 2334 nolu akım gözlem istasyonunun konumu

Havzamızın çıkış noktası olarak 034 (EİE-2334) nolu akım gözlem istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonun seçilmesinin nedenlerinden biri istasyonda uzun süreli ve kesintisiz verilerin bulunması ve bu noktadan sonrasının Deriner baraj gölünün başlangıcı olmasıdır.

Akım gözlem istasyonunun bulunduğu yer ($42^{\circ} 02' 00''$ D - $41^{\circ} 12' 35''$ K) (Ardahan - F48) Artvin - Yusufeli karayolu üzerindeki Şavşat yol kavşağından yaklaşık 15 km mesafedeki Bağlık mevkiindedir. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 366 m'dir. İstasyondaki akım verilerinin süresi 1 Ocak 1989'dan şimdiye kadardır. Bu çalışmada

1 Ocak 2003 tarihinden 30 Eylül 2010 tarihine kadar olan 2830 günlük akım verisi kullanılmıştır.

3.5 Çoklu Doğrusal Regresyon

Çoklu doğrusal regresyonun temel amacı, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkileme oranını hesaplayarak bir model oluşturmaktır. Böylece bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişkenlerden hangilerinin bağımlı değişken üzerinde daha etkili olduğu anlaşılabilir. bağımlı değişken “y”, bağımsız değişkenler “ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ” ile gösterildiğinde aralarındaki ilişki;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (3.1)$$

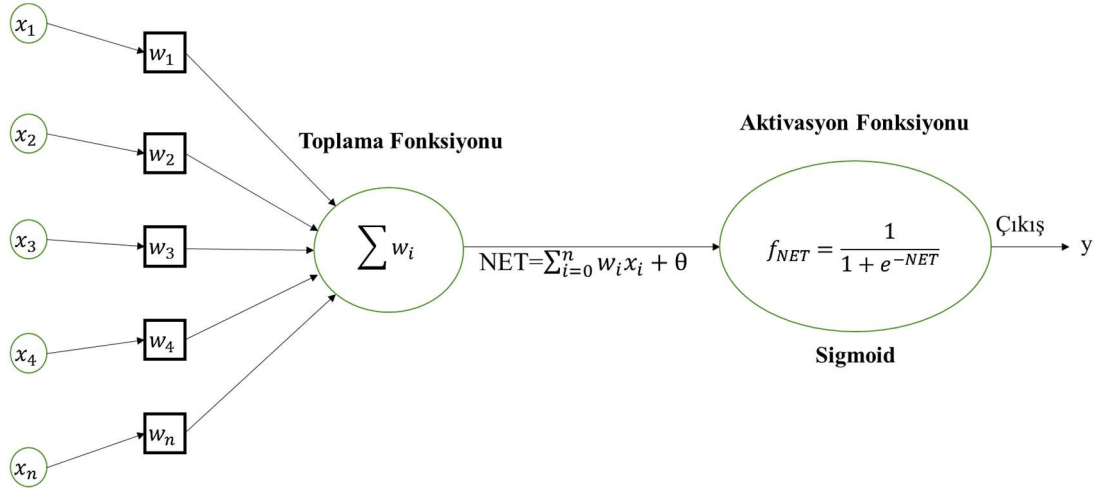
Şeklinde gösterilir. Bu ifadede “ β ” regresyon katsayısını ve “ ε ” hatayı temsil etmektedir. Diğer bir ifadeyle β ifadesi, bağımsız değişken olan x değerlerinin bağımlı değişken olan y üzerindeki etkisidir. Başka bir ifadeyle bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki bağın ne kadar kuvvetli olduğu bulunur.

3.6 Yapay Zeka Yöntemleri

Bu çalışmada hidrolojik modellemede yaygın olarak kullanılan YSA, GEP ve ANFIS yapay zeka yöntemleri ve daha klasik bir istatistik yöntem olan ÇDR, modellerinden elde edilen veriler gözlem verileri ile karşılaştırılacaktır.

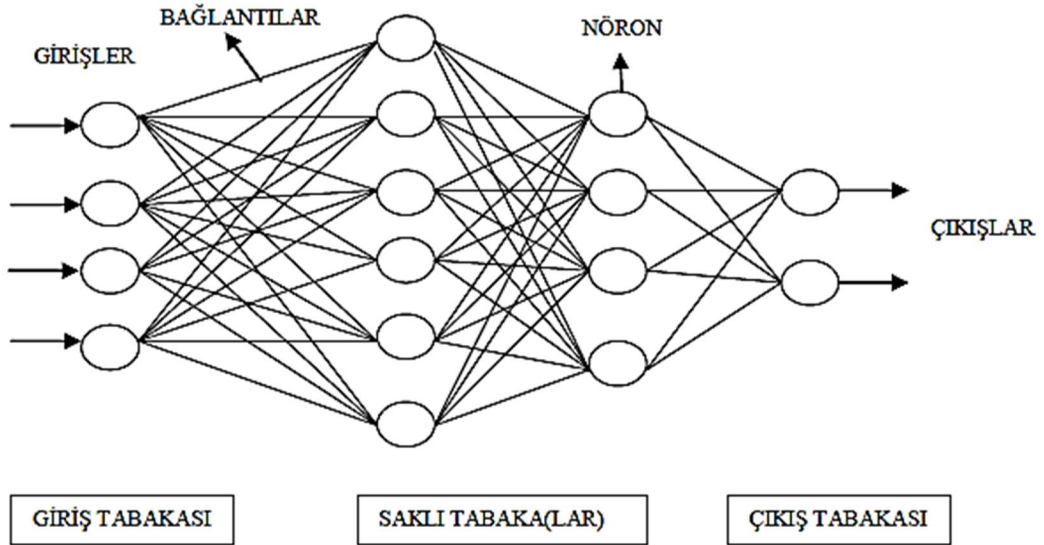
3.6.1 YSA

YSA, beynin çalışma prensiplerinden esinlenerek oluşturulan matematiksel algoritmaların oluşturulmasıyla ortaya çıkmış bir kavramdır. Temel olarak insan beynini oluşturan nöronların matematiksel olarak modellenip algoritmalarının oluşturulması esasına dayanır. Şekil 3.12’de YSA’daki bir nöronun çalışma şekli görselleştirilmiştir.



Şekil 3.13 Bir nöronun çalışma prensibi

YSA'nın genel ağ yapısı Şekil 3.14'te verildiği gibidir.



Şekil 3.14 YSA'nın genel ağ yapısı

YSA ağ mimarisine bakıldığında genel olarak 3 bölümden oluşur. Bu bölümleri; giriş katmanını, ara veya saklı katmanlar ve çıkış katmanını olarak tanımlayabiliriz. Burada asıl önemli olan ara katmanlardır. Çünkü algoritmanın çalıştığı katman bu kısımdır.

3.6.1.1 YSA'nın öğrenme mekanizması

YSA'nın iki çeşit öğrenme mekanizması bulunur. Bunlar denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme. Bu öğrenme mekanizmaları arasındaki temel farklılık çıkış

verisinin bulunup bulunmaması ile ilgilidir. Eğer çıkış verisi varsa bu denetimli öğrenme olarak tanımlanır. Bu durumda YSA, girdiler ile çıktılar arasında matematiksel bir model oluşturarak girdiler ve çıktıları eşleştirir. Denetimli öğrenme mekanizması ile regresyon ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilir. Fakat çıktı verileri bulunmuyorsa bu denetimsiz öğrenme olarak tanımlanır. Buradaki temel mekanizma, eldeki girdi verilerinin istatistiksel parametrelerini araştırır ve veriler burada çeşitli kümelerle ayrılır.

3.6.1.2 Ağ mimarisi ve bilginin akış yönü

YSA ile ilgili bir diğer husus verinin akış yönüdür. İki çeşit veri akış yönü bulunur. İlk olarak ileri beslemeli ağ modelinde bilgi akışı sürekli ileri doğrudur. İkinci olarak geri beslemeli ağ modelinde bilgi akışı geri yönlüdür. YSA’da birçok ağ mimarisi çeşidi bulunmaktadır. Hidrolojik modelleme açısından bunlardan üçü öne çıkmaktadır. Bunlar:

- İleri Beslemeli Geriye Yayılım Sinir Ağı (İBGYSA): Bu YSA mimarisinde başlangıçta bağımsız değişkenlere rastgele ağırlıklar atanmaktadır. Başlangıç değerinden itibaren ortaya çıkan hata miktarı, istenilen eşik değerin altına düşene kadar geriye doğru yayılarak ağırlıklar yeniden belirlenir. Hata oranı, belirlenen eşik değerin altına düştüğünde YSA eğitimi durdurur. Bu ağ mimarisinin etkili olması sebebiyle hâlâ yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok problemde başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle nonlineer sistemlerin modellenmesinde başarılıdır. Bu yüzden hidrolojide çokça kullanılmaktadır.
- Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı (GRYSA): Specht tarafından oraya atılmıştır.
- Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA): Bu mimarideki temel fikir radyal taban fonksiyonu istenen f fonksiyonuna yaklaşacak şekilde ağırlıkları yeniden ayarlanır. Bu ağ mimarisi üç katmanlı bir yapıdadır. Burada girişteki katman giriş vektör uzayıyla, çıkış katmanı ise örüntü katmanı ile ilişkilidir. Bu sayede gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar belirlenir.

3.6.1.3 Eğitim algoritmaları

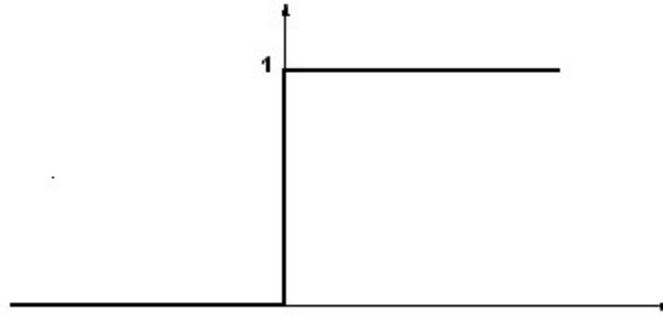
YSA’da değinilmesi gereken önemli konulardan biri de ağın öğrenme algoritmalarıdır. Bunlardan en önemlilerini sıralarsak:

- Levenberg-Marquardt
- Bayesian regularization (Bayes düzenleme algoritması)
- Scaled conjugate gradient backpropagation (Ölçekli eşlenik gradyan geri yayılımı)

Levenberg-Marquardt algoritması, diğer algoritmalarından daha fazla bellek gerektirmesine rağmen, genellikle en hızlı eğitim algoritmasıdır. Buna ek olarak en çok kullanılan öğrenme algoritmalarından biridir. Bundan dolayı bu çalışmada öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt seçilmiştir.

3.6.1.4 Transfer fonksiyonları

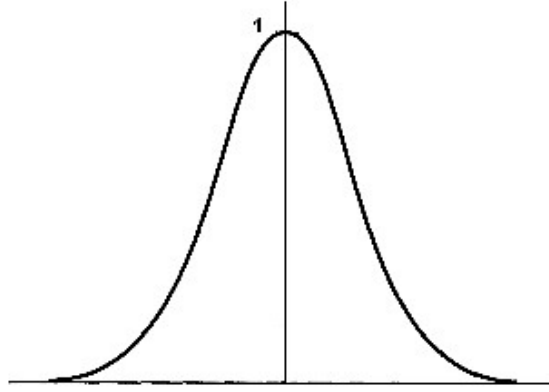
YSA’da kullanılan çeşitli transfer fonksiyonları bulunmaktadır. Transfer fonksiyonu, giriş sinyallerini çıkış sinyallerine çeviren önemli elemanlardandır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan beş tanesi sıralanırsa: birim basamak (unit step), sigmoid, gauss (gaussian), parçalı doğrusal (Piecewise linear) ve doğrusal (linear). Birim basamak fonksiyonunda çıktı, toplam girdinin bazı eşik değerlerinden büyük veya küçük olmasına bağlı olarak iki seviyeden birine ayarlanır.



Şekil 3.15 Birim basamak fonksiyonu

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } x < 0 \text{ ise,} \\ 1 & \text{eğer } x \geq 0 \text{ ise,} \end{cases} \quad (3.2)$$

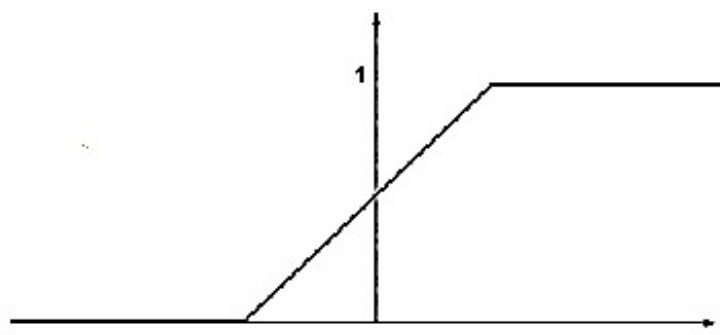
Gauss fonksiyonları, çan şeklindeki eğrilerdir. Düğüm çıktısı (yüksek/düşük), net girdinin seçilen ortalama değerine ne kadar yakın olduğuna bağlı olarak sınıf üyeliği (1/0) açısından yorumlanır.



Şekil 3.16 Gauss transfer fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.3)$$

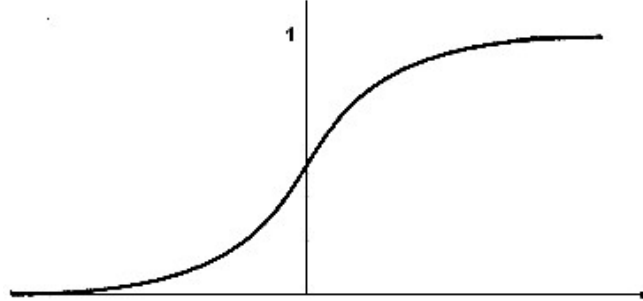
Parçalı doğrusal fonksiyonda çıktı, toplam ağırlıklı çıktı ile orantılı olacak şekildedir.



Şekil 3.17 Parçalı doğrusal transfer fonksiyonu

$$f(x) = \begin{cases} \text{eğer } x \leq x_{min} \text{ ise, } 0 \\ \text{eğer } x_{max} > x > x_{min} \text{ ise, } mx + b \\ \text{eğer } x \geq x_{max} \text{ ise, } 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

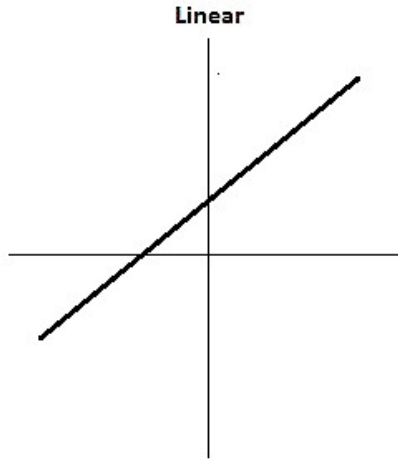
Sigmoid işlevi, lojistik ve teğetsel olmak üzere 2 işlevden oluşur. Lojistik fonksiyonun değerleri, teğetsel fonksiyon için 0 ile 1 ve -1 ile +1 arasında değişir.



Şekil 3.18 Sigmoid transfer fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \quad (3.5)$$

Lineer aktivasyon fonksiyonu, nöronun ağırlıklı toplam girdilerini lineer bir fonksiyon kullanarak bir çıktıya dönüştürür.



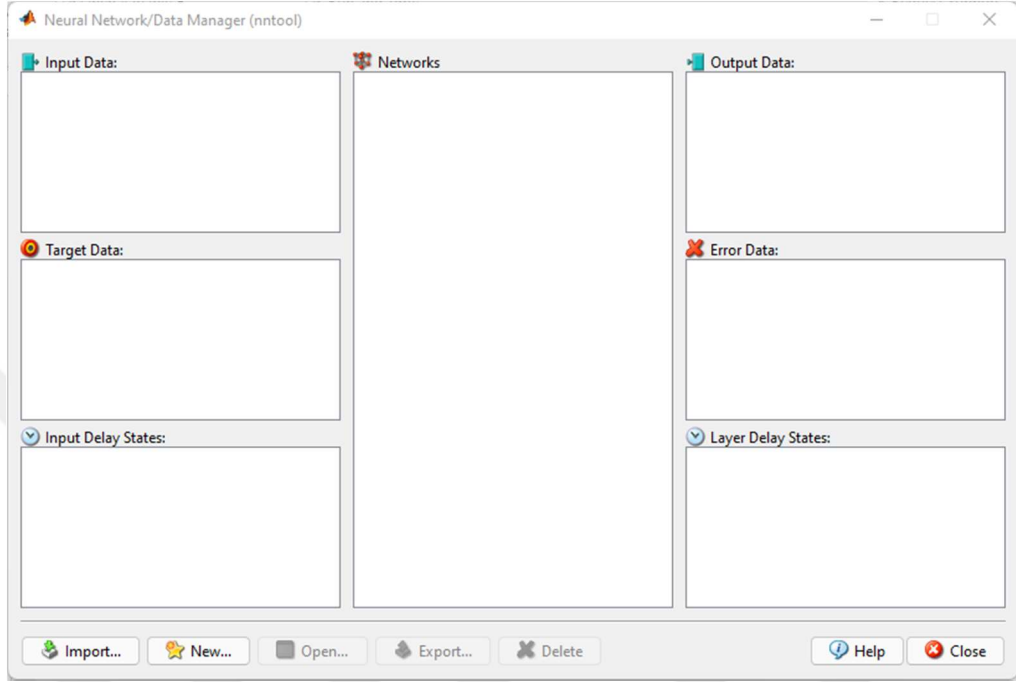
Şekil 3.19 Lineer transfer fonksiyonu

Bu tez çalışmasında transfer fonksiyonu olarak sigmoid seçilmiştir.

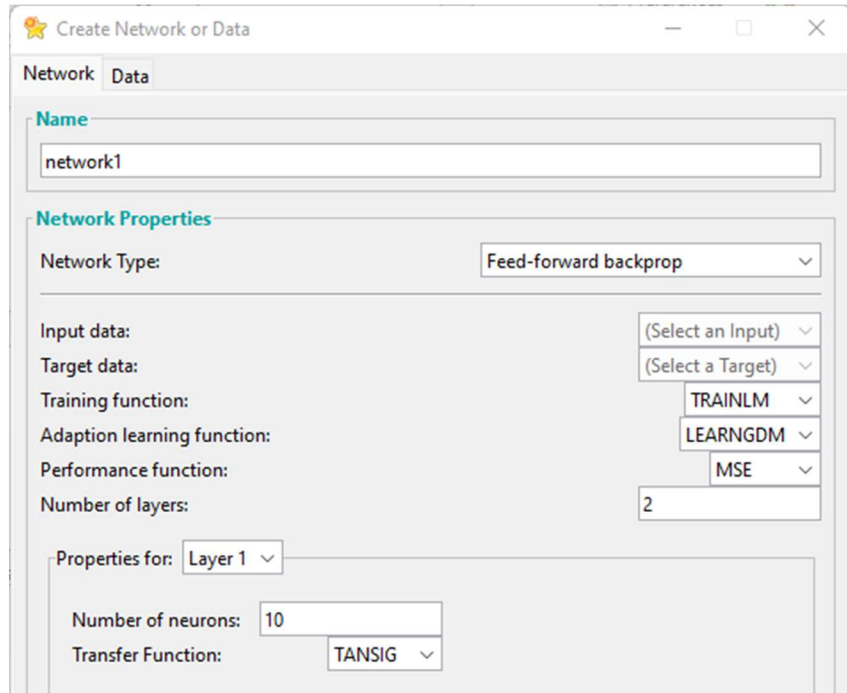
3.6.1.5 Matlab'ın YSA aracı

Matlab, çok amaçlı sayısal hesaplama yazılımıdır. Her mühendislik dalı için çeşitli araçları içerisinde barındırır. Bunun yanında kendi yazılım dili mevcuttur. Bu sayede

matematiksel modeller ve algoritmalar yazılabilmektedir. Matlab'ın bir diğer avantajı ise YSA araçlarını içerisinde barındırmasıdır. Hem grafik arayüzü ile hem de nntool veya nnstrat komutları ile YSA araçlarına ulaşılabilir. Nntool veya nnstrat komutlarının girilmesi ile ilk olarak veri yönetim arayüzü görülür (Bkz. Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Matlab YSA veri yönetim arayüzü



Şekil 3.21 Matlab YSA ağ konfigürasyon arayüzü

Buradan girdi ve çıktı veri setleri eklenebilmektedir. Veriler eklendikten sonra YSA'nın tanımlanması gerekmektedir. Bunun için "New" sekmesinden YSA'nın konfigürasyonunun yapılacağı sekme açılır. Bu arayüzden gizli katman sayısı, eğitim fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve ağ mimarisi gibi birçok ayarlama yapılabilmektedir. Bu sekmenin görünümü Şekil 3.21'de gösterilmektedir.

Bu çalışmada girdi olarak YSA eğitiminde verilerin %70'i (2000), %15'lik (415) kısmı test verisi ve %15'lik(415) kısmı doğrulama verisi olarak ayrılmıştır.

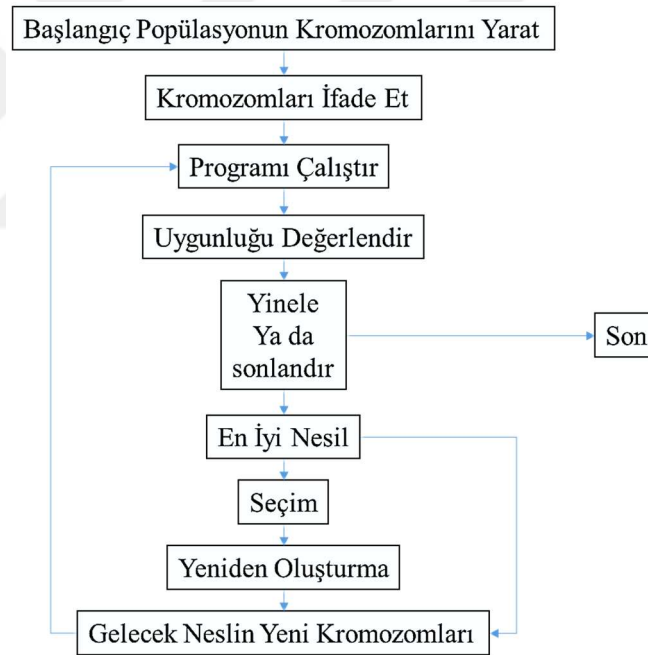
3.6.2 GEP

Genetik Algoritma (GA) ve Genetik Programlamanın (GP) bir uzantısı olan GEP, evrimsel algoritma ailesinin bir üyesi olarak tanımlanır. Burada GA genelleştirilerek elde edilmiş olan GP gibi GEP de problemleri kendi alanlarından bağımsız olarak çözmek için otomatik olarak programlar oluşturmayı amaçlar. Yani GEP'in çalışma alanı bilgisayar problemlerinden ve matematiksel problemlerden oluşmaktadır. Burada GEP ve GP arasındaki en önemli fark, GEP, bir ifade ağacına çevrilebilen bilgisayar programlarının doğrusal sabit uzunluklu bir temsilini benimsemesidir. Buna karşılık, GP tipik olarak doğrudan değişken boyutlu bir sözdizimi ağacı gösterimi kullanır. Bu üç algoritma arasındaki asıl fark bireylerin doğasından kaynaklanmaktadır. GP'de bireyler farklı boyutlarda ve şekillerde (potansiyel çözümleri temsil eden kromozomlar) doğrusal olmayan varlıklar iken, GA'da, sabit uzunlukta (kromozomlar) olan doğrusal dizelerdir. Amaç fonksiyonuna göre, her bir varlık farklı uygunlukları sergiler. Aynı zamanda, doğrusal olmayan varlıklar, diyagramlar veya ağaçlar şeklinde temsil edilebilirler. GEP'de ise bireyler, farklı şekillerde (basit diyagram gösterimleri veya ifade ağaçları) ve boyutlarda doğrusal olmayan varlıklar olarak ifade edilen sabit uzunlukta (kromozomlar) doğrusal dizeler olarak kodlanmıştır (Ferreira, 2001).

GEP kullanılarak bir problemin çözümünde beş ana adım bulunmaktadır. Bu adımlardan ilki, bilgisayar programında popülasyonda kullanılacak girdi (terminal) veri setinin belirlenmesidir. İkinci adım olarak fonksiyonların belirlenmesi gerekmektedir. Bu fonksiyon setinde, aritmetik operatörler (*, /, -, +), mantıksal

ifadeler (eğer, ise, başka) ve matematiksel fonksiyonlar (tanh, sin, cos) gibi elemanlar bulunmaktadır. Üçüncü adımda ise problemin çözümü için programın performans değerlendirme kriterinin belirlenmesidir. Dördüncü adımda kontrol parametrelerinin olduğu çalışma aşaması kontrol edilir. 5. ve son adımda çalışma sonlandırılır (Koza, 1992)

GEP algoritmasının önemli adımları Şekil 3.22’de verilmiştir. Başlangıç olarak belli bir sayıdaki bireyin kromozomları rastgele üretilir. Ardından bu kromozomlar ifade edilir ve her bir bireyin uygunluğu, fitness kümesi ile değerlendirilir. Sonrasında yeni özellikleriyle üremek ve modifikasyon ile yeniden oluşmak için bireyler uygunluklarına göre seçilir. Bu seçim aşamasına, yeni bireyler de tabi tutulur. İyi bir çözüm bulunana kadar veya belirlenen sayıda işlem yinelenir (Ferreira, 2006).



Şekil 3.22 Bir gen ifade programının akış şeması (Ferreira, 2006)

3.6.2.1 GEP’in kromozom temsili

Gen ekspresyon programlamasında, genom veya kromozom, bir veya daha fazla genden oluşan sabit uzunlukta doğrusal, sembolik bir diziden oluşur. Her genin kendisi, çeşitli ilkellerden oluşan sabit uzunlukta bir dizidir. GEP’te iki tür ilkel vardır: fonksiyon ve terminal (girdi). Fonksiyon, bir veya daha fazla argümanı kabul edebilen ve değerlendirmeden sonra bir sonuç döndüren bir ilkeldir. Terminal ise belirli bir

programdaki bir sabiti veya değişkeni temsil eder. GEP'te bir gen iki kısma ayrılır. İlk kısım (baş) fonksiyonlar ve terminallerden oluşurken, ikinci kısım (kuyruk) sadece terminaller tarafından oluşur. Baş kısmı yeşil, kuyruk kısmı sarı renkte olan, baş uzunluğu 5 ve kuyruk uzunluğu 4 olan bir gen örneği Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

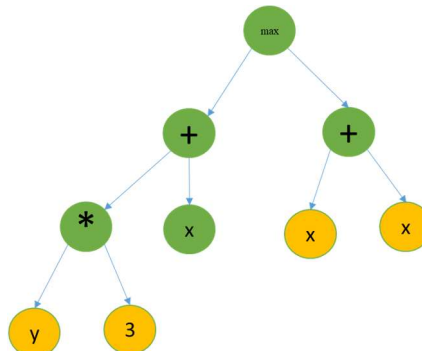


Şekil 3.23 Bir gen örneği

Şekil 3.23'te verilen gen örneğinde üç tip fonksiyon ($\max$, $+$, $*$) ve üç terminal (x , y , 3) vardır ve burada x , y girdi değişkenleridir.

3.6.2.2 İfade ağacı

GEP'te ifade ağaçları, bir genetik verinin kodunu şematik olarak temsil eder. Şekil 3.23'te verilen genin genetik bilgisinden faydalanarak Şekil 3.24'te verilen GEP'te ifade ağacı (Expression Tree – ET) elde edilebilir. Genini ilk ögesinden başlayarak her fonksiyon seviye-sıra geçişi yoluyla ifade ağacında yerleştirilir.



Şekil 3.24 Örnek genin ifade ağacı

Berta Suyu Havzasının yağış – akış ilişkinin modellenmesi için yağış ve akışın çeşitli senaryoları girdi, akış verisi çıktı olarak kullanılmıştır. Performan değerlendirme ölçüsü olarak determinasyon katsayısı (R^2) ve karekök ortalama hata (KOKH) seçilmiştir. Fonksiyon setinde aritmetik operatörler (+, -, *, /) ve bazı matematiksel

fonksiyonlar (exp, ln, inv, 3rt, min, max, avag) kullanılmıştır. Gen sayısı 3 ve kromozom sayısı 30 olacak şekilde baş uzunluğu 8 seçilmiştir. İfade ağaçları için bağlantı operatörü olarak toplam (+) seçilmiştir. Gep model parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 GEP model parametreleri

Gen Sayısı	3
Kromozom Sayısı	30
Başlık Uzunluğu	8
Bağlantı Fonksiyonu	Toplam (+)
Mutasyon Oranı	0,05
Gen Kombinasyon Oranı	0,0277
Gen Aktarım Hızı	0,0277

GEP modellemesinde girdi olarak kullanılan verilerin %70’i (2000) eğitim verisi, kalan %30’luk (830) kısmı test verisi olarak kullanılmıştır.

3.6.3 ANFIS

Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System –ANFIS), YSA ve bulanık çıkarım sistemi olarak tanımlanan bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemlerinin bir kombinasyonu olup bir hibrit yapay zeka yöntemidir. ANFIS mimarisi, beş katmanlı bir ileri beslemeli sinir ağı topolojisinden ve Sugeno’nun eğer-ise kuralını öne sürdüğü bulanık çıkarım yaklaşımından oluşur (Wei, 2016).

Girdi ve çıktı değerleri bilinen bir problemin bulanık mantık ile modellenmesi için üyelik fonksiyonu ve kural tabanının en iyi duruma getirilmesi için YSA’nın öğrenme metotlarından yararlanır. Bu sayede bulanık mantık sistemlerine öğrenme kabiliyeti sağlanmış olunur.

ANFIS, öğrenme metodu olarak geri yayılım metodunu veya geri yayılım metodu ile en küçük kareler kestirim metodu kombinasyonunu kullanmaktadır (Jang, 1993).

3.6.3.1 ANFIS ağ mimarisi

ANFIS, 5 katmandan oluşan YSA mimarisini kullanmaktadır. Katmalarda bulanık mantık kural sayısı kadar nöron bulunur. Şekil 3.25'te 2 girişli ve 2 kurallı ANFIS ağ mimarisi örneği görülmektedir. Basitlik için, incelenen bulanık çıkarım sisteminin iki x ve y girdisi ve bir z çıktısı olduğunu varsayıyoruz. Birinci dereceden bir Takagi-Sugeno bulanık modeli için, iki bulanık eğer-öyleyse kuralına sahip ortak bir kural kümesi aşağıdaki gibidir:

Kural 1: **Eğer** $x=A_1$ ve $y=B_1$ **ise** $f_1= p_1x + q_1y +r_1$

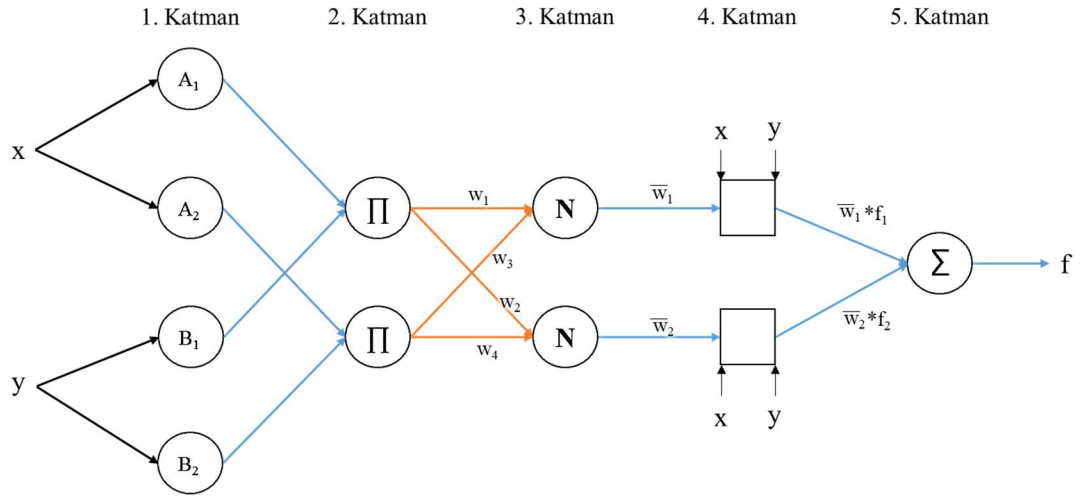
Kural 2: **Eğer** $x=A_2$ ve $y=B_2$ **ise** $f_2= p_2x + q_2y +r_2$

En son çıkış her bir kuralın ağırlıklarının ortalamasıdır (Jang, 1993).

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada w ile gösterilen sistem tarafından atanan ağırlık değerleridir. Giriş ve çıkışları bilinen problem için w değeri otomatik olarak atanmaktadır.



Şekil 3.25 İki girişli, 2 kurallı ANFIS ağ mimarisi.

- 1.katmanda iki girdinin her birine 2 üyelik fonksiyonu tanımlandığı için katmanda 4 hücre bulunmaktadır ($i=4$).
- 2.katmanda cebirsel çarpım yapılarak kuralların kesinlik dereceleri bulunur.
- 3.katmanda kuralların normalizasyonu yapılır.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad (3.7)$$

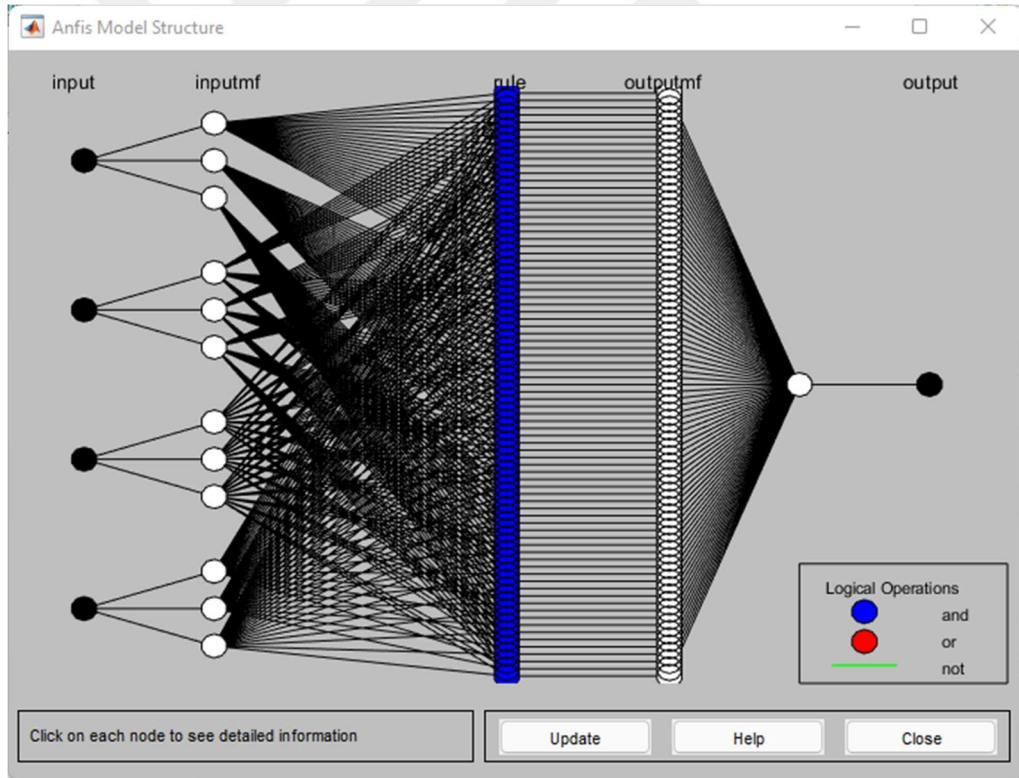
- 4.katmanda ise bir önceki katmanda normalizasyonu gerçekleştirilmiş olan kuralların her biri kendi çıkış fonksiyonuyla çarpılır.

$$\bar{w}_i * f_i = w_i * (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.8)$$

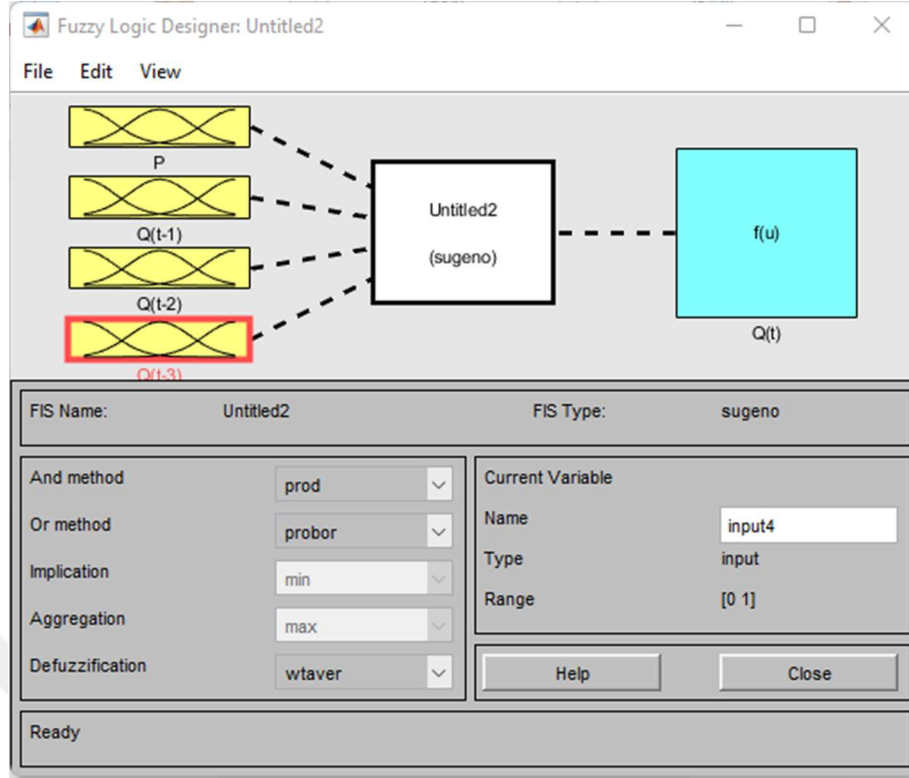
- 5.katmanda, 4. Katmandan çıktılar toplanarak çıkış sayısal değerleri bulunur.

$$\sum_i \bar{w}_i * f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.9)$$

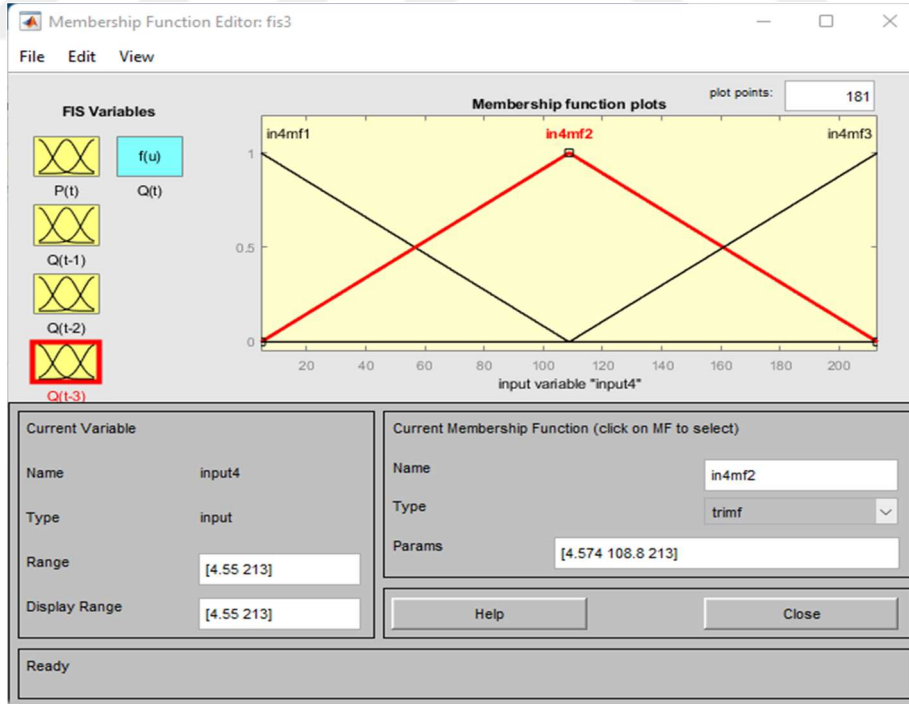
Şekil 3.26’da dört girişli ve üç kurallı bir ANFIS ağ mimarisi gösterilmiştir. Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da ise Matlab programının Fuzzy Designer aracındaki ANFIS’in program konfigürasyon arayüzleri görülmektedir.



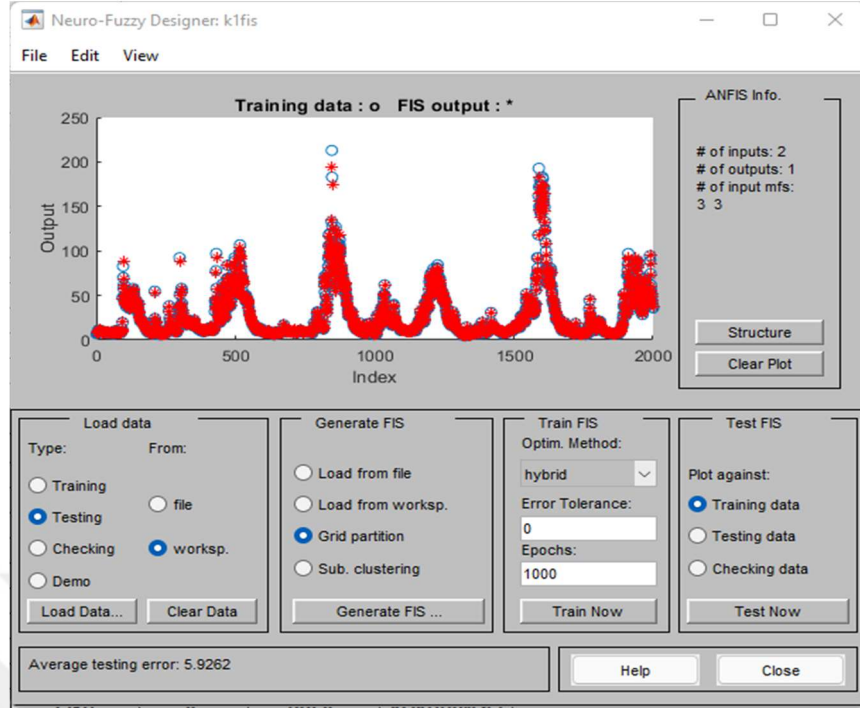
Şekil 3.26 Matlab'da dört girişli ve 3 kurallı ANFIS ağ mimarisinin gösterimi



Şekil 3.27 Matlab'da giriş değişkenlerinin eklendiği arayüz



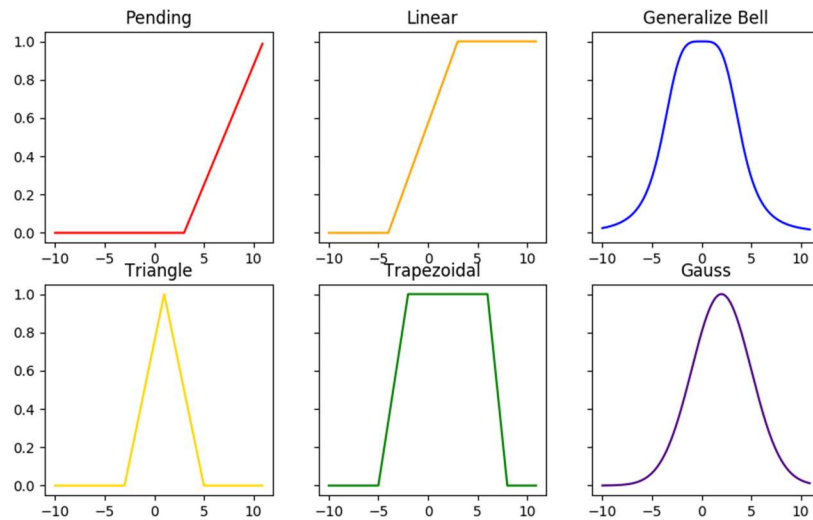
Şekil 3.28 Matlab arayüzünde üyelik fonksiyonu konfigürasyonlarının yapılması



Şekil 3.29 Matlab "Fuzzy Designer" aracı kullanılarak ANFIS'in eğitilmesi ve testlerin yapılması

3.6.3.2 Üyelik fonksiyonları (membership function)

Üyelik fonksiyonları bulanık mantıkta bir verinin bir kümeye aitlik derecesini belirler. Bu üyelik derecesini 0 ile 1 arasında değerlendirir. Başka bir deyişle üyelik fonksiyonları, veriler bulanık mantık sistemine girmeden önce bulanıklaştırma (fuzzification) ve sistem çıkarken durulaştırma (defuzzification) işlemlerinin gerçekleşmesini sağlar. Şekil 3.30'de farklı üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 3.30 Farklı üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.

Bu çalışma için farklı üyelik fonksiyonları denenip üçgen (triangle) tipi üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir.

3.6.3.3 Bulanık küme kavramı

Klasik küme mantığından farklılaşarak bir elemanın farklı kümelerle aitliğinin üyelik dereceleriyle belirlenmesi prensibine dayanır. Geleneksel kümelerin belirlediği kesin sınırlar bulanık kümelerde bulunmamaktadır. İlk olarak Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır.

3.7 Model Senaryoları

Modeller oluşturulurken farklı girdi birleşimleri kullanılmıştır. Tablo 3.3'te verilmiş olan senaryolara göre $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-3)$, $Q(t-4)$ sırasıyla bir, iki, üç ve dört gün önceki akım değerlerini, $P(t-1)$ ve $P(t-2)$ değerleri ise sırasıyla bir ve iki gün önceki yağış değerlerini göstermektedir. $Q(t)$, çıktı değeri olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Yağış-Akış ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan senaryolar

Senaryo	Girdi	Çıktı
K1	$P(t), Q(t-1)$	$Q(t)$
K2	$P(t), Q(t-1), Q(t-2)$	$Q(t)$
K3	$P(t), Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3)$	$Q(t)$
K4	$P(t), Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), Q(t-4)$	$Q(t)$
K5	$P(t), P(t-1), Q(t-1)$	$Q(t)$
K6	$P(t), P(t-1), Q(t-1), Q(t-2)$	$Q(t)$
K7	$P(t), P(t-1), Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3)$	$Q(t)$
K8	$P(t), P(t-1), P(t-2), Q(t-1)$	$Q(t)$
K9	$P(t), P(t-1), P(t-2), Q(t-1), Q(t-2)$	$Q(t)$

Bu senaryoların oluşturulmasındaki temel amaç akım tahmini yapılacak günün akımı, önceki günlerin akımının bir fonksiyonudur. Buna ek olarak eklenen önceki gün yağışları topraktaki nem miktarını etkileyen bir parametre olmasından ötürü senaryolara eklenmiştir.

3.8 Performans Değerlendirme Kriterleri

Modellerin performans değerlendirme kriterleri olarak eğitim ve test süreçlerinin karekök ortalama karesel hata (KOKH) ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri

karşılaştırılmıştır. KOKH değerinin 0'a, R^2 değerinin 1'e yakın olması, model tarafından tahmin edilen değerin gerçek değere yakınsadığı anlamına gelir. Buna göre N toplam veri sayısı olmak üzere;

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{ölç.} - Q_{tah.})^2} \quad (3.10)$$

Burada, " $Q_{ölç.}$ " ölçülen akım değeri ve " $Q_{tah.}$ " tahmin edilen değerdir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ölç.} - Q_{ort.})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{ölç.} - Q_{tah.})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{ölç.} - Q_{ort.})^2} \quad (3.11)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada " $Q_{ölç.}$ ", gözlenen akım değerini, " $Q_{ort.}$ ", ortalama akım değerini, " $Q_{tah.}$ " ise tahmin edilen akım değerini ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada YSA, GEP, ANFIS yapay zeka yöntemleri ve istatistiksel bir yöntem olan ÇDR için farklı senaryolar ile modeller oluşturulmuştur. Her bir yöntem için 9 farklı senaryo denenerek eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir.

4.1 ÇDR Sonuçları

ÇDR’de amaç bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini istatistiksel olarak saptamaktır. Bu amaçla farklı girdi senaryoları ile çıktı olarak Q(t) akış verisi eşleştirilerek ÇDR parametreleri bulunmuştur. Çalışmada, ÇDR modellemesi için verilerin ilk 2000 günü (%70-yaklaşık 5,48 yıl) modelin kurulması için kullanılmıştır. Geri kalan 830 (%30-yaklaşık 1,52 yıl) günlük veri, modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Tablo 4.1’de senaryolardan ÇDR ile elde edilen model sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.1 ÇDR eğitim ve test sonuçları

Durum	Eğitim-R ²	Eğitim-KOKH	Test-R ²	Test-KOKH
K1	0,953	6,049	0,946	5,867
K2	0,955	5,928	0,946	5,750
K3	0,957	5,824	0,945	5,649
K4	0,957	5,825	0,945	5,650
K5	0,954	6,020	0,946	5,840
K6	0,955	5,908	0,946	5,731
K7	0,957	5,801	0,947	5,627
K8	0,954	6,015	0,946	5,834
K9	0,955	5,897	0,945	5,721

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere 7. senaryo (K7), hem eğitim hem test aşamasında en yüksek determinasyon katsayısı değeri vermekle birlikte en düşük KOKH değeri hesaplanmıştır. R² değerlerinin 0,80’dan büyük olması, girdi ve çıktılar arasında uyumlu bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte model performansının yüksek olduğuna işaret eder. K7’nin eğitim sürecinin regresyon istatistikleri Tablo 4.2’de verilmiştir

Tablo 4.2 ÇDR-K7 modelinin eğitim süreci için regresyon istatistikleri.

ÇDR-K7 Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,978
R Kare	0,957
Ayarlı R Kare	0,958
Standart Hata	5,801
Gözlem	2000

Hesaplama sonucunda bağımsız değişken katsayıları Tablo 4.3'te verilmiştir.

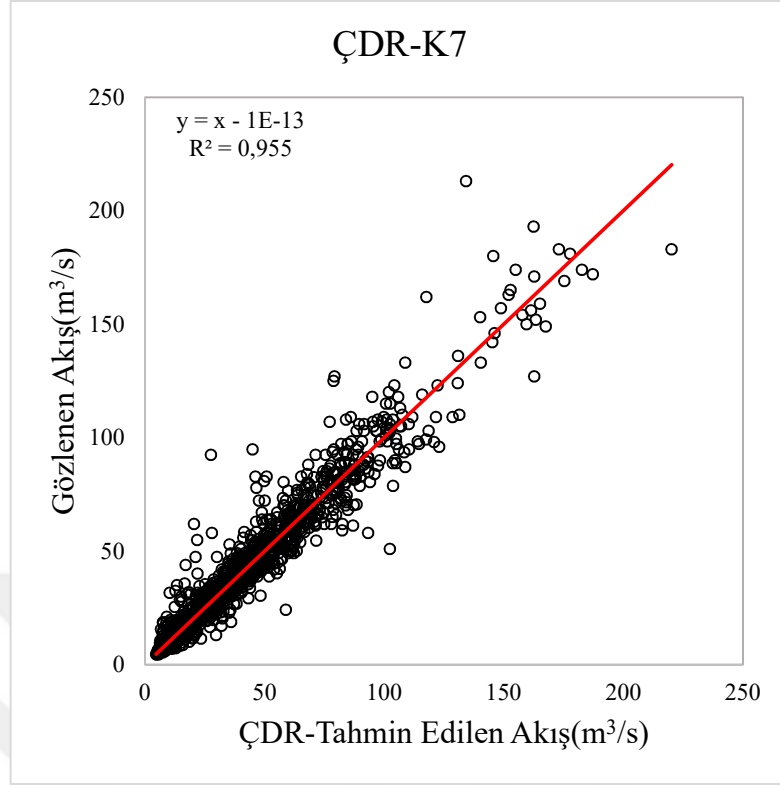
Tablo 4.3 ÇDR-K7 modeli için bağımsız değişken katsayıları.

Parametreler	Katsayılar	Standart Hata
P(t)	0,094561342	0,023327208
P(t-1)	0,097191266	0,023456827
Q(t-1)	1,198400747	0,021932212
Q(t-2)	-0,414475913	0,033362527
Q(t-3)	0,189459859	0,021794572

Tablo 4.3'teki değerleri (3.1) formülünde yerine bırakılırsa:

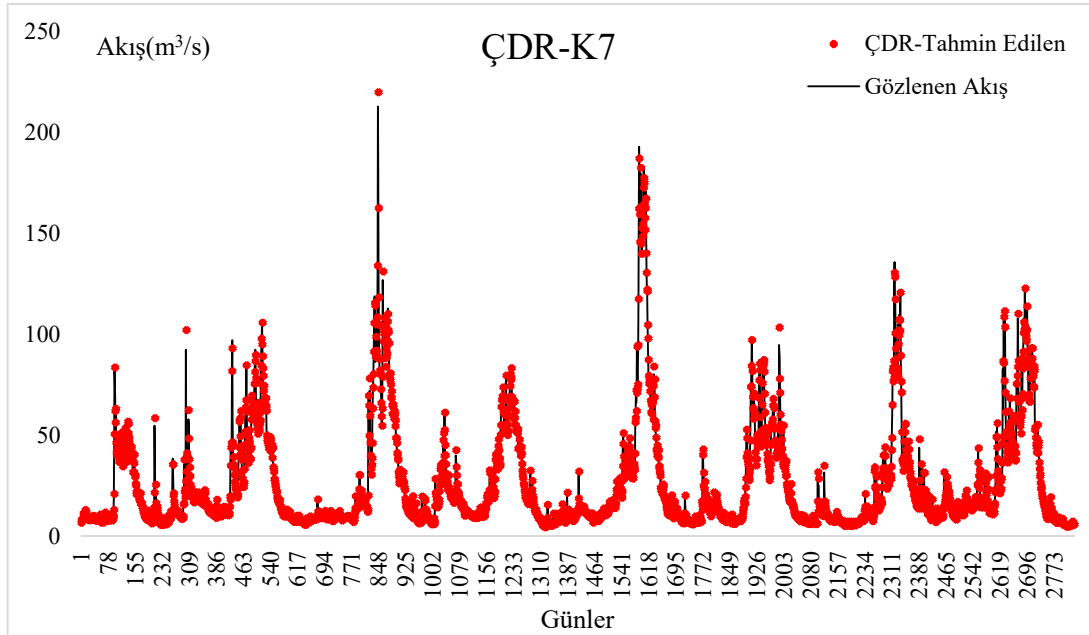
$$Q_{\text{tah.}} = 0,094561342 * P(t) + 0,097191266 * P(t-1) + 1,198400747 * Q(t-1) - 0,414475913 * Q(t-2) + 0,189459859 * Q(t-3)$$

Buradan anlaşılacağı üzere tahmin edilen günün akışı, en çok önceki günün akış miktarından etkilenmektedir.



Şekil 4.1 ÇDR-K7 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu

Gözlenen akış ile model sonucunda tahmin edilen akış değerlerinin korelasyonunu gösteren grafik Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2 Gözlenen akış değerleri ve ÇDR-K7 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi

Gözlenen akış değerleri ile model sonucunda tahmin edilen akış değerlerinin aynı grafik üzerinde zaman serisi şeklindeki grafiği Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

4.2 YSA Sonuçları

YSA, insan beynini oluşturan nöronların çalışma prensibinden yola çıkarak oluşturulan bir yapay zeka yöntemidir. Nöronları çalışma prensibi ve birbirleriyle olan ilişkileri sayesinde öğrenme ve bundan tahmin oluşturma işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. YSA’da kullanılacak veri setindeki girdi sayısı önemlidir. Belli bir seviyeye kadar modele verilecek girdi sayısı, ağın başarısını önemli ölçüde etkilemektedir. Veri sayısının fazla olması, ağın tahmin yeteneğini arttıracak yönde etki etmektedir. Ancak optimum bir seviyeden sonra veri sayısının artması, ağın tahminden ziyade ezber yapmasıyla sonuçlanabilmektedir. Bundan kaçınmak için deneme yanılma yöntemiyle girdi sağlanacak ideal veri sayısı saptanabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan ağ parametreleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 YSA eğitiminde kullanılan ağ için seçilen parametreler.

Ağ mimarisi	İBGYSA
Gizli tabakadaki nöron sayısı	10
Öğrenme Algoritması	Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu	Sigmoid
Performans Fonksiyonu	MSE
Deneme Sayısı	1000

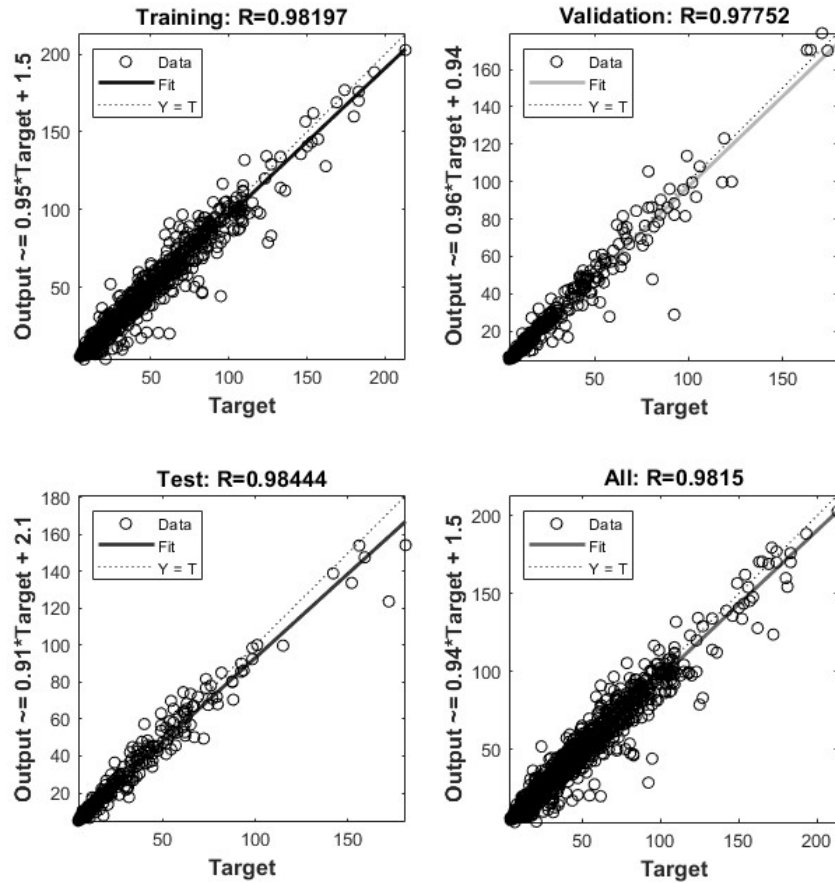
Ağ eğitilmeden önce veriler normalize edilmiştir. Normalizasyondaki temel amaç veri setindeki değişkenleri birim etkisinden kurtarmak ve YSA’nın daha doğru sonuç vermesini sağlamaktır. Normalizasyon için min-max yöntemi kullanılmıştır. Min-max yöntemi, verileri doğrusal olarak normalize eder. Veriler 0 ile 1 arasında normalize işlemine tabii tutulur. Minimum; bir verinin alabileceği en düşük değer iken, maksimum; verinin alabileceği en yüksek değeri ifade eder.

YSA modellemesi için verilerin %70’i (2000 gün) ağın eğitiminde kullanılmıştır. %15’i (415 gün) doğrulama işleminde ve kalan %15’i (430 gün) test işleminde kullanılmıştır. Kullanılan verilen zaman serisi şeklinde seçilmiştir. Yani ilk 2000 gün eğitim ve kalan 830 gün test-doğrulama işlemine ayrılmıştır.

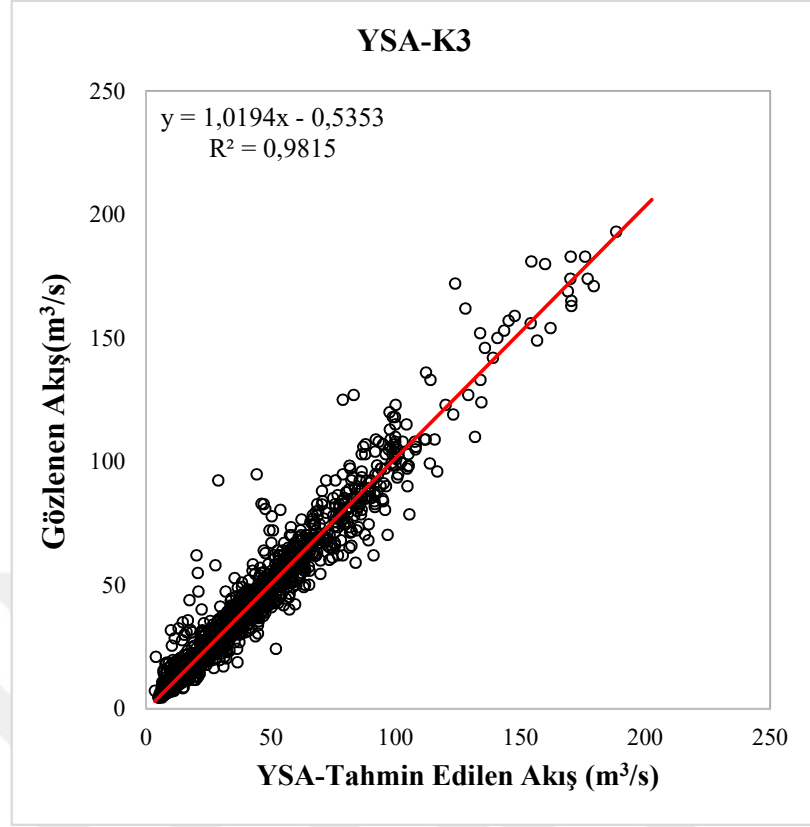
Tablo 4.5 YSA eğitim ve test sonuçları.

Durum	Eğitim- R^2	Eğitim-KOKH	Test- R^2	Test-KOKH
K1	0,953	5,913	0,975	5,905
K2	0,960	5,436	0,976	5,336
K3	0,982	5,202	0,984	5,115
K4	0,961	5,354	0,981	5,552
K5	0,956	5,718	0,978	5,329
K6	0,959	5,474	0,981	5,224
K7	0,961	5,376	0,978	5,136
K8	0,956	5,682	0,972	5,524
K9	0,959	5,496	0,980	5,287

Tablo 4.5’de görüldüğü üzere K3 senaryosu hem eğitim hem test sonucunda KOKH değeri en düşük ve R^2 değeri en yüksek olarak hesaplanmıştır.

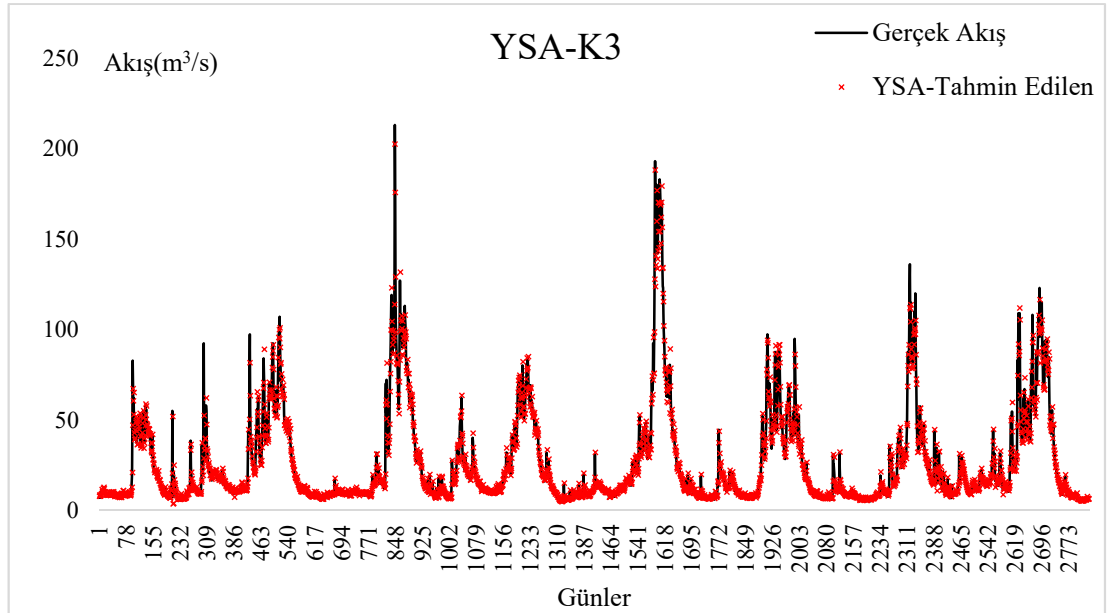


Şekil 4.3 YSA eğitim sonuçlarının Matlab görünümü



Şekil 4.4 YSA-K3 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu

Gözlenen akış ile model sonucunda tahmin edilen akış değerlerinin korelasyonunu gösteren grafik Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Gözlenen akış değerleri ve YSA-K3 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi

Gözlenen akış değerleri ile model sonucunda tahmin edilen akış değerlerinin aynı grafik üzerinde zaman serisi şeklindeki grafiği Şekil 4.5’te gösterildiği gibidir.

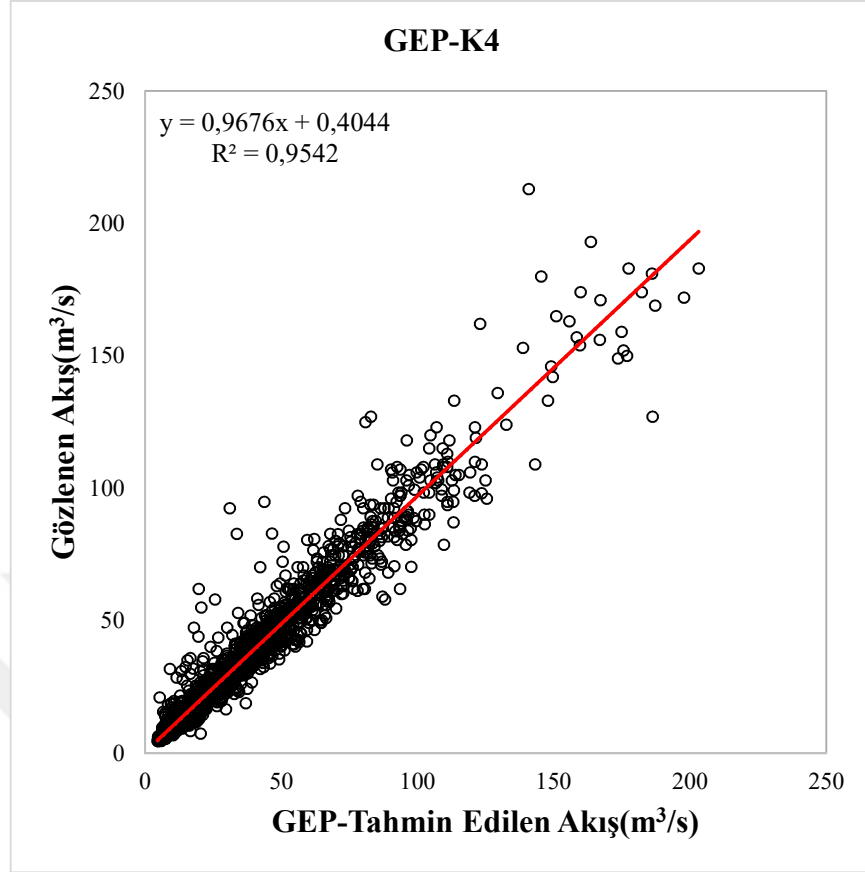
4.3 GEP Sonuçları

GEP, evrimsel algoritmalar ailesinden bir yapay zeka yöntemidir. Başlangıçta belli sayıdaki birey için rastgele kromozomlar atanır. Ardından evrimsel aşamalardan geçilerek uygunluklarına göre yeni bireyler seçilir. Hata oranı, istenilen eşik değerin altına düştüğünde yeni bireylerin üretimi durdurulur ve gen ifadesi elde edilir. Bu çalışma kapsamında GEP modellemesinde GeneXPro programı kullanılmıştır. Modeller oluşturulurken seçilen parametreler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 4.6 GEP eğitim ve test sonuçları.

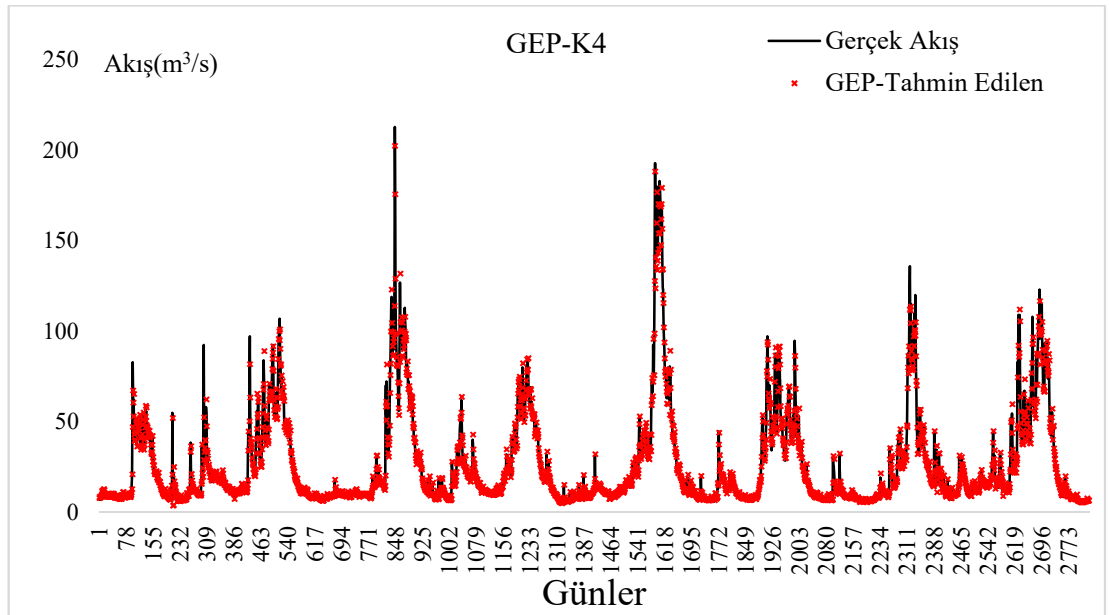
Durum	Eğitim-R ²	Eğitim-KOKH	Test-R ²	Test-KOKH
K1	0,952	5,964	0,948	5,666
K2	0,949	6,124	0,932	5,818
K3	0,943	6,490	0,933	6,166
K4	0,954	5,815	0,954	5,524
K5	0,952	5,941	0,942	5,644
K6	0,954	5,841	0,944	5,549
K7	0,953	5,880	0,953	5,586
K8	0,953	5,885	0,953	5,591
K9	0,953	5,869	0,953	5,576

GEP eğitim ve test aşamaları için R² ve KOKH sonuçları Tablo 4.6’da verilmiştir. Hem eğitim hem de test aşamasında en yüksek R² değerine sahip ve en düşük KOKH değerine sahip model K4 olarak belirlenmiştir. GEP-K4 modelinin gözlenen akış ve tahmin edilen akış grafiği Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 GEP-K4 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu

Gözenen akış ile GEP-K4 modelinden elde edilen tahmin akışının zaman serisi olarak Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Gözenen akış değerleri ve GEP-K4 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi

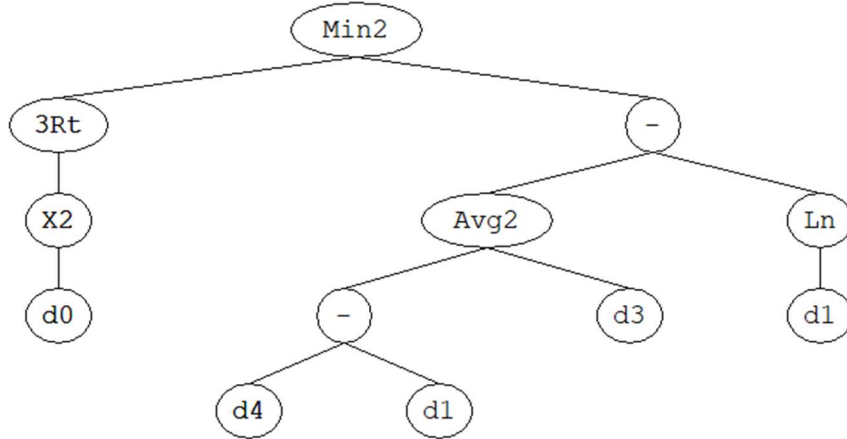
GEP-K4 model sonuçlarında ifade ağaçlarındaki değişkenlere karşılık gelen girdi değişkenleri Tablo 4.7’de belirtildiği gibidir.

Tablo 4.7 GEP ifade ağaçlarındaki değişkenlere karşılık gelen girdi değişkenleri

d0:	P(t)
d1:	Q(t-1)
d2:	Q(t-2)
d3:	Q(t-3)
d4:	Q(t-4)
c0:	-7,44

Eğitim ve test sonucunda elde edilen 1. İfade ağacı Şekil 4.8’de gösterildiği gibidir. Elde edilen ifade ağacının denklemi (4.1)’deki şekilde elde edilmiştir.

Sub-ET 1

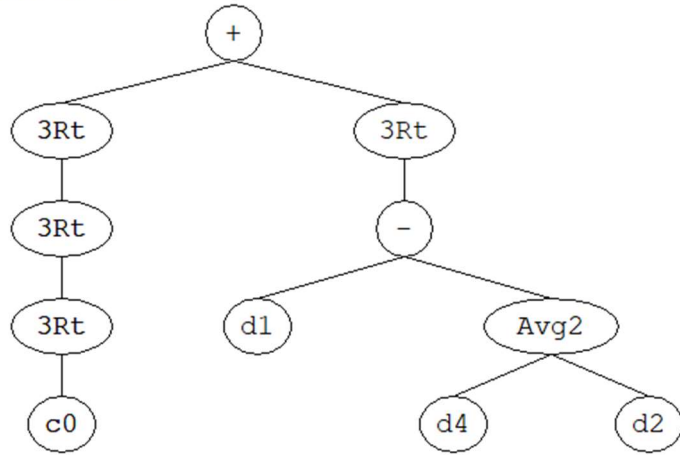


Şekil 4.8 GEP-K4 modelinin 1. alt ifade ağacı

$$\min\left[\left(\sqrt[3]{d0^2}\right), \left(\frac{d4 - d1 + d3}{2} + \ln(d1)\right)\right] \quad (4.1)$$

Elde edilen 2. ifade ağacı Şekil 4.9’da verilmiştir ve bu ifade ağacına ait denklem (4.2)’de gösterilmiştir.

Sub-ET 2

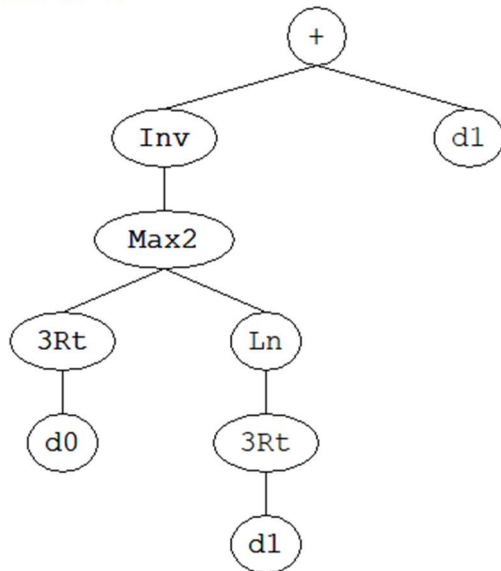


Şekil 4.9 GEP-K4 modelinin 2. alt ifade ağacı

$$\sqrt[3]{d1 - \frac{(d4 + d2)}{2}} + \sqrt[27]{c0} \quad (4.2)$$

3. ve son ifade ağacının gösterimi Şekil 4.10’de gösterildiği gibidir. Bu ifade ağacının denklemi (4.3)’de verilmiştir.

Sub-ET 3



Şekil 4.10 GEP-K4 modelinin 3. alt ifade ağacı

$$\ln[\max(\sqrt[3]{d0}, \ln \sqrt[3]{d1})] + d1 \quad (4.3)$$

İfade ağaçları için seçilen bağlantı fonksiyonu toplam (+) olduğu için her bir alt ifade ağacı toplanarak nihai denklem elde edilmiştir. Elde edilen nihai denklem (4.4)'te gösterilmiştir.

$$\min[(\sqrt[3]{(d0^2)}), (\frac{(d4-d1+d3)}{2} + \ln(d1))] + \sqrt[3]{d1 - \frac{(d4+d2)}{2}} + \sqrt[27]{C0} + \ln[\max(\sqrt[3]{d0}, \ln \sqrt[3]{d1})] + d1 \quad (4.4)$$

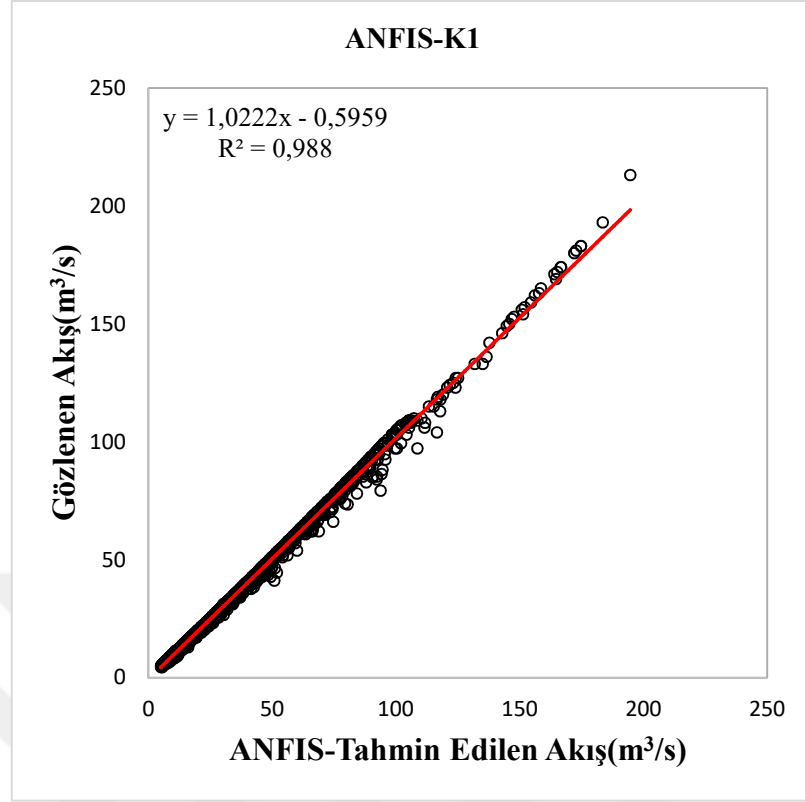
4.4 ANFIS Sonuçları

ANFIS, yapay sinir ağı ve bulanık mantığın birleşiminden oluşan bir hibrit yapay zeka yöntemidir. ANFIS, temel olarak ileri beslemeli 5 katmanlı YSA ağ mimarisini kullanır. Yapılan çalışmada farklı girdi senaryolarındaki her değişken girdi için 3 kural tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen (triangle) tipi fonksiyon seçilmiştir. Farklı girdi senaryoları için elde edilen sonuçlar Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 ANFIS eğitim ve test sonuçları

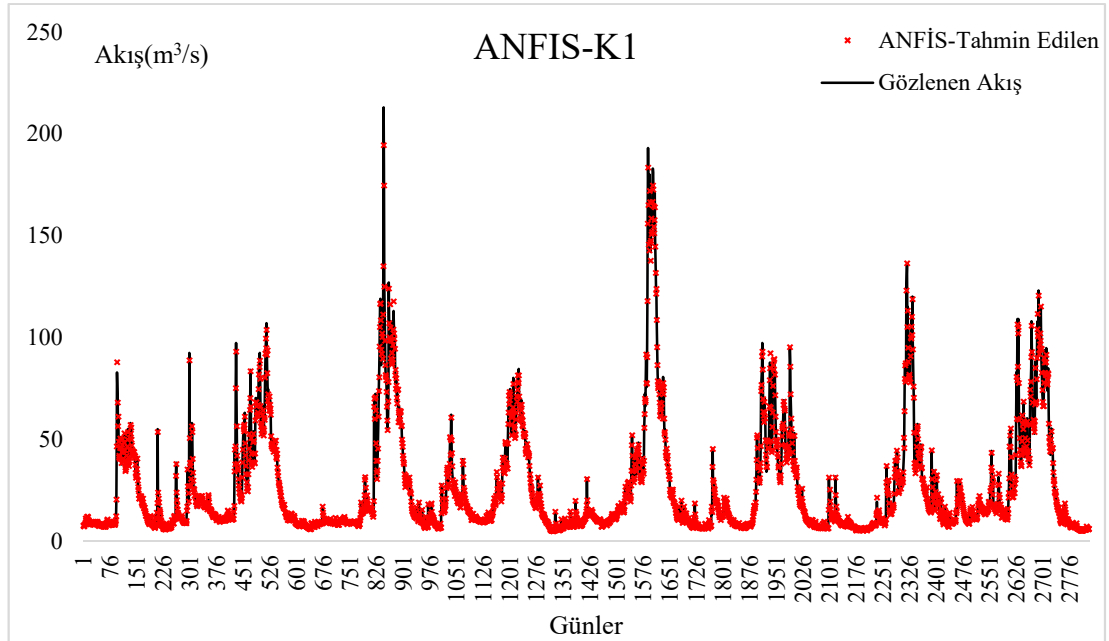
Durum	Eğitim-R ²	Eğitim-KOKH	Test-R ²	Test-KOKH
K1	0,988	4,770	0,959	4,675
K2	0,977	5,263	0,944	5,157
K3	0,955	4,994	0,889	4,894
K4	0,936	4,804	0,835	4,708
K5	0,983	5,763	0,949	5,648
K6	0,965	5,153	0,904	5,050
K7	0,942	5,926	0,848	5,808
K8	0,979	5,562	0,941	5,451
K9	0,948	4,886	0,863	4,788

Tablo 4.8'de elde edilen sonuçlara göre K1 senaryosu eğitim ve test aşamalarında R² değeri en büyük ve KOKH değeri en küçük olarak bulunmuştur. ANFIS-K1 modeli için gözlenen akış değerleri ve model sonucu elde edilen tahmin değerlerini gösteren grafik Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 ANFIS-K1 modeli için gözlenen değerlerin, model sonuçları ile korelasyonu

Model tahmin sonucu ve gözlenen akış değerlerinin zaman serisi grafiği Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Gözlenen akış değerleri ve ANFIS-K1 modeli ile tahmin edilen akış değerlerinin zaman serisi

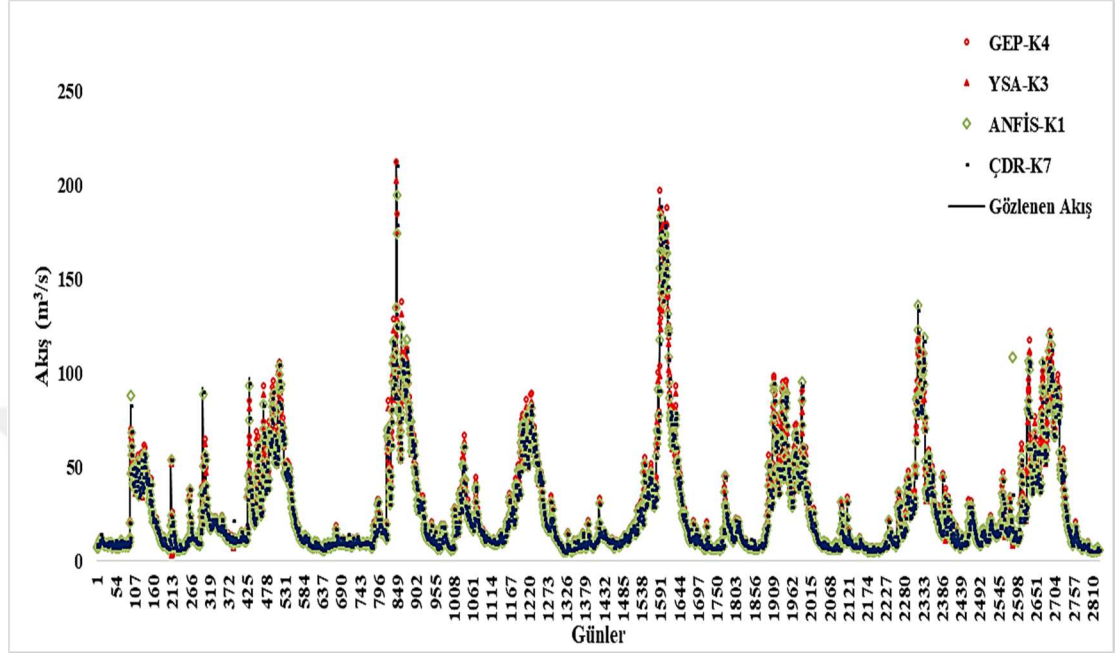
4.5 Genel Değerlendirme

Kullanılan tüm modeller için eğitim ve test aşamalarının R^2 ve KOKH sonuçları Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Tüm modellerin eğitim ve test aşamaları için R^2 ve KOKH değerleri

YSA	Durum	Eğitim- R^2	Eğitim-KOKH	Test- R^2	Test-KOKH
	K1	0,953	5,913	0,975	5,905
	K2	0,960	5,436	0,976	5,336
	K3	0,982	5,202	0,984	5,115
	K4	0,961	5,354	0,981	5,552
	K5	0,956	5,718	0,978	5,329
	K6	0,959	5,474	0,981	5,224
	K7	0,961	5,376	0,978	5,136
	K8	0,956	5,682	0,972	5,524
	K9	0,959	5,496	0,980	5,287
GEP	Durum	Eğitim- R^2	Eğitim-KOKH	Test- R^2	Test-KOKH
	K1	0,952	5,964	0,948	5,666
	K2	0,949	6,124	0,932	5,818
	K3	0,943	6,490	0,933	6,166
	K4	0,954	5,815	0,954	5,524
	K5	0,952	5,941	0,942	5,644
	K6	0,954	5,841	0,944	5,549
	K7	0,953	5,880	0,953	5,586
	K8	0,953	5,885	0,953	5,591
	K9	0,953	5,869	0,953	5,576
ÇDR	Durum	Eğitim- R^2	Eğitim-KOKH	Test- R^2	Test-KOKH
	K1	0,953	6,049	0,946	5,867
	K2	0,955	5,928	0,946	5,750
	K3	0,957	5,824	0,945	5,649
	K4	0,957	5,825	0,945	5,650
	K5	0,954	6,020	0,946	5,840
	K6	0,955	5,908	0,946	5,731
	K7	0,957	5,801	0,947	5,627
	K8	0,954	6,015	0,946	5,834
	K9	0,955	5,897	0,945	5,721
ANFIS	Durum	Eğitim- R^2	Eğitim-KOKH	Test- R^2	Test-KOKH
	K1	0,988	4,770	0,959	4,675
	K2	0,977	5,263	0,944	5,157
	K3	0,955	4,994	0,889	4,894
	K4	0,936	4,804	0,835	4,708
	K5	0,983	5,763	0,949	5,648
	K6	0,965	5,153	0,904	5,050
	K7	0,942	5,926	0,848	5,808
	K8	0,979	5,562	0,941	5,451
	K9	0,948	4,886	0,863	4,788

Gözlenen akış ile modellerden elde edilen tahmini akışın zaman serisi grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13 Gözlenen akış ile modellerden elde edilen tahmini akışın zaman serisi

Şekil 4.13 ve Tablo 4.9’da görüldüğü gibi yağış – akış ilişkisini modellemek için kullanılan yapay zeka yöntemleri ve çoklu doğrusal regresyon modelinden elde edilen akış sonuçlarının gözlenen akış sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Gözlenen en yüksek (pik) akış değerine yakın tahmini akış değeri GEP modelinde elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda bilgisayar bilimindeki gelişmeler, mühendislik problemlerine geleneksel yaklaşımı değiştirmiştir. Özellikle makine öğrenmesi ve yapay zeka gibi yeni teknikler, kaotik ve nonlinear süreçlerin modellenmesinde başarılı sonuçlar vermektedir. Hidrolojik süreçlerin kaotik ve nonlinear oluşu, yapay zeka yöntemlerine ilgiyi arttırmaktadır. Son yıllarda YSA, GEP, ANFIS gibi yapay zeka temelli algoritmaların hidrolojik modeller oluşturulmasında kullanımı artmaktadır.

Hidrolojik süreçlerin tahmin edilmesi, su mühendisliğinin en önemli araştırma konularından biri olmuştur. Özellikle isabetli yağış ve akış tahminlerinde bulunmak, hem taşkın ve kuraklık gibi uç hidrolojik durumları anlamak hem de su yapılarının boyutlandırılması aşamasında önem arz etmektedir. Buna yönelik olarak klasik istatistik yöntemler genellikle yetersiz kalmaktadır. Bu gibi modelleri oluşturmak için çeşitli varsayımlara ve basitleştirmelere başvurulmaktadır. Buna ek olarak parametrik modeller gibi çok bileşenli modellerin kullanımı çoğunlukla olanaksızdır. Böyle bir durumda yapay zekanın kabiliyetlerinden yararlanarak yağış ve akış ilişkisinin modellenmesi önemlidir.

Bu tez çalışmasında yağış ve akışın önceki günlerdeki değerlerinin çeşitli senaryoları girdi parametresi, tahmin edilen günün akım değeri çıktı parametresi olarak alınmıştır. Bu senaryolar, birer yapay zeka yöntemi olan YSA, GEP, ANFIS ve istatistik yöntem olan ÇDR ile modellenip tahmin çıktı değerleri elde edilmiştir.

YSA modellemesinde İBGYSA ağ mimarisi kullanılarak Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması ve sigmoid transfer fonksiyonu ile gizli tabakasında 10 nöron bulunan sinir ağı oluşturulmuştur. Deneme sayısı 1000 alınarak MSE ile model performansları ölçülmüştür. YSA ile oluşturulan modellerde en yüksek $R^2=0,984$ ve en düşük KOKH=5,115 sonucunu veren $P(t)$, $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-3)$ girdili ve $Q(t)$ çıktılı K3 modeli diğer YSA modellerine göre daha başarılı bulunmuştur.

GEP modellemesinde gen sayısı 3, kromozom sayısı 30 ve başlık uzunluğu 8 olarak belirlenmiştir. İfade ağaçlarının bağlantı operatörü olarak toplam(+) seçilmiştir.

Formülasyon için fonksiyon setinde aritmetik operatörler ve bazı matematiksel fonksiyonlar kullanılmıştır. Elde edilen GEP modelleri için hem eğitim hem de test aşamasında en yüksek $R^2=0,954$ değerine sahip ve en düşük KOKH=5,524 değerine sahip model $P(t)$, $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-3)$, $Q(t-4)$ girdili ve $Q(t)$ çıktılı K4 olarak görülmüştür.

ÇDR modellemesinde farklı girdiler ile çıktı olarak $Q(t)$ akış verisi eşleştirilerek ÇDR parametreleri bulunmuştur. K7 modeli; $P(t)$, $P(t-1)$, $Q(t-1)$, $Q(t-2)$, $Q(t-3)$ girdileri ile $Q(t)$ çıktı değeri için hem eğitim hem test aşamasında en yüksek determinasyon katsayısı $R^2=0,947$ değeri vermekle birlikte en düşük KOKH=5,627 değerini vermiştir.

ANFIS, temel olarak ileri beslemeli 5 katmanlı YSA ağ mimarisini kullanır. Yapılan çalışmada farklı girdi senaryolarındaki her değişken girdi için 3 kural tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen (triangle) tipi fonksiyon seçilmiştir. K1 modeli; $P(t)$, $Q(t-1)$ girdileri ve $Q(t)$ çıktısı için $R^2=0,988$ en yüksek determinasyon katsayısı değeri vermekle birlikte en düşük KOKH=4,770 değerini vermiştir.

Yapılan çalışmadan elde edilen R^2 ve KOKH değerleri Tablo 4.9’da gösterildiği üzere ANFIS-K1 modeli en iyi tahmin sonucunu vermiştir. Bu modeldeki girdi parametreleri, tahmin edilen günün yağış değeri $P(t)$ ve önceki günün akış değeri $Q(t-1)$ olmak üzere tahmin edilen günün akışı ile bir önceki günün akışı ve tahmin edilen günün yağışı arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmüştür. Geriye doğru gün sayısının artması ve girdi parametresi sayısının artması model hassasiyetinin düşmesine neden olmuştur. Sonuç olarak yapılan çalışmada yapay zeka yöntemlerinin yağış ve akış ilişkisini modellemede başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yağış ve akış arasındaki ilişkinin belirlenmesi konusunda ülkemizde ve yurtdışında birçok çalışma bulunmaktadır. Kaotik ve nonlinear olan bu süreci doğru bir şekilde modellemek, küresel ısınmanın etkisini sıklıkla gördüğümüz son yıllarda daha önemli olmuştur. Özellikle taşkın tahmin modellerinin oluşturulması ve erken uyarı sistemlerini kurulmasında makine öğrenesi ve yapay zeka ile entegre olabilecek sistemlerin kurulması gereklilik arz etmektedir. Böylece insan kaynaklı hatalar en aza

indirilerek hassas tahmin modelleri kurulabilecektir. Bu sebeple su kaynakları sistemlerinin boyutlandırılması ve yönetilmesinde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilir bir metot olarak değeriendirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Acı, M. (2006). Yapay sinir ağları ile hidrolojik modelleme. *Yüksek lisans tezi*. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alp, M., & Cıgızoğlu, H. K. (2004). Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi. *İTÜ Dergisi 3 (1)*, 80-88.
- Aytek, A., Alp, M., & Asce, M. (2008). An application of artificial intelligence for rainfall-runoff modeling. *Journal of Earth System Science*, 117, 145-155.
- Bayazıt, M. (1995). *Hidroloji*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bayazıt, M. (1998). *Hidrolojik Modeller*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- CHRS Data Portal. (2021, Aralık 25). CHRS Data Portal: <https://chrsdata.eng.uci.edu/> adresinden alındı
- Dorum, A., Yazar, A., Sevimli, M. F., & Onüçyıldız, M. (2010). Modelling The Rainfall-Runoff Data Of Susurluk Basin. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6587-6593.
- Ercan, B., Yağcı, A. E., Yılmaz, A. S., Yüce, M. İ., & Unsal, M. (2019). Annual Runoff Modelling Of Kızılırmak Basin By Artificial Intelligent Techniques. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (9), 6651-6660.
- Ferreira, C. (2001). Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems. *Complex Systems*, 13(2), 87-129.
- Ferreira, C. (2006). *Gene-expression programming: Mathematical modeling by an artificial intelligence*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gerger, R., Gümüş, V., & Dere, S. (2021). Dicle Havzasının Yağış Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Zeka Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 300-311.
- Gümüş, V., Soydan, G., Şimşek, O., Aköz, M. S., & Kırköz, M. S. (2013). Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Sinir Ağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 37-49.
- Gümüş, V., Kavşut, M. E., & Yenigün, K. (2010). Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesinde YSA Kullanımının Değerlendirilmesi: Orta Fırat Havzası Uygulaması. *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, (s. 1290-1301). Diyarbakır.
- Hamidi, N. (1984). İki Boyutlu Birim Hidrograf Belirlenmesinde Lineer Programlama. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İnşaat, İ. H., Gümüş, V., & Şimşek, O. (2019). Evaluation of Gene Expression Method for Rainfall-Runoff Relationship: Case study of the E21A057 Station. 7.

International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (s. 851-858). Şanlıurfa: Academic Perspective.

- Jang, J. (1993). ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems*, 665-685.
- Koza, J. R. (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kumar, P., Praven, T., & Prasad, M. (2016). Artificial Neural Network Model for Rainfall-Runoff - A Case Study. *International Journal of Hybrid Information Technology* 9 (2), 263-272.
- Kuni, S. K., & C, M. (2014). Rainfall Runoff Modelling Using ANN and ANFIS. *International Symposium on Integrated Water Resources Management* (s. 9-16). Kozhikode: UN-WATER.
- Lafdani, K. E., Nia, A. M., Pahlavanravi, A., Ahmadi, A., & Milad, J. (2013). Daily Rainfall-Runoff Prediction and Simulation Using ANN, ANFIS and Conceptual Hydrological MIKE11/NAM Models. *International Journal of Engineering & Technology Sciences*, 1(1), 32-50.
- Müftüoğlu, R. (1984). Hidrolojik Sistemlerin Analizi. *Yayımlanmamış Ders Notları*. İstanbul: İTÜ.
- Razali, N. N., Ghani, N., Hisham, S. I., Kasim, S., Widodo, N. S., & Sutikno, T. (2020). Rainfall-Runoff Modelling Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 17(2), 1117-1126.
- Waqas, M., Saifullah, M., Hashim, S., Shoaib, M., Naseem, A., & Khan, M. (2021). Modelling of Rainfall-runoff process by GEP, RBF-SVM and M5 model tree in Jhelum River Basin, Pakistan. *CEWRE/ICHWR*, 21(16), 105-115.
- Wei, L.-Y. (2016). A Hybrid ANFIS Model Based on Empirical Mode Decomposition For Stock Time Series Forecasting. *Applied Soft Computing*, 368-376.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad:

Yaman, Yunus

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi	2017
Lise	Diyarbakır Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2015	Tigris Mühendislik	Stajyer Mühendis
2016	Tigris Mühendislik	Stajyer Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce, ileri düzey

Yayınlar

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

Müzik, Kitap, Fotoğrafçılık

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Yunus YAMAN		
Öğrenci No	18806201		
Ana Bilim Dalı	Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Fevzi ÖNEN		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Zeka Yöntemleri İle Modellenmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	73		
Raporlama Tarihi	22/02/2022		
Benzerlik Oranı (%)	%16		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 73 sayfalık kısmına ilişkin, 22/02/2022 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %16 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐Kaynaklar hariç
☐Alıntılar dâhil
☒Diğer (Kaynaklar dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Yunus YAMAN

Tarih: 28/02/2022

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN

İmza:

Tarih: 28/02/2022

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK

İmza:

Tarih: 28/02/2022