

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞAĞI SAKARYA HAVZASINDAKİ KÜÇÜK AKARSULARIN YAPAY
SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE AKIM SÜREKLİLİK EĞRİLERİNİN
ELDE EDİLEREK ENERJİ POTANSİYELLERİNİN TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğretmen Meriç ÖNCÜL

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL

Mayıs 2008

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


AŞAĞI SAKARYA HAVZASINDAKİ KÜÇÜK AKARSULARIN YAPAY
SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE AKIM SÜREKLİLİK EĞRİLERİNİN
ELDE EDİLEREK ENERJİ POTANSİYELLERİNİN TESPİTİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğretmen Meriç ÖNCÜL

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 23 / 05 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Lütfi SALTABAŞ
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Ahmet APAY
Üye


Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL
Üye

TEŞEKKÜR

Yapılan bu yüksek lisans tezi çalışmasında Aşağı Sakarya Havzasındaki küçük akarsuların hidroelektrik enerji potansiyelleri analiz edilmiş, bu analizler yapılırken akım gözlem istasyonu olmayan küçük akarsuların hız ve debileri yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemleri ile tahmin edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada Aşağı Sakarya Havzasındaki küçük akarsuların su potansiyelleri irdelenmiş ve bu akarsuların elektrik enerji üretimlerinin ülkemize sağlayacağı katkılar vurgulanmıştır.

Çalışmalarım süresince gerek ders aşamasında ve gerekse tez çalışmasını hazırlarken bana her konuda yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL' e, Bilimsel çalışmalarımızda gerekli katkıları sağlayan Sakarya Üniversitesi Rektörlüğüne ve ilgili birimlerine, çalışmalarımda bana destek veren ve katkı sağlayan Arş. Gör. Emrah DOĞAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim hayatım boyunca benden ilgi ve desteklerini esirgemeyen aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans tezi Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Mayıs 2008

Meriç ÖNCÜL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. KONUNUN ÖNEMİ.....	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	2
1.3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
1.4. ÇALIŞMA DÜZENİ.....	5
BÖLÜM 2.	
HİDROELEKTRİK ENERJİ.....	6
2.1. Dünya'daki Hidroelektrik Potansiyel.....	6
2.2. Avrupa'daki Hidroelektrik Potansiyel.....	7
2.3. Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyel Gelişiminin Bugünkü Durumu.....	8
2.4. Küçük Ölçekli Hidroelektrik Potansiyel.....	10
2.5. Hidroelektrik Enerji Ve Küçük Hidroelektrik Santraller.....	11
2.5.1.Küçük hidroelektrik santrallerin avantajları.....	12
2.5.2.Küçük hidroelektrik santrallerin dezavantajları.....	12
2.5.3. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması.....	13

a. Düşülerine Göre.....	13
b. Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre.....	13
c. Kapasitelerine Göre.....	13
d. Yapılışlarına Göre.....	13
e. Depolama Özelliklerine Göre.....	13
2.6. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli.....	14
2.7. Türkiye'nin Yıllık Hidroelektrik Enerji Üretimi ve Dağılımı	16
2.8. Hidroelektrik Santrallerin Önemi, Enerjideki Yeri ve Tercih Sebepleri.....	18
2.9. Türkiye'deki Küçük Ölçekli Hidroelektrik Potansiyel.....	20
2.10. Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelin Gelecek Yıllardaki Gelişimi.....	21
2.11. Hidroelektrik Potansiyel Hesaplama Yöntemi.....	22

BÖLÜM 3.

AŞAĞI SAKARYA HAVZASI HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİ.....	25
3.1. Sakarya Havzası.....	25
3.1.1. Sakarya Havzasının Su Kaynakları	27
3.1.1.1. Sakarya Nehri.....	27
3.1.1.2. Mudurnu Çayı.....	27
3.1.1.3. Dinsiz Çayı.....	28
3.1.1.4. Çark Suyu.....	28
3.1.1.5. Karasu Deresi.....	29
3.1.1.6. Karacasu (Kuyumculu).....	29
3.1.1.7. Akçay Deresi (Doğancılar).....	30
3.1.1.8. Bıçkı Deresi.....	31
3.1.1.9. Akçay Deresi (İkramiye Köyü).....	32
3.2. Sakarya Havzasındaki Hidroelektrik Potansiyeli ve Proje – Planlama Çalışmaları.....	34
3.3. Havzanın Hidroelektrik Potansiyeli.....	35
3.4. Sakarya Havzasındaki Hidroelektrik Santral Çalışmaları.....	35
3.4.1. Yapımı Tamamlanmış Olan HES'ler	36

I. Sarıyar Barajı ve Hidroelektrik Santrali.....	36
II. Gökçekaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali.....	36
III. Yenice Barajı ve Hidroelektrik Santrali.....	37
3.4.2. Proje Seviyelerine Göre HES'ler (Kesin Projesi Hazır Olanlar)	37
I. Gürsöğüt HES Projesi.....	37
II. Kargı-Sakarya HES Projesi.....	38
3.4.3. Tüzel Kişiler Tarafından Geliştirilen Projeler.....	39
I. Taşyatak HES Projesi.....	39
II. Taraklı HES Projesi.....	39
3.4.4. İşletmedeki HES Projeleri.....	39
I. Hendek Araklı HES Projesi.....	39
3.4.5. Planlama Raporu Hazır Olan Projeler.....	40
I. Mansurlar HES Projesi.....	40
II. Pazarköy HES Projesi.....	40
III. Taraklı HES Projesi.....	41
IV. Doğançay HES Projesi.....	41
V. Büyük Melen HES Projesi.....	42
BÖLÜM 4.	
YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA).....	43
4.1. Genel.....	43
4.2. YSA' nın Tarihsel Gelişimi ve Kullanımı.....	44
4.3. YSA' nın Yapısı ve Elemanları.....	48
4.4. Uygulamadaki YSA Modelleri.....	56
4.4.1. İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağları (İBGYSA).....	56
4.4.2. Geri beslemeli yinelemeli yapay sinir ağları (GBYYSA).....	58
4.5. YSA' nın Klasik Yöntemlere Göre Üstünlükleri.....	65
BÖLÜM 5.	
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE AKIM DEBİLERİNİN TAHMİNİ.....	68

5.1. Akımların Tahmini.....	68
5.2. YSA Yöntemi Kullanılarak Bilinen Akım Değerlerinden	
Gelecekteki Akımların Tahmini.....	70
5.2.1. Papaz deresi istasyonu.....	71
5.2.2. Çarksuyu regülatör çıkışı istasyonu.....	78
5.2.3. Karakaya deresi istasyonu.....	86
5.2.4. Kurtköy deresi istasyonu.....	94
5.3. Yapay Sinir Ağları İle Önceki Akım Verileri Kullanılarak	
Gelecekteki Akım Değerlerinin Tahmini.....	104
BÖLÜM 6	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	111

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASH	: Aşağı Sakarya Havzası
R	: Bir değişkenli veri değeri
R^2	: Korelasyon katsayısı
E.İ.E.	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DSİ	: Devlet Su İşleri
AR	: Autoregressive
YSA	: Yapay Sinir Ağları
GBYYSA	: Geri Beslemeli Yenilemeli Yapay Sinir ağları
İBGYSA	: İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Sinir Ağları
GRSA	: Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı
OKH	: Ortalama Karesel Hata
ÇDRA	: Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi
Q	: Debi
Q_{ort}	: Su kaynağının ortalama debisi
P	: Güç çıktısı
$E_{brüt}$: Su kaynağının brüt enerjisi
H	: Kot Farkı
H_{ort}	: Havzanın ortalama kotu
$N_{brüt}$: Su kaynağının brüt gücü
$E_{brüt}$: Su kaynağının brüt enerjisi
HES	: Hidroelektrik Santral
kwh	: Kilovat Saat
kw	: Kilovat
mw	: Megavat
gwh	: Gigavat Saat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Türkiye'nin küçük sularda hidroelektrik amaçlı su potansiyeli çalışmaları.....	11
Şekil 2.2.	Türkiye'nin Yıllık Ortalama Enerji Üretim Oranları.....	17
Şekil 2.3.	Türkiye HES Potansiyelinin Proje Seviyelerine Göre Dağılımı...	17
Şekil 2.4.	Türkiye'nin 26 Ana Akarsu Havzası.....	20
Şekil 3.1.	Sakarya Havzası.....	26
Şekil 3.2.	Sakarya Havzası ve Akım Gözlem İstasyonları.....	26
Şekil 4.1.	YSA Mimarisinin Temel Elemanları.....	46
Şekil 4.2.	Biyolojik Nöronun Genel Yapısı ve İşlevleri.....	49
Şekil 4.3.	Yapay Nöronun Genel Yapısı.....	50
Şekil 4.4.	Yapay Nöronun Detaylı Yapısı.....	50
Şekil 4.5.	En Çok Kullanılan Transfer Fonksiyonları.....	52
Şekil 4.6.	Transfer Fonksiyonunun Çalışma Yapısı.....	53
Şekil 4.7.	YSA'ların Genel Yapısı.....	54
Şekil 4.8.	Geri Yayılma Bağlantı Yapısı.....	55
Şekil 4.9.	Tipik Yinelemeli Sinir ağı.....	59
Şekil 4.10.	İleri Beslemeli ve Geri Beslemeli Ağ Yapıları.....	60
Şekil 4.11.	İleri Beslemeli Geri Yayılma Ağların Genel Yapısı.....	62
Şekil 4.12.	Eğitime Sürecindeki Sinyal Çeşitleri.....	63
Şekil 5.1.	Papaz Deresi Debi Gidiş Çizgisi.....	72
Şekil 5.2.	Papaz Deresi ÇDRA İçin Eğitim ve Test Verilerinin Karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.3.	Papaz Deresi ÇDRA Ölçülen Debi ve Hesaplanan Debi İçin Saçılma Diyagramı.....	73
Şekil 5.4.	Papaz Deresi ÇDRA Hesaplanan ve Ölçülen Debi Değerlerinin Karşılaştırılması.....	73

Şekil 5.5.	4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	74
Şekil 5.6.	4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	74
Şekil 5.7.	3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	75
Şekil 5.8.	3 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	75
Şekil 5.9.	2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	76
Şekil 5.10.	2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	76
Şekil 5.11.	1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	77
Şekil 5.12.	1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	77
Şekil 5.13.	Papaz deresi debi süreklilik eğrisi.....	78
Şekil 5.14.	Çarksuyu regülatör çıkışı debi gidiş çizgisi.....	80
Şekil 5.15.	Çarksuyu regülatör çıkışı ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 5.16.	Çarksuyu regülatör çıkışı ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı.....	81
Şekil 5.17.	Çarksuyu regülatör çıkışı ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 5.18.	4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	82
Şekil 5.19.	4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	82
Şekil 5.20.	3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	83
Şekil 5.21.	3girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı.	83
Şekil 5.22.	2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	84
Şekil 5.23.	2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	84
Şekil 5.24.	1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	85
Şekil 5.25.	1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	85
Şekil 5.26.	Çarksuyu regülatör çıkışı debi süreklilik eğrisi.....	86
Şekil 5.27.	Karakaya deresi debi gidiş çizgisi.....	88
Şekil 5.28.	Karakaya deresi debi ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması.....	88
Şekil 5.29.	Karakaya deresi debi ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı.....	89
Şekil 5.30.	Karakaya deresi debi ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması.....	89
Şekil 5.31.	4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	90

Şekil 5.32.	4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	90
Şekil 5.33.	3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	91
Şekil 5.34.	3 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	91
Şekil 5.35.	2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	92
Şekil 5.36.	2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	92
Şekil 5.37.	1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	93
Şekil 5.38.	1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	93
Şekil 5.39.	Karakaya deresi debi süreklilik eğrisi.....	94
Şekil 5.40.	Kurtköy deresi debi gidiş çizgisi.....	96
Şekil 5.41.	Kurtköy deresi ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 5.42.	Kurtköy deresi ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı.....	97
Şekil 5.43.	Kurtköy deresi ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması.....	97
Şekil 5.44.	4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	98
Şekil 5.45.	4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	98
Şekil 5.46.	3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	99
Şekil 5.47.	3 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	99
Şekil 5.48.	2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	100
Şekil 5.49.	2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	100
Şekil 5.50.	1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini.....	101
Şekil 5.51.	1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı	101
Şekil 5.52.	Kurtköy deresi debi süreklilik eğrisi.....	102

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Dünya'da Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Kapasitenin Dağılımı.....	6
Tablo 2.2	Dünya' da Mevcut Kurulu Kapasite ile Bakiye Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Kapasite.....	7
Tablo 2.3.	Dünyadaki Mevcut – İnşa Halinde ve Planlanmış Hidroelektrik Santrallerin Kurulu Güç Dağılımı.....	7
Tablo 2.4.	Avrupa'daki Hidroelektrik Kapasiteler.....	8
Tablo 2.5.	Avrupa Ülkelerinde Hidroelektrik Enerji Kullanımı.....	8
Tablo 2.6.	Türkiye'deki HES Proje Seviyeleri.....	18
Tablo 2.7.	Proje Aşamasındaki Hidroelektrik Tesislerin Kapasitelerine Göre Dağılımı.....	22
Tablo 3.1.	Karacasu Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri.....	30
Tablo 3.2.	Akçay Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri.....	31
Tablo 3.3.	Bıçkı Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri.....	32
Tablo 3.4.	Akçay Deresi (İkramiye Köyü) Akım Gözlem Değerler.....	33
Tablo 5.1.	12167 Papaz Deresi Ahılar İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri.....	71
Tablo 5.2.	12186 Çark Suyu Regülatör Çıkışı İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri.....	79
Tablo 5.3.	12230 Karakaya Deresi Doğantepe İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri.....	87
Tablo 5.4.	12142 - Kurtköyderesi-Üniversite.Tesisi İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri.....	95
Tablo 5.5	İBGY Metoduyla Elde Edilen Sonuçlar	104

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Aşağı Sakarya Havzası, Akım, Yapay Sinir Ağları, Hidroelektrik Potansiyel, Küçük Hidroelektrik Santral

Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde akımın debisi en önemli parametrelerden biridir. Bu tezde, Aşağı Sakarya Havzasındaki (ASH) küçük akarsuların akım debileri Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile tahmin edilerek enerji potansiyelleri tespit edilmiştir.

Enerji sektöründe önemli bir yere sahip olan hidroelektrik enerji, Türkiye’de 26 ana havzada üretilmektedir. Sakarya Havzası bu havzalardan biri olup, önemli su kaynakları potansiyeline sahiptir.

Akarsularda; debi, hız ve derinlik gibi hidrolik ve hidrolojik özellikler önemli parametrelerdir. Enerji potansiyelinin tespit edilmesinde, taşkınların önceden tahmin edilmesinde, hazne işletme çalışmalarında ve katı madde taşınım hareketinde oldukça önemlidir. Ancak olaya etki eden parametrelerin çok fazla olması ve mevcut parametrelerin belirsizlikleri akım-zaman serilerinin oluşturulmasını olumsuz yönde etkilediğinden klasik metotlarla akım debilerini tahmin etmek hem zaman almakta hem de güvenilir sonuçlar vermemektedir.

Bu tezde, YSA kullanılarak ASH ‘ da ki küçük akarsuların debileri tahmin edilmiş ve daha sonra bu debilerden faydalanılarak bu akarsuların hidroelektrik enerji potansiyelleri tespit edilmiştir.

ESTIMATION OF HYDROPOWER POTENTIAL OF SMALL STREAMS IN LOW SAKARYA BASIN USING FLOW CURVES AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

SUMMARY

Keywords: Low Sakarya Basin, Flow Curves, Artificial Neural Networks, Hydropower Potential, Small Hydropower Plant

Flow discharges are the most important parameter to estimate hydropower potential. In this thesis, hydropower potential of the small streams has been estimated by using Artificial Neural Networks (ANN) in the Low Sakarya Basin (LSB).

Hydropower energy has an important position in the energy sector hydropower energy, has been produced in 26 main basins in Turkey. Sakarya Basin is one of these basin and the amount of water sources in Turkey.

In the streams, flow discharges and velocity are very important parameters to estimate hydropower energy potential, floods and sediment discharges. Because of too much parameter it is difficult to estimate flow-time series by using old methods.

In this thesis, first of all the flow discharges have been estimated in small streams in LSB by using ANN then hydropower energy potential has been estimated in small streams in LSB by using these flow discharges.

BÖLÜM 1.GİRİŞ

1.1. Konunun Önemi

Akım modelleri hidrolojik çalışmalarda çok önemli bir yere sahip olmakla birlikte günümüzde çalışmaların devam ettiği alanlardan biridir. Gelecekteki belli bir tarihte görülecek akımın tahmini, taşkın uyarılarının yapılması, taşkın kontrolü maksatlı haznelerin işletilmesi, akarsuyun su potansiyelinin belirlenmesi, kurak dönemlerde hidroelektrik üretiminin, şehir suyu ve sulama suyunun dağıtımı ve akarsularda ulaşımın planlanması açısından önem taşır [1].

Eldeki verilerin yardımı ile nehir akımı tahmininin yapılması su kaynakları projelendirme çalışmaları açısından önem taşımaktadır. Su kaynaklarının geliştirilmesi planlanması ve yönetiminde hidrolojik verilerin toplanması ve analizi büyük önem taşır. Mevcut veriler genellikle sürecin toplamını tam olarak yansıtmadığından, daha güvenilir kararlar alabilmek için sürecin modellenmesi gerekmektedir. Modeller planlama ve tasarım için veri üretmek ya da süreçlerin gelecekteki değerlerini tahmini için kullanılabilir [2].

Bir akarsudaki akım havzaya düşen yağışa bağlı olmakla birlikte yağış olayının görülmesi ile akımın oluşması arasında belli bir gecikme vardır. Akım tahminlerini yaparken bu gecikmeden yararlanılır. Kısa süreli tahminler taşkın uyarıları ve su kaynakları sistemlerinin gerçek zamanda işletilmesi açısından önem taşır. Uzun süreli tahminler ise daha çok akarsuların sağlayabileceği su miktarının belirlenmesi ve kurak dönemlerde su kısıtlama planlarının uygulanması bakımından önemlidir.

Havzaya düşen yağışlardan akım debilerinin tahmin edilmesi uzun gözlemler gerektirdiğinden kısa sürede herhangi bir havzadaki akım tahminlerini yapmak oldukça zordur. Bu sebeple, istatistiksel tahminlere göre son derece pratik olan ve

kısa sürede sonuca ulaşılan değişik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı son zamanlarda literatürde sıklıkla karşılaşılan ve su mühendisliğinde önemli bir yere sahip olan yapay sinir ağları (YSA) yöntemlerine ihtiyaç vardır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı literatürdeki çalışmalardan faydalanarak akım modellerinin incelemek ve yapay sinir ağları (YSA) metotlarını kullanarak eldeki mevcut veriler ışığında aşağı Sakarya havzasındaki küçük akarsuların debilerinin tahmin edilmesi ve enerji potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, yapay sinir ağları metotlarından ileri beslemeli geri yayılım sinir ağları (İBGYSA), geri beslemeli yinelemeli yapay sinir ağları (GBYYSA) kullanılmıştır. YSA modeli Sakarya havzası üzerindeki 4 adet küçük akarsuyun; Papaz deresi, Çark suyu regülatör çıkışı, Karakaya deresi ve Kurtköy deresi üzerinde bulunan istasyonlara ait 1999-2000 yılları arasındaki ötelenmiş günlük akım verileri kullanılarak t anındaki akım tahminleri yapılmaya çalışılmıştır. Akım tahmin metotları olarak yapay sinir ağları (YSA) ve Çoklu doğrusal regresyon analizi (ÇDRA) metotları kullanılmaktadır.

Çalışma da kullanılan 1999-2000 yılları arasında akarsularda gözlenen 1448 adet ötelenmiş günlük debi verisinin 968' i eğitim için geri kalan 480 adet veri ise test için kullanıldı. Günlük akım verilerine uygulanmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir dere için ayrı, ayrı modeller oluşturularak debileri tahmin edilmektedir.

1.3. Literatür Özeti

YSA; teknolojinin de gelişmesi ile birlikte su kaynakları ve hidroloji problemlerinin çözümünde yaygınca kullanılmaktadır. Akım modelleri ile tahmin konusunda literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Konu ile ilgili Literatürde bulunan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Karabörk ve Kahya [3], Sakarya havzasındaki aylık akımların çok değişkenli stokastik modellenmesini yapmışlardır.

Aydın [4], Keban barajına giren akımların modellenmesini AR modelleriyle yapmıştır.

Cigizoglu [5], ARMA modelleri ile aylık akım verilerini kullanarak akım tahmini ile yapay sinir ağlarını birleştirmiştir.

Kumar ve diğerleri. [6], nehir akımlarının tahmininde yinelemeli sinir ağlarını kullanmışlardır.

Kişi [7], yapay sinir ağlarını ortalama aylık tahmininde kullanmış ve AR modeliyle karşılaştırarak YSA metotlarının daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Zealand ve diğerleri. [8], YSA metodunu kısa dönem akarsu akımların tahmininde kullanmışlardır.

Fırat M, Güngör M. [9], Askı madde konsantrasyonu ve miktarının yapay sinir ağlarını kullanarak belirlemişlerdir.

Işık S, Toluk T, Doğan E. [10], Akarsu akımlarının yapay sinir ağı metotları kullanılarak modellenmesi çalışmasını yapmışlardır.

Oğul E, Tombul M, [11], Yağış – akış ilişkisinin radyal tabanlı sinir ağı ve ileri beslemeli geriye yayılımı metodu ile modellenmesi Su kaynaklarının

geliştirilmesinde ve planlanmasında yağış-akım ilişkisinin bilinmesi oldukça önemlidir.

Can İ, [12], Karasu'nun aylık akımlarının yapay sinir ağları ile zaman serisi modeli çalışmasında; Akarsuların aylık akımlarının ileriye yönelik tahmini ve çeşitli amaçlar için kullanılacak sentetik serilerin üretilebilmesi için matematiksel modellerin kurulması gerekir. Herhangi bir akarsudaki aylık akımların ardı ardına gelen değerleri birbirinden bağımsız olmadığı için bu ardı ardına gelen değerler için bir matematiksel model kurulabilir. Son yıllarda yapay sinir ağlarının (YSA) bu amaçla kullanılması hızlı bir artış göstermiştir.

Demirpençe H, [13], Köprüçay Akımlarının mevsimlere göre değişiminin yapay sinir ağları ile tahmini çalışmasında; Bir akarsu akımının doğru belirlenmesi, pek çok su kaynakları projesi için büyük önem taşır. Akarsudaki akımın miktarı, baraj projelendirmesi, havza yönetimi ve çevresel etki değerlendirmesi gibi konular için bilinmelidir. Ancak literatürdeki akarsu debisinin tahmininde kullanılan metotlar karmaşık olup, çok sayıda değişkenin bilinmesinin gerektirir. Geleneksel debi – anahtar eğrileri ise çoğu zaman yeterince hassas sonuçlar vermezler. Bu çalışmada, son yıllarda su kaynakları mühendisliği ve hidrolojide kullanım alanı bulan yapay sinir ağları (YSA) , akarsudaki akımın tahmini için kullanılmıştır.

Alp M, Cıgızoğlu.H.K. [14], Farklı yapay sinir ağı metotları ile yağış – akış ilişkisinin modellenmesi; Bu çalışmada su kaynakları uygulamalarında sıkça kullanılan ileri beslemeli geriye yayılım metodu (İBGY) ile son zamanlarda uygulanmaya başlanan genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRSA) yöntemi bu problem için uygulanmış ve sonuçlar seçilen performans kriterleri cinsinden karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada da günlük akım tahminlerinde YSA metotlarından İBGYSA ve çoklu doğrusal regresyon analizi modelleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

1.4. Çalışma Düzeni

Birinci bölümde konunun önemi, çalışmanın amacı ve kapsamı, literatür özetine, çalışma düzenine yer verilmektedir.

İkinci bölümde ise Türkiye’de hidroelektrik potansiyel gelişiminin bugünkü durumu, küçük ölçekli hidroelektrik potansiyel, hidroelektrik enerji ve küçük hidroelektrik santraller, Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli, hidroelektrik potansiyel hesaplama yöntemi anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde aşağı Sakarya havzası hidroelektrik enerji potansiyeli, Sakarya havzasının su kaynakları, havzanın hidroelektrik potansiyeli anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde, YSA metodu ve uygulamaları ile bu metodun yapısı irdelenmektedir.

Beşinci bölümde yapay sinir ağları ile nehir akımlarının tahmini, nehir akımlarının tahmini ve Sakarya havzasındaki 4 dereye ait Papaz Deresi, Çark Suyu regülatör çıkışı, Karakaya Deresi, Kurtköy Deresi üzerindeki istasyonlara ait günlük akım verileri kullanılarak elde edilen tahmin sonuçlarının karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Altıncı bölümde sonuç ve öneriler kısmı yer almaktadır.

BÖLÜM 2. HİDROELEKTRİK ENERJİ

2.1. Dünya'daki Hidroelektrik Potansiyel

International Hydropower Association (IHA)'nın çalışmalarında, Dünyanın teknik hidroelektrik kapasitesi 14,2 trilyon kwh/yıl olarak hesap edilmektedir. Ekonomik Hidroelektrik Kapasite ise 8,1 trilyon kwh/yıl dır. Bu değerlerin dağılımı Tablo 2.1. de görülmektedir.

Tablo 2.1. Dünya'da Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Kapasitenin Dağılımı

KITA	Teknik Kapasite		Ekonomik Kapasite	
	(gwh/yıl)	%	(gwh/yıl)	%
Asya	6,800,000	47.8%	3,600,000	44.4%
Avrupa	1,035,000	7.3%	793,000	9.8%
Kuzey Amerika	1,665,000	11.7%	1,000,000	12.3%
Güney Amerika	2,700,000	19.0%	1,600,000	19.8%
Okyanusya	270,000	1.9%	107,000	1.3%
Afrika	1,750,000	12.3%	1,000,000	12.3%
TOPLAM	14,220,000		8,100,000	

Dünyada mevcut ekonomik kriterler ile bu tespit edilmiş olan 8,1 trilyon kwh/yıl düzeyindeki ekonomik potansiyelin %33.8 lik kısmı 2,7 trilyon kwh/yıl düzeyindeki kapasite, halen kullanılmakta olan mevcut kapasitedir. Bu kapasite dağılımı Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2 Dünya' da Mevcut Kurulu Kapasite ile Bakiye Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Kapasite

KITA	Mevcut Kurulu Kapasite		Bakiye Ekonomik Kapasite		Bakiye Teknik Kapasite	
	(gwh/yıl)	%	(gwh/yıl)	%	(gwh/yıl)	%
Asya	790,000	21.9%	2,810,000	78.1%	6,010,000	88.4%
Avrupa	595,000	75.0%	198,000	25.0%	440,000	42.5%
Kuzey Amerika	700,000	70.0%	300,000	30.0%	965,000	58.0%
Güney Amerika	532,000	33.3%	1,068,000	66.8%	2,168,000	80.3%
Okyanusya	42,000	39.3%	65,000	60.7%	228,000	88.4%
Afrika	81,000	8.1%	919,000	91.9%	1,669,000	95.4%
TOPLAM	2,740,000		5,360,000		11,480,000	

Görüleceği üzere, Avrupa bugünkü ekonomik kapasitenin %75' ini Kuzey Amerika %70 ini şimdiden kullanmış durumdadır. bu kullanım, gelişmekte olan Asya' da %22, Afrika' da ise sadece %8.1 seviyesindedir. Dünyadaki İşletmede - İnşa Halinde ve Planlanmış Hidroelektrik Santrallerin Kurulu Güç Dağılımı da Tablo 2.3. de görülmektedir. Burada Dünyanın mevcut kurulu gücünün 720,600 mw, inşaa halindeki gücün 88,000 mw, ve kısa sürede devreye girmesi öngörülen planlanmış gücün 288800 mw olduğu görülmektedir.

Tablo 2.3. Dünyadaki Mevcut – İnşa Halinde ve Planlanmış Hidroelektrik Santrallerin Kurulu Güç Dağılımı

KITA	İşletmedeki Kurulu Güç		İnşa Halindeki Kurulu Güç		Planlanmış Kurulu Güç	
	mw	%	mw	%	mw	%
Asya	241,600	33.5%	68,600	78.0%	154,000	53.3%
Avrupa	175,600	24.4%	2,000	2.3%	8,400	2.9%
Kuzey Amerika	158,000	21.9%	4,000	4.5%	12,200	4.2%
Güney Amerika	111,500	15.5%	11,400	13.0%	38,500	13.3%
Okyanusya	13,300	1.8%	200	0.2%	900	0.3%
Afrika	20,600	2.9%	1,800	2.0%	74,800	25.9%
TOPLAM	720,600		88,000		288,800	

2.2. Avrupa'daki Hidroelektrik Potansiyel

Avrupa' nın Teknik Hidroelektrik Potansiyeli IHA' nın çalışmalarına göre 1 trilyon kwh/yıl olarak kabul edilmiştir. Bu potansiyelin %76,62 sına tekabül eden 793 milyar kwh/yıl lık kısmı ekonomik kabul edilmektedir ve bu ekonomik kapasitenin %75' i (595 milyar kwh/yıl - 175,600 mw) kullanılıyor durumdadır. Bakiye %25

(198 milyar kwh/yıl) kısmının ise 2,000 mw kurulu güç inşa halinde ve 8,400 mw inde planlanması yapılmıştır. Avrupa da ki Hidroelektrik Kapasite ve dağılımı Tablo 2.4. de verilmektedir.

Tablo 2.4. Avrupa'daki Hidroelektrik Kapasiteler

	Kapasite	Oran
Teknik Potansiyel (gwh/yıl)	1,035,000	
Ekonomik Potansiyel (gwh/yıl)	793,000	76.62%
Mevcut İşletilen Kapasite (gwh/yıl)	595,000	75.03%
Kullanılabilir Kapasite (gwh/yıl)	198,000	24.97%
Mevcut İşletmedeki Kurulu Güç (mw)	175,600	
İnşa Halinde Kurulu Güç (mw)	2,000	
Planlanmış Kurulu Güç (mw)	8,400	

Avrupa kıtasında, bazı ülkelere ait, mevcut hidroelektrik kurulu güç ile elektrik üretiminin hidroelektrik kaynaklardan karşılanma oranı Tablo 2.5. de görülmektedir.

Tablo 2.5. Avrupa Ülkelerinde Hidroelektrik Enerji Kullanımı

ÜLKE	Mevcut Hidroelektrik Kurulu Güç	Elektrik Üretiminin Hidroelektrik' ten Karşılanma Oranı
	mw	%
Norveç	27,569	99.4%
Fransa	25,200	15.0%
İspanya	20,076	20.0%
İsveç	16,200	55.0%
İtalya	15,267	18.4%
İsviçre	13,240	57.9%
Avusturya	11,700	70.4%
Romanya	5,860	34.8%
Ukrayna	4,732	6.7%
Almanya	4,525	2.6%
Portekiz	4,394	27.0%
Yunanistan	3,080	9.6%
Yugoslavya	2,910	35.0%
Bosna - Hersek	2,380	46.0%
Finlandiya	2,340	21.5%
TÜRKİYE	12,494	25,21%

Burada, Norveç' in elektrik ihtiyacının %99.4 ünü, Avusturya ise %70.4 lük kısmının hidrolik kaynaklardan karşılanmasına rağmen, Almanya' nın sadece %2.6 sının karşılanmasına rağmen, Almanya' nın sadece %2.6 sının karşılanması dikkat çekmektedir. Türkiye' de bu oran % 25 mertebesindedir [15].

2.3. Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyel Gelişiminin Bugünkü Durumu

2003 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin toplam kurulu gücü 35.587 mw olup, bunun 20.888 mw 'ı termik, 37 mw 'ı jeotermal ve rüzgâr, 12578,7 mw 'ı hidrolik santrallere aittir. 2003 yılı toplam elektrik enerjisi üretimi ise 140.580 gwh olup, bunun 105.100 gwh'i (%74,2) termik, 150 gwh'i jeotermal ve rüzgâr (%0,1), 35.329 gwh'i (%24,9) hidroelektrik santrallerden sağlanmıştır.

Hidroelektrik santrallerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye'de elektrik enerjisinin yaklaşık %20-30'u sudan üretilmektedir. Bugün için 127,6 milyar kwh olan ekonomik hidroelektrik potansiyelimizin %35'i (45.155 gwh) işletmede, %8'i (10.129 gwh) inşa halinde ve %57'si (72.339 gwh) ise çeşitli aşamalardan oluşan projeler (ilk etüt ön inceleme, mastır plan, planlama ve kesin proje) düzeyindedir.

127,6 milyar kwh'lik yıllık ortalama enerji üretim değerini oluşturan 674 adet hidroelektrik santralin 133'ü işletmede, 32'si inşa halinde ve 509 adedi ise proje seviyesindedir [16].

Türkiye'de hidroelektrik proje üretimiyle ilgili EİE ve DSİ gibi kuruluşların önemli görevlerinden biri de; ülkenin hidroelektrik potansiyelinin gelişimini temin edecek şekilde; tüm etüt ve proje hizmetlerinin ihtiyacı olan veri toplama faaliyetlerini yürüterek, havza mastır planlarını, baraj ve santrallerin ön inceleme, planlama ve proje çalışmalarını sürdürmektir. Hidroelektrik enerji potansiyelinin halen yararlanılmayan bölümünün gecikilmeden hizmete alınmasını sağlamak üzere ihtiyaç öncesinden yeterli miktarda projeyi hazır halde bulundurmak ilke olarak benimsenmiştir.

Ülkemizin, elektrik üretiminde kullanabileceği hidroelektrik enerji potansiyeli çok büyük olmasına rağmen, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını dış kaynaklardan temin etmektedir. Çünkü bu potansiyeli verimli bir şekilde kullanamamaktadır. Günümüzde gelişmiş ülkeler, hidroelektrik potansiyellerinin %80-90'nını kullanabilirken, Türkiye, mevcut hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık üçte birini değerlendirebilmekte ve yılda 85 milyar kwh enerjisini denize dökmektedir. Bu ise, ülke ekonomisine yılda yaklaşık 6 milyar dolar zarar vermektedir. Bu nedenle, hızla mevcut hidroelektrik potansiyelimizin kullanılabilmesi için, kamu özel tüm kuruluşların ortak çalışmalarıyla projeler geliştirilmeli ve hayata geçirilmelidir [17].

2.4. Küçük Ölçekli Hidroelektrik Potansiyel

Yeryüzü şekillerinin önemli bir kısmı dağlık ve tepelik bölgelerden oluşan Türkiye'de pahalı mühendislik yapıları inşa edilmeden oldukça yüksek düşüler elde edilmesi ve dolayısıyla düşük debilerle büyük enerji elde edilmesi mümkündür. Bu durumda, küçük bir çevirme yapısı (regülatör) yaparak büyük düşüler elde edilebilmektedir.

20.yüzyılda hidroelektriğin gelişimi genellikle büyük barajların yapımı ile gerçekleşmiştir. Beton, kaya ve topraktan yapılan pek çok büyük barajlar akarsu kesitlerine yerleştirilerek büyük yapay göller oluşturulmuştur. Bu yapılar, büyük ve güvenilir güç sağlamalarını yanı sıra, sulama ve taşkın koruma konusunda da faydalar sağlamalarına karşın, büyük verimli alanlarda taşkınlara yol açmış ve yöre sakinlerinin göç etmelerine sebep olmuştur. Çoğu defa, baraj göllerinin sedimentle dolması bu yapıların verimliliğini ve ömrünü azaltmıştır. Bu tür büyük yapıların akarsu akımını kesmesi sonucu başka çevresel problemler de ortaya çıkarmıştır. Küçük, mini ve mikro hidroelektrik santraller, pek çok ülkenin kırsal elektrik ihtiyacının karşılanmasında anahtar rol üstlenmektedir. Bu santraller, doğal akışlı olup büyük barajların ve rezervuarların yapımını gerektirmemektedir. Bu konu ile ilgili ülkemizde yapılan çalışmalarda günden güne artmaktadır. Elektrik işleri etüt idaresi (EİE) ve devlet su işleri (DSİ) genel müdürlüğünün ülke genelinde yaptığı çalışmalar aşağıdaki Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye'nin küçük sulara hidroelektrik amaçlı su potansiyeli çalışmaları.

2.5. Hidroelektrik Enerji ve Küçük Hidroelektrik Santraller

Hidroelektrik enerji; hızla akan suyun enerjisiyle döndürülen elektrik jeneratörlerinden elde edilen elektriktir. Hidroelektrik enerji santralleri içme, kullanma ya da sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır. Hidroelektrik santralin ana bölümleri cebri borular, hidrolik türbinler, jeneratörler, transformatörler ile su akışını ve elektrik enerjisi dağıtımını denetleyen yardımcı donanımlardır. Cebri borular suyu aşağıya doğru türbinlere ileten büyük borular ya da tünellerdir. Türbinler, akan suyun hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Transformatörler üreteçlerden elde edilen alternatif gerilimi uzak mesafelere iletmek üzere çok yüksek gerilim değerlerine yükseltmekte kullanılır. Ülkeden ülkeye bazı farklar olmakla birlikte, bir veya birden fazla türbin-jeneratör ünitesi bulunan ve ünitelerin toplam kurulu gücü 10.000 kw' tan küçük santrallere küçük hidroelektrik santraller denilmektedir.

2.5.1. Küçük hidroelektrik santrallerin avantajları

1. Ulaşımı güç olan ve ulusal sistemden beslenemeyen kırsal bölgelerin enerji ihtiyacını karşılar. Böylece bu bölgelerin sosyal ve ekonomik yapılarının iyileştirilmesini sağlar.
2. Küçük hidroelektrik santrallerin türbin-jeneratör gruplarının tipleştirilerek standart hale getirilmeleri kolaydır.
3. Büyük hidroelektrik projelerin inşaat süresi ortalama 10 yıldır. Küçük hidroelektrik santraller, toplam yatırım bedelleri düşük olduğundan kısa sürede inşa edilebilir.
4. Termik santrallere nazaran işletme ve bakım masrafları daha azdır ve daha uzun ömürlüdür.
5. Üretilen enerji genellikle bölgede kullanıldığı için uzun iletim şebekeleri gerekmez ve iletim kayıpları düşer.
6. Temiz enerji üretir. Çevreyi kirletmez.

2.5.2. Küçük hidroelektrik santrallerin dezavantajları

1. Küçük hidroelektrik santrallerde 1 kw Kurulu güç için gerekli yatırım maliyeti büyük santrallere göre oldukça yüksektir.
2. Çok sayıda küçük santral yapmak yerine bir tane büyük santral yapmak ülke ekonomisi açısından daha faydalıdır.
3. Küçük hidroelektrik santrallerin işletme ve bakım masrafları büyük santrallere nazaran fazladır.
4. Küçük hidroelektrik santrallerde enerji üretimi meteorolojik ve mevsimsel değişikliklere bağlı olarak dalgalanmalar gösterir. Ayrıca hidroelektrik santralin beslediği bölgelerdeki enerji ihtiyacı günün çeşitli zamanlarında değişmektedir. Bundan dolayı küçük hidroelektrik santrallerin verimleri düşüktür.
5. Yapılan yatırıma göre etütler için yapılan harcama masrafları fazladır.

2.5.3. Hidroelektrik santrallerin sınıflandırılması

a. Düşülerine Göre:

- i) Alçak Düşülü Santraller: Düşü 15 metreden az
- ii) Orta Düşülü Santraller: Düşü 15–30 metre arasında
- iii) Yüksek Düşülü Santraller: Düşü 50 metreden büyük

b. Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre:

- i) Baz Santraller: Devamlı olarak enerji üreten santraller.
- ii) Pik Santraller: Enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu sürede çalışan santrallerdir.

c. Kapasitelerine Göre:

- i) Küçük Kapasiteli: 99 kw'a kadar
- ii) Düşük Kapasiteli: 100–999 kw arası
- iii) Orta Kapasiteli: 1000–9999 kw arası
- iiii) Yüksek Kapasiteli: 10.000 kw ve daha fazla

d. Yapılışlarına Göre:

- i) Yeraltı santrali
- ii) Yarı gömülü ve batık santral
- iii) Yer üstü santrali

e. Depolama Özelliklerine Göre:

i- Su deposu bulunmayan santraller: Bunlar doğrudan doğruya nehir veya kanal üzerinde kurulmuştur. Su depoları (göller) olmadığından akan suyun enerjisini elektriğe çevirirler. Memleketimizde Girlevik santrali bu tip santrallere örnek olarak gösterilebilir.

- a) Nehir Santralleri:
- b) Kanal Santralleri:

ii- Doğal veya yapay su deposu (gölü) olan santraller: Bu tip santrallerde suyun depolanması esastır. Genellikle su rejimlerinin düzensiz olduğu akarsularda suyun depolanması zorunluluk haline gelmektedir.

- a) Beton Barajlar: Ağırlık Barajlar, Payandalı Barajlar, Kemer Barajlar
- b) Dolgu Barajlar: Toprak Dolgu Barajlar, Kaya Dolgu Barajlar, Toprak ve Kaya Barajlar [18].

2.6. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli

Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde “brüt potansiyel”, “teknik potansiyel” ve “ekonomik potansiyel” kavramları önem taşımaktadır. Bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin teorik üst sınırını gösteren brüt su kuvveti potansiyeli; mevcut düşü ve ortalama debinin oluşturduğu potansiyeli ifade etmektedir. Topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olan brüt hidroelektrik enerji potansiyeli ülkemiz için 433 milyar kwh mertebesindedir.

Teknik yönden değerlendirilebilir su kuvveti potansiyeli; bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin teknolojik üst sınırını göstermektedir. Uygulanan teknolojiye bağlı olarak düşü, akım ve dönüşümde oluşabilecek kaçınılmaz kayıplar hariç tutulmaktadır. Bölgede planlanan hidroelektrik projelerin teknik açıdan uygulanabilmesi mümkün olan tümünün gerçekleştirilmesi ile elde edilecek hidroelektrik enerji üretiminin sınırlarını temsil etmektedir. Bu niteliğiyle teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyel, brüt potansiyelin bir fonksiyonu olmakta ve çoğunlukla onun yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

Ülkemizin teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli 216 milyar kwh civarındadır. Ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin ekonomik optimizasyonunun sınır değerini gösteren, gerek teknik açıdan geliştirilebilmesi mümkün, gerekse

ekonomik yönden tutarlı olan tüm hidroelektrik projelerin toplam üretimi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, beklenen faydaları (gelirleri), masraflarından (giderlerinden) fazla olan su kuvveti projelerinin hidroelektrik enerji üretimini göstermektedir.

Hidroelektrik santrallerin ekonomik yapılabilirliğinin hesaplanabilmesi için; enterkonnekte sistemde aynı enerjiyi üretecek kaynaklar gözden geçirilmekte ve en ucuz enerji kaynağı belirlenerek hidroelektrik santral (HES) projesi bu kaynakla mukayese edilmekte ve ancak daha ekonomik bulunursa önerilmektedir. Ekonomik HES potansiyeli içindeki tüm projeler; termik santrallere göre rantabiliteleri daha yüksek projelerdir.

Hidroelektrik santrallerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık %40’ı sudan üretilmektedir. Türkiye’de hidroelektrik proje üretimi ile ilgili DSİ ve EİE gibi kuruluşların en önemli görevlerinden biri de ülkenin hidroelektrik potansiyelini gelişimini temin edecek şekilde havza master planlarını, baraj ve santrallerin ön inceleme, planlama ve proje işlerini yapmak ve etüt ve proje hizmetlerinin ihtiyacı olan veri toplama faaliyetlerini yürütmektir. Hidroelektrik enerji potansiyelinin halen yararlanılmayan bölümünün gecikilmeden hizmete alınmasını sağlamak üzere ihtiyaç öncesinden yeterli miktarda projeyi hazır halde bulundurmak ilke olarak benimsenmiştir.

Ülkemizde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürütülen Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli, bu model kapsamındaki "Otoprodüktör Üreticiler" yöntemi ve işletmede bulunan hidroelektrik santrallerin " İşletme Hakkının devredilmesi" uygulaması ile DSİ tarafından yürütülen "%100 Dış Kredili Anahtar Teslimi" modelleri ile hidroelektrik santrallerin inşa edilmesinde önemli gelişmeler kaydedilmiş bulunmaktadır.

Ülkemizin 2004 yılı başı itibariyle tespit edilen teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli 127,6 milyar kwh’ dir. Bu potansiyel; en az ilk etüt seviyesindeki hidroelektrik projelerle, istikşaf (ön inceleme), master plan, fizibilite (planlama-

yapılabilirlik), kesin proje, inşa ve işletme aşamalarından oluşan 674 adet hidroelektrik projenin toplam enerji üretim kapasitesini ifade etmektedir.

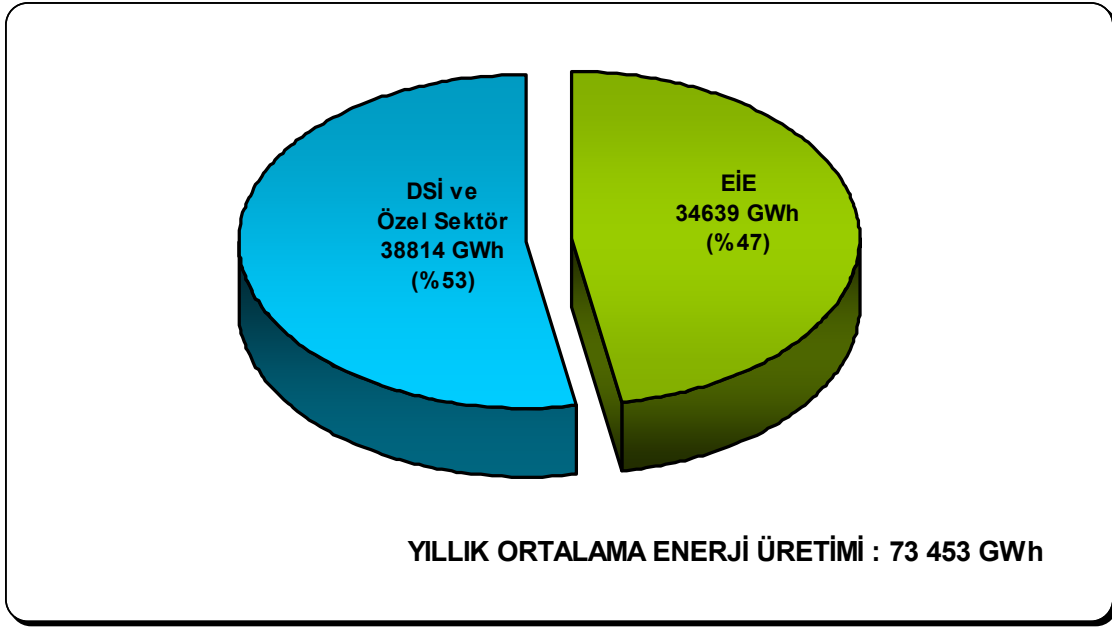
Havza gelişme planlarının farklı zamanlarda hazırlanmış olmalarından dolayı projeler sonraki tarihlerde ekonomik yönden tutarsız duruma gelebilmektedir. Bununla birlikte zaman içinde enerji fayda ve maliyetlerinde meydana gelen değişikliklere göre ekonomik bulunabilecek tesislerin, ilk etütlerde terkedilmiş olmalarına da rastlanılmaktadır. Bu nedenle havza gelişme planlarının belirli aralıklarla, özellikle enerji faydalarına esas teşkil eden alternatif referans santral grubundaki değişikliklerden sonra, tekrar gözden geçirilip değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Bunlara karşılık, su kaynaklarının geliştirilmesinde görev üstlenen EİE ve DSİ gibi kuruluşların yapmış oldukları, yeni enerji kaynaklarının yaratılmasına yönelik ilk etüt çalışmalarıyla bu potansiyele her yıl ilaveler olabilmektedir. Bütün bu olumlu ve olumsuz etkilerin de dikkate alınmasıyla, Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik potansiyeli yıldan yıla ufak farklılıklar göstermekle birlikte bugün için 127,6 milyar kwh civarında olduğu kabul edilebilir.

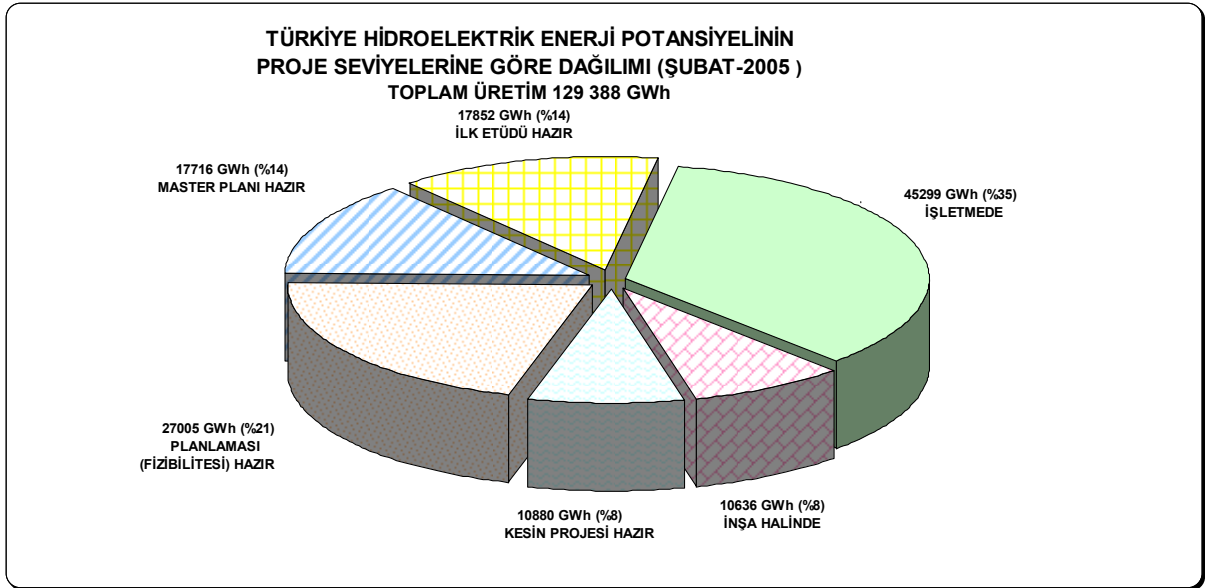
Türkiye 433 milyar kwh brüt teorik hidroelektrik potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyeli içinde %1 paya sahiptir. 127,6 milyar kwh ekonomik olarak yapılabilir potansiyeli ile Avrupa ekonomik potansiyeli içinde yaklaşık %15 hidroelektrik potansiyeline sahip bulunmaktadır [19].

2.7. Türkiye'nin Yıllık Hidroelektrik Enerji Üretimi ve Dağılımı

2005 yılı için Türkiye'nin yıllık hidroelektrik enerji üretimi ve dağılımı şekildeki gibidir. DSİ ve özel sektör 38814 gwh (%53). EİE 34639 gwh (%47). Yıllık ortalama enerji üretimi 73453 gwh dir. Türkiye'nin hidroelektrik üretim ve dağılımları ile Hidroelektrik Santral proje seviyeleri sırası ile Şekil 2.2., Şekil 2.3 ve Tablo 2.6.' da verilmektedir [18].



Şekil 2.2. Türkiye'nin Yıllık Ortalama Enerji Üretim Oranları.



Şekil 2.3. Türkiye HES Potansiyelinin Proje Seviyelerine Göre Dağılımı.

Tablo 2.6. Türkiye’deki HES Proje Seviyeleri.

Hidroelektrik Santral Projelerinin Mevcut Durumu	Proje Sayısı	Kurulu Güç (mw)	Toplam Yıllık Hidroelektrik Enerji Üretimi				
			Güvenilir Enerji (gwh)	Toplam Enerji (gwh)	Oran (%)	Kümülatif Enerji (gwh)	Oran (%)
İşletmede	135	12618	33 250	45 299	35	45 299	35
İnşa Halinde	41	3 219	6 356	10 636	8	55 935	43
Gelecekte İnşa Edilecek	532	20 67	40469	73 453	57	--	--
a) Kesin Projesi Hazır	15	3 585	7 194	10 880	8	66 815	51
b) Planlaması (Fizibilitesi) Hazır	178	7 467	13 518	27 005	21	93 820	72
c) Master Planı Hazır	91	5 103	10 592	17 716	14	111 536	86
d) İlk Etüdü Hazır	248	4 612	9 165	17 852	14	129 388	100
Toplam Potansiyel	708	36 03	80 075	129 88	100	129 388	100

2.8. Hidroelektrik Santrallerin Önemi, Enerjideki Yeri ve Tercih Sebepleri

Türkiye de; hızlı nüfus artışına ve sosyoekonomik gelişime paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak, günümüze kadar genellikle büyük hidroelektrik santral (HES) projeleri geliştirilmiştir. Ancak, yenilenebilir enerji özelliğine sahip olan küçük hidroelektrik santraller, kolay inşa edilebilmeleri, çevreye olumsuz etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olması ve kırsal kesimde sosyoekonomik yapının iyileştirilmesine katkıda bulunmaları nedenleriyle, dünyada giderek artan bir eğilim göstermektedirler. Bu sebeple, Türkiye’ de ilave hidroelektrik enerji potansiyelinin yeniden belirlenerek, küçük HES potansiyelinin tespit edilmesi önem arz etmektedir. Küçük hidroelektrik santrallerin sınıflandırılması, ülkelerin ekonomik yapılarına ve hidrolik potansiyeline göre yapılmaktadır [17]. Buna göre:

- 1-) Kurulu gücü: 0 – 100 kw arasında olanlar mikro HES,
- 2-) Kurulu gücü: 101 – 1000 kw arasında olanlar mini HES,

3-) Kurulu gücü: 1001 – 10000 kw arasında olanlar küçük HES, olarak kabul edilmiştir.

Türkiye’ de; küçük HES projelerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik bugüne kadar yapılmış kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Dünyada, küçük HES potansiyelinin payı toplam potansiyel içerisinde % 5-10 arasında değişmektedir. Başta Çin ve Hindistan olmak üzere, birçok ülkede küçük HES projeleri geliştirilerek, havzaların memba kesimlerindeki su ve düşü potansiyeli değerlendirilmekte ve böylece kırsal kesim ile dağlık bölgelerdeki enerji ihtiyacı karşılanmaktadır [20].

Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeline ilişkin olarak yukarıda verdiğimiz bilgilere göre kurulu gücü 10 mw’ dan küçük HES’ lerin payı yaklaşık % 2 – 3 civarındadır. Ancak, ülkemizin topoğrafik ve hidrolojik koşulları göz önünde bulundurulduğunda, havzalarda bugüne kadar etüdü yapılmamış akarsular üzerinde, daha çok küçük kapasiteliler olmak üzere birçok hidroelektrik santral kurulabileceği düşünülmektedir.

Ekonomik HES potansiyelimizin değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda, bugüne kadar daha çok akarsularımızın ana kol ve önemli yan kolları üzerindeki HES imkânları tespit edilmiştir. Bundan böyle yapılacak çalışmalarda ise, ağırlıklı olarak küçük akarsular üzerinde çalışmaların yoğunlaştırılmasında yarar görülmektedir. Böyle bir çalışma, hem değerlendirilmemiş HES potansiyelinin, hem de özellikle küçük HES imkânlarının ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır [17].

Ülkemizde 26 ana akarsu havzası bulunmaktadır (Şekil 2.4.). Bu havzalar su potansiyel imkânları, su ve toprak kaynaklarının kullanım seviyeleri, topografik, jeolojik ve diğer faktörler itibariyle birbirlerinden farklı özellikler göstermektedirler. Bu bakımdan, söz konusu akarsu havzalarının ayrı, ayrı ele alınarak bugüne kadar belirlenmemiş teknik ve ekonomik olabilecek HES projelerinin araştırılması gerekmektedir. Bu şekilde, yatırımcılar için güvenle kullanılacak temel alt yapı projeleri belirlenerek teknik ve ekonomik ilave potansiyel ortaya çıkarılabilecektir [18].



Şekil 2.4. Türkiye'nin 26 Ana Akarsu Havzası.

2.9. Türkiye'deki Küçük Ölçekli Hidroelektrik Potansiyel

Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli içinde küçük akarsulardan elde edilebilecek enerji miktarını belirleyecek ülke düzeyinde güvenilir bir çalışma 1980 yılına kadar yapılamamıştır. 1981 yılından itibaren E.İ.E. İdaresi Genel Direktörlüğünde küçük akarsulardaki hidroelektrik potansiyelinin saptanması çalışmasına başlanmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre küçük akarsular üzerinde 3948 mw güç tesis edildiğinde, 13.9×10^9 kwh/yıl güvenilir, 32.4×10^9 kwh/yıl ortalama enerji temin edilebileceği hesaplanmıştır. Türkiye'de ulusal şebekeden uzakta olan orman köylerinin elektrifikasyonu ile çeşitli nedenlerle ulusal şebekeden çok yetersiz elektrik alabilmekte olan köy ve kasabalar için değerlendirilebilecek son derece önemli bir doğal kaynağın varlığını göstermektedir.

Türkiye'de, proje aşamasındaki hidroelektrik tesislerin, kapasitelerine göre dağılımı 2004 yılı için Tablo2.7'de sunulmaktadır. Tablodan da görülebileceği gibi, %30,34'lük kısmı 50 mw'tan küçük tesislerden elde edilecektir. Türkiye'de halen inşa edilmiş olan toplam 177 mw kapasiteli 80 KHS'm %95'i orta veya yüksek

düşüldür. Genellikle dağınık bir ülke olan Türkiye'nin KHS potansiyeli oldukça büyüktür. Toplam ekonomik fizibil KHS potansiyeli 22.000 gwh/yıl olarak tahmin edilmektedir.

2.10. Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelin Gelecek Yıllardaki Gelişimi

Türkiye elektrik sisteminin gelişim analizi niteliğindeki "Orta ve Uzun Dönem Üretim Yatırım Planlaması" TEAŞ Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmekte ve bu çalışmaların gerektirdiği veriler hidroelektrik santrallerle ilgili olanları DSİ ve EİE tarafından sağlanmaktadır. Uzun dönem çalışması 2003–2020 yılları arasında kapsamaktadır. Üretilen senaryolarda yerli ve yenilenebilir kaynak niteliğindeki hidroelektrik santrallerin öncelikle ele alınmaları ön görülmektedir.

Planlamanın ön gördüğü sürede hidroelektrik santral inşaatlarının tamamlanması mümkün olursa Türkiye hidrolik kurulu gücü 2010 yılında 24935 mw'a, 2020 yılında ise 29984 mw'a çıkacaktır. Ancak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte hidrolik kurulu gücü 2010 yılındaki toplam kurulu gücün %38'ini oluşturmasına rağmen bu oranın 2020 yılından %28'e düşmesi beklenmektedir. Ülkemizin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kwh mertebesindedir. Bu potansiyelin teknik olarak değerlendirilebilir kısmının 216 milyar kwh civarında olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizin 1999 yılı için tespit edilen ekonomik hidroelektrik potansiyeli 123 milyar kwh'tir. Bu potansiyelin halen 37 milyar kwh üretim kapasitesine sahip %30'luk kısmı kullanılmakta, 13,6 milyar kwh üretim kapasitesine sahip %11'lik kısmı inşa halindedir.

Geri kalan 72,4 milyar kwh'lik üretim potansiyeline sahip %59'luk kısmı ise ön inceleme, master plan, yapılabilirlik ve kesin proje aşamalarından oluşan proje düzeyindedir. Toplam 123 milyar kwh üretim kapasitesine sahip 485 adet hidroelektrik santralin 104'ü işletmede 37 si inşa halinde ve geri kalan 344 adedi ise proje seviyesinde olup geliştirilmesi gerekmektedir. Ülkemizdeki doğal enerji kaynakları sınırlı olup, ulusal enerji kaynaklarımız yaklaşık 125 milyar kwh hidrolik, 105 milyar kwh linyit ve 16 milyar kwh taş kömürü olmak üzere toplam olarak yılda ortalama 246 milyar kwh civarında bulunmaktadır. 2010 yılında enerji

talebinin 289.800 gwh, 2020 yılında ise 547.100 gwh olacağı göz önüne alınırsa hidroelektrik enerjinin yanında diğer enerji kaynaklarına da ihtiyaç olduğu açıktır. Ancak, hidroelektrik santral projelerinin öncelikle ele alınması ve hidroelektrik potansiyelin, öncelikle geliştirilmesi ekonomik açıdan Türkiye için büyük önem taşımaktadır.

Tablo 2.7. Proje Aşamasındaki Hidroelektrik Tesislerin Kapasitelerine Göre Dağılımı

Sınıflandırma	HES Sayısı	Toplam Kapasite (mW)	Toplam Yıllık Enerji (gwh)	Toplam Yıllık Enerjiye Oranı (%)
<5 mw	139	312	1.568	2.17
5-10 mw	79	548	2.135	2.95
10-50 mw	186	4.595	18.244	25.22
50-100 mw	54	3.824	13.524	18.70
100-250 mw	36	5.527	18.179	25.13
250-500 mw	11	3.500	11.657	16.11
500-1000 mw	3	1.791	3.199	4.42
>1000 mw	1	1.200	3.833	5.30
TOPLAM	509	21.297	72.339	100

2.11. Hidroelektrik Potansiyel Hesaplama Yöntemi

Akarsuların hidroelektrik potansiyeli, topografik koşulların sağladığı düşü yüksekliğine ve suyun debisine bağlı olarak belirlenir. Akarsuların toplam debi ve düşülerine göre hesaplanan brüt potansiyel, maksimum teorik düzeyi gösterir. Brüt potansiyel bütün doğal akışların, deniz seviyesine, sınır aşan sularda sınıra kadar %100 türbin verimiyle elde edilebileceği varsayılan yıllık enerji potansiyelini ifade etmektedir. Teknik açıdan uygulanması mümkün su kuvveti projelerinin tümünün gerçekleştirilmesi sonucunda elde olunabilecek üretimin maksimum değerini gösteren teknik potansiyel, enerji değeri olarak brüt potansiyelin bir fonksiyonudur ve onun yüzdesi olarak ifade olunur.

Hidroelektrik enerji üretiminin teknolojik üst sınırını gösteren teknik yönden değerlendirilebilir su kuvveti potansiyeli, kullanılan teknolojiye bağlı olarak

meydana gelebilecek düşü, akım ve dönüşümdeki kayıplar hariç tutularak hesaplanır.

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan enerji olup, enerji miktarı düşü ve debi değişkenlerine bağlıdır. Belli bir düşü altında cebri boru ile türbine gelen suyun potansiyel enerjisi türbinde kinetik enerjiye, türbine akupile jeneratörde elektrik enerjisine dönüşmektedir. Türbine gelen suyun düşü yüksekliği ve debisi üretilecek gücü belirlemektedir.

Bu tezde bölgenin küçük HES potansiyeli hesaplanacağı için yukarıda verilen tablolardan küçük akarsularla ilgili olan tablolar kullanılarak gerekli olan hesaplamalar yapılmaktadır.

Hidroelektrik enerjinin hesaplanmasının değişik yöntemleri vardır. Enerji miktarı en çok suyun debisi ve düşü değerine bağlı olduğu için hesap yöntemlerinde genellikle bu iki parametrenin etkin olduğu (2.1)'deki bağıntı kullanılmaktadır.

$$N=\gamma \cdot H \cdot Q \dots\dots\dots(2.1)$$

Bu formülde:

$$N=\text{Güç}(tm/sn)$$

$$\gamma=\text{Suyun birim hacim ağırlığı}$$

$$H=\text{Kot Farkı (m)}$$

$$Q=\text{Debi (m}^3/sn)$$

Hidroelektrik santraldeki enerji kaybı oranları;

Türbinde: $\delta_{tür}$, Jeneratörde: δ_{jen} , Transformatörde: δ_{trans} ise

$\delta_{tür}$, δ_{jen} , $\delta_{trans} = 0,85$ oranında santralde güç kaybı oluşur. Bundan dolayı;

$$N_h = G \cdot H_n \cdot \eta_h = \gamma \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta_h$$

$$N = \gamma \cdot H \cdot Q \gg N = 9,81 \cdot H \cdot Q \cdot 0,85 \gg N = 8 \cdot H \cdot Q \text{ olarak hesaplanır.}$$

Su kaynağı potansiyeli hesabında;

$$N_{brüt} = 8 * H_{ort} * Q_{ort}$$

$$E_{brüt} = N_{brüt} * 24 * 365 \dots\dots\dots(2.2)$$

Bu bağıntıda:

$$N_{brüt} = \text{Su kaynağının brüt gücü (kw)}$$

$$H_{ort} = \text{Havzanın ortalama kotu (m)}$$

$$Q_{ort} = \text{Su kaynağının ortalama debisi (m3/sn)}$$

$$E_{brüt} = \text{Su kaynağının brüt enerjisi (kwh)}$$

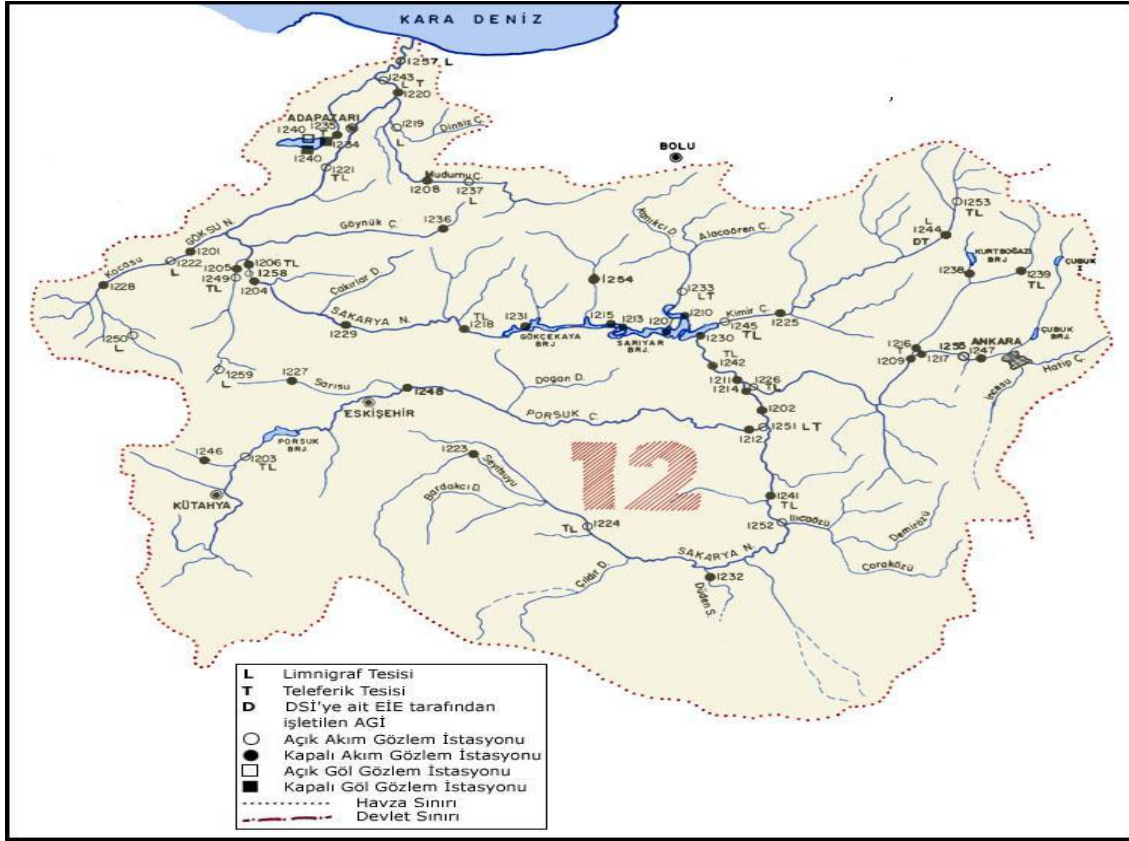
H_{ort} kareyaj yöntemi ile hesaplanır. H_{ort} hesaplanırken DSİ'nin 1/25000'lik haritaları kullanılır. İlk olarak akarsuyun güzergahı ve bu güzergah üzerindeki paftalar birleştirilerek havza alanı tespit edilir. Daha sonra paftalar üzerindeki 2 cm * 2 cm ebadındaki kareler dörde ayrılarak her bir karenin ortalama kotu bulunur. Membadan mansaba kadar bulunan tüm karelerin ortalama kotları toplanıp kare sayısına bölünerek ortalama kot hesaplanır. Ortalama kot hesaplandıktan sonra (2.1) ve (2.2)'deki formüllerde yerine konarak su kaynağının gücü ve enerjisi elde edilir [20].

BÖLÜM 3. SAKARYA HAVZASI HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİ

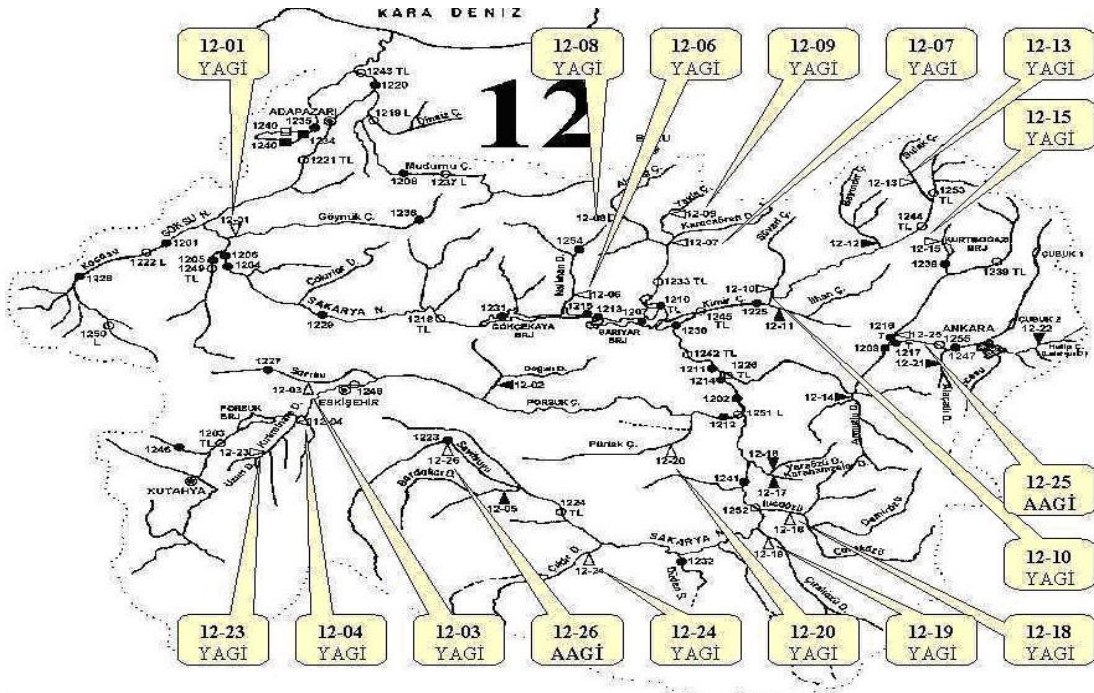
3.1. Sakarya Havzası

DSİ tarafından yapılan havza çalışmaları neticesinde ülkemiz akarsu havzaları 26 ana havzaya bölünmüştür (Şekil2.4). Bunlarda 12 numaralı olan havza ise Sakarya Havzasıdır (Şekil 3.1.). Sakarya havzasını su kaynakları ve bu kaynakların sağlayabileceği enerji potansiyelleri aşağıda irdelenmektedir.

Türkiye'deki 26 ana havdan biri olan 12 nolu Sakarya havzası, DSİ ve EİE tarafından yapılan etüt ve projelendirme çalışmalarında Aşağı Sakarya Havzası ve Yukarı Sakarya Havzası olmak üzere iki ayrı bölümde tanımlanmaktadır. Bu tezde Aşağı Sakarya Havzası ve bu havzaya ait su kaynakları ile bu kaynakların hidroelektrik enerji potansiyelleri irdelendiğinden çalışma alanı olarak Aşağı Sakarya Havzası seçilmiştir.



Şekil 3.1. Sakarya Havzası.



Şekil 3.2. Sakarya Havzası ve Akım Gözlem İstasyonları.

3.1.1. Aşağı Sakarya Havzasının su kaynakları

3.1.1.1. Sakarya Nehri

Aşağı Sakarya ovasının güney drenaj sınırında bulunan Doğançay' da 1221 nolu EİE istasyonu bu çalışmadaki etüt alanımıza dâhildir. Girişteki Maksimum ve minimum değerlerinin saptanması, Sakarya Nehri üzerinde kurulu bulunan Gökçekaya hidroelektrik santralinin regülasyonuna bağlıdır.

Sakarya Nehri drenaj alanına girişten itibaren iltihak eden belli başlı akarsular, batıda Çark Suyu, doğuda Mudurnu ve Dinsiz çaylarıdır. Sakarya nehri drenaj alanından Çark Suyu, Mudurnu ve Dinsiz çaylarına aldıktan sonra kuzey drenaj kara çizgisini oluşturan Karadeniz'e dökülür. Sakarya nehrinin drenaj alanında yatak uzunluğu 125 km'dir. Etüt alanında Mudurnu suyunun kesişimine kadar olan meyli km. başına 0.45 metredir. Mudurnu çayı aşağısında bu meyil km. başına 0.35 metreye düşer. Etüt alanının yeraltı suyunun akarsuya boşalımının, hesabı için: 1243 nolu EİE daimi akım rasat istasyonu ile etüt esnasında akım rasadı için 17–18–19–34 nolu muvakkat akım rasat istasyonları Sakarya nehri üzerinde tesis edilmiştir. Doğançay 1221 nolu akım rasat İstasyonu 1953'te Botbaşı 1243 nolu akım rasat istasyonu 1960 yılında tesis edilmiştir [21].

3.1.1.2. Mudurnu Çayı:

Sakarya havzasının doğu drenaj çizgisindeki dış havzalardan çalışma alanına intikal eden ikinci büyük akarsu Mudurnu çayıdır. Çalışma alanına doğu drenaj sınırı Taşburan yakınında dâhil olur. Ovaya giriş debisi bu çay üzerinde yer alan rasat istasyonunda ölçülür. Yatak şartlarının kötü oluşu nedeniyle Mudurnu suyunun ova girişinden Sakarya nehrine kadar olan kesimi DSİ 'ce kanala alınmıştır.

Mudurnu çayı Sakarya nehrine ulaşmadan önce Yeniköy yakınlarında; doğudan gelen Dinsiz çayı'nı alarak Süleymaniye bataklığı önünde Sakarya nehrine ulaşır. Mudurnu çayının etüt esnasında gözlenebilen minimum debisi Ovaya girişte 1979-Ağustos 3.622 m³/sn'dir. Maksimum debisi ise 62.811 m³/sn ile 1980 Mart ayında

gözlenmiştir. Mudurnu Çayı DSİ 'ce kanala alınmasına rağmen hala Sakarya Nehrine ulaştığı alanda Süleymaniye Bataklığını büyük taşkınlarda beslemektedir. Mudurnu çayının Ovadaki yatak meyli km'de 0,50 metredir. Mudurnu Çayı ve yan kollarının Ova dâhilindeki yatak şartları meyil yetersizliğinden dolayı kanallarla ıslah edilmesine rağmen Ova sularını istenilen düzey ve sürelerde drene etmeye yetmemektedir. Bundan dolayı Süleymaniye Bataklığının oluşumunu ve devam etmesini sağlar [21].

3.1.1.3. Dinsiz Çayı:

Dinsiz Çayı aşağı Sakarya havzasının doğu drenaj alanı içinden doğan, Mudurnu Çayı ile Sakarya Nehrine ulaşan önemli akarsulardan biridir. En Önemli kolları Hendek Çayı ve Balıklı Dereleridir. Drene ettiği akımlar, tali drenaj alanının batı drenaj hududunda Yağbasan Köyü yakınında EİE 'nin-1219 nolu akım rasat istasyonunda bulunan daimi akım rasat istasyonunda ölçülür. Yapılan ölçümlerle yıllık baz akımı yaklaşık olarak $52 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıldır}$ [21].

3.1.1.4. Çark Suyu:

Çark suyu genelde Sapanca Gölünün boşalım ayağı şeklindedir. Ancak Sapanca Gölünden çıktıktan sonra Aşağı Sakarya Ovasına ulaşır, Ova içinde oluşan mevsimlik ve daimi akarsuları da alarak Aşağı Sakarya ovası çıkış ölçüm noktası akım rasat istasyonuna ve oradan da Sakarya Nehrine ulaşır. Drene olduğu alan 556 km^2 dir. Çark suyunun akım değerleri Sapanca Gölü çıkışındaki EİE 'nin Beş köprüler daimi akım rasat istasyonunda ölçülür. Bu noktadan itibaren çark suyu yatağının Sakarya Nehrine kadar olan kısmı Sofiler koyuna kadar DSİ 'ce ıslah, edilerek kanala alınmıştır. Çark suyu kanalı Sapanca Gölünden itibaren; Erenler drenaj kanalını, Gökçeören kurutma kanalını, Karakamış kurutma kanallarını ve Söğütlü kurutma kanallarını drene etmektedir [21].

3.1.1.5. Karasu Deresi:

Aşağı Sakarya Ovasının güney tali drenaj çizgisi eteklerinde mevcut olan kaynaklardan oluşur. Sakarya nehrine dökülmeden Karasu Kasabası yakınlarında Karadeniz'e ulaşır. Drene ettiği toplam alan 303 Km² dir [21].

3.1.1.6. Karacasu (Kuyumculu) Deresi:

Sakarya Havzasının Karadeniz tarafında, Karasu İlçesi sınırlarında yer alan ve yaklaşık kotu 10 m. olan bu dere üzerinde de geçmişte kısmi bazı ölçümler yapılmışsa da kotu düşük olduğu için hidroelektrik üretimi amaçlı ciddi bir çalışma içerisine girilmemiştir. Ancak Tablo 3.1.'den de anlaşılacağı gibi bu derenin akım değerleri küçük bir hidroelektrik santrali için oldukça elverişli görülmektedir. Bu dere üzerinde projelendirilecek olan bir Küçük HES 'den üretilen enerji bu yöredeki birçok fabrika, sanayi, işletme ve meskenin elektriğini karşılayabilecek miktarlara ulaşacaktır.

Tablo 3.1. Karacasu Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri

Karacasu Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri (lt/sn.)	
Aylar	Ortalama Debi (lt/sn)
Ekim	2990
Kasım	5850
Aralık	8290
Ocak	7690
Şubat	7700
Mart	8280
Nisan	5380
Mayıs	2090
Haziran	1840
Temmuz	1500
Ağustos	730
Eylül	1140
Minimum	730
Maksimum	8290
Ortalama	4460
Gözlem Süresi Anlık Maksimum Değeri (m ³ /s)	68.0 m ³ /sn
Tarihi:	13/10/1994

3.1.1.7. Akçay Deresi (Doğancılar):

Üzerinde değişik zamanlarda ölçümler gerçekleştirilen bu derenin de belli bir miktarda hidroelektrik potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu dereye ilişkin akım değerleri Tablo 3.2.'de verilmektedir. Her ne kadar Dereye ait akım debileri küçük olsalar da dere yaklaşık 650 m 'lik kotu ile önemli bir düşüye sahiptir. Dolayısıyla bu düşü ve akım değerleri göstermektedir ki, Akçay deresi (Doğancılar kolu) üzerinde projelendirilecek olan bir küçük hidroelektrik santral bu yörenin ve dolayısıyla ülkenin ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır.

Tablo 3.2. Akçay Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri

Akçay Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri (lt/sn.)	
Aylar	Ortalama Debi (lt/sn)
Ekim	100
Kasım	110
Aralık	180
Ocak	160
Şubat	200
Mart	390
Nisan	410
Mayıs	380
Haziran	250
Temmuz	80
Ağustos	30
Eylül	30
Minimum	30
Maksimum	410
Ortalama	190
Gözlem Süresi Anlık Maksimum Değeri (m ³ /s) / Tarihi:	17.8 m ³ /sn 09/10/1996

3.1.1.8. Bıçkı Deresi

Hidroelektrik potansiyel açısından bu güne kadar üzerinde her hangi bir çalışma yapılmamış derelerden birisi de, Sakarya havzasında yer alan bu derenin akım değerleri Tablo 3.3.'de verildiği gibidir. Tablo 3.3.'den de anlaşılacağı gibi Bıçkı deresi üzerinde özel girişim ve gayretlerle yapılan yıllık ölçümler neticesinde en düşük akım değeri 179 lt / sn, en büyük akım değeri ise 567 lt / s, ortalama akım değeri ise 374.46 lt / sn. olarak ölçülmüştür. Derenin mevcut kotu da dikkate alındığında bu dere üzerinde projelendirilerek yapılacak olan küçük ölçekli bir

hidroelektrik santral yılda yaklaşık 0.5 – 1.0 milyon kwh’ in üzerinde elektrik üretebilecek özelliktedir.

Tablo 3.3. Bıçkı Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri

Bıçkı Deresi Uzun Yıllar Aylık Ortalama Debi Değerleri (lt/sn.)	
Ölçüm Tarihi	Ortalama Debi (lt/sn)
07.09.1994	224
24.10.1997	377
17.11.1997	496
15.12.1997	514
14.01.1998	484
13.02.1998	567
13.03.1998	422
15.04.1998	437
27.05.1998	507
11.06.1998	411
14.07.1998	327
27.08.1998	246
21.09.1998	234
27.09.2004	192
09.08.2005	179
Minimum	179
Maksimum	567
Ortalama	374.46

3.1.1.9. Akçay Deresi (İkramiye Köyü):

Sakarya havzasında yer alan ve Adapazarı Büyükşehir sınırları içerisindeki Sapanca İlçesi İkramiye Köyü sınırlarında yer alan Akçay Deresi (İkramiye Köyü Kolu), Adapazarı Büyükşehir Belediyesi ADASU Genel Müdürlüğünce su temini amaçlı kullanılmaktadır. Ancak, Tablo 3.4.’te yer alan bu derenin akım değerlerine bakıldığında; akım değerlerinin oldukça yüksek olduğu, su temini için kullanılan

suyun toplam su debisinin sadece %37'sini oluşturduğu, %63'ünün boşa aktığı görülmektedir.

Tablo 3.4. Akçay Deresi (İkramiye Köyü) Akım Gözlem Değerleri

Akçay Deresi (İkramiye Köyü) Yıllara Göre Akım Gözlem (Ölçüm)Değerleri						
Ölçüm No:	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Değeri (lt/sn)	Kullanılan Su (lt/sn)	Boşa Akan Su (lt/sn)	Kullanılan Su (%)	Boşa Akan Su (%)
1	10.03.2005	2545	145	2400	5,69	94,3
2	13.04.2005	2320	150	2170	6,46	93,53
3	26.04.2005	1214	144	1070	11,86	88,13
4	09.05.2005	1180	153	1027	12,96	87,03
5	30.05.2005	320	140	180	43,75	56,25
6	11.07.2005	366	130	236	35,51	64,48
7	29.07.2005	200	144	56	72	28
8	15.08.2005	135	125	10	92,59	7,4
9	19.08.2005	130	120	10	92,3	7,69
10	02.09.2005	98	98	-	100	0
11	05.09.2005	156	140	16	89,74	10,25
12	20.09.2005	95	95	-	100	0
13	30.09.2005	304	149	155	49,01	50,98
14	06.10.2005	125	125	-	100	0
15	13.10.2005	1000	-	1000	0	100
16	21.10.2005	162	147	15	90,74	9,25
17	07.11.2005	1594	149	1445	9,34	90,65
18	14.11.2005	883	147	736	16,64	83,35
19	28.11.2005	2253	153	2100	6,79	93,2
20	19.12.2005	2931	151	2780	5,15	94,84
21	30.12.2005	3126	156	2970	4,99	95
22	20.01.2006	3299	154	3145	4,66	95,33
23	10.02.2006	3337	152	3185	4,55	95,44
24	21.02.2006	3459	159	3300	4,59	95,4
25	06.03.2006	4300	160	4140	3,72	96,27
26	29.03.2006	4063	153	3910	3,76	96,23
27	17.04.2006	1826	151	1675	8,26	91,73
28	04.05.2006	1077	153	924	14,2	85,79
29	18.05.2006	453	151	302	33,33	66,66
30	29.05.2006	359	153	206	42,61	57,38
31	19.06.2006	274	155	119	56,56	43,43
32	06.07.2006	216	145	71	67,12	32,87
Ortalama (%)					37	63
Uzun Süreli Minimum Akım Değeri (lt/sn)				95		
Uzun Süreli Maksimum Akım Değeri (lt/sn)				4063		
Uzun Süreli Ortalama Akım Değeri (lt/sn)				1381		

Her ne kadar, Akçay deresi Adapazarı Büyükşehir Belediyesi ADASU Genel Müdürlüğüne su temini amaçlı kullanılmakta ise de bu durum enerji üretimi için engel teşkil etmemektedir. Dolayısıyla derenin akım değerleri ve düşüşünden faydalanılarak, boşa akan suyu da değerlendirmek suretiyle bu dereden hidroelektrik enerji elde edilebilir.

Bu durumda ilk olarak enerji elde edilir. Daha sonra da kuyruk suyu alınarak su temini tesislerinde kullanılır. Bu şekilde suyun kullanımı ve hidroelektrik enerji santralının projelendirilmesi işçilik, tesis ve dolayısıyla ekonomik yönden de birçok avantajı beraberinde getirecektir. Çünkü su temini için yapılan havuzlar, bağlamalar, tüneller, kanallar, cebri borular vb. hidroelektrik santral tesisi için de kullanılacaktır. Dolayısıyla bir sistem için yapılmış olan bazı tesisler bir diğer sistem için de kullanılmış olacaktır. Bu durum ise tesislerin proje maliyetlerini düşürerek projelerin uygulanabilirlik düzeyini arttıracaktır ve projenin geri dönüşüm sürecini azaltacaktır.

3.2. Aşağı Sakarya Havzasındaki Hidroelektrik Potansiyeli ve Proje - Planlama Çalışmaları

Sakarya havzası oldukça önemli su kaynaklarına, ovası ise verimli topraklara ve önemli sanayi kuruluşlarına sahiptir. Sakarya ovasında sanayileşmenin hızla gelişmesi ve ovanın ulaşım ağı bakımından çok önemli bir noktada olması sebebiyle Sakarya havzası içinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların başında; Bölgede bulunan sanayi kuruluşlarının enerji ihtiyaçlarının karşılanması için projeler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Bunların yanı sıra Havzada bulunan su kaynakları ovanın verimliliği için son derece önemlidir. Sakarya Nehri Türkiye içinde önemli bir su kaynağıdır. Sakarya Nehrinin yanı sıra havzada; Mudurnu Çayı, Dinsiz Çayı, Çark Suyu, Karasu Deresi gibi önemli su potansiyelleri de mevcuttur.

3.3. Havzanın Hidroelektrik Potansiyeli:

Türkiye'nin sınırları içerisinde yer alan su kaynakları göz önüne alındığında, hidroelektrik bakımından önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Ülke coğrafyası içerisinde yer alan havzalardaki hidroelektrik potansiyeli araştırma çalışmaları tüm hızıyla devam etmektedir. Bu çalışmaların büyük bir bölümünü küçük akarsu kaynaklarındaki hidroelektrik enerji potansiyellerinin tespiti ve bu akarsular üzerinde HES projelerinin geliştirilmesi oluşturmaktadır.

Sakarya nehri ana kollardaki mevcut hidroelektrik potansiyelin Sarıyar, Yenice ve Gökçekaya barajlarıyla tam olarak kullanıldığı düşünülürse küçük akarsuların hidroelektrik potansiyellerinin tespitine yönelik bu araştırmalar son derece önemlidir.

EİE tarafından yürütülen ve halen devam etmekte olan küçük akarsular üzerindeki enerji imkânlarına ilişkin ilk etütlerin hazırlanması çalışmalarına Sakarya havzası da dâhil edilmiş olup bu çalışmalardan 76 tanesi Sakarya havzasına aittir. Her ne kadar da bugüne kadar bu havzadaki çalışmalarda istenilen sonuçlara ulaşılamamışsa da EİE tarafından yürütülen bu çalışmalarda Sakarya Havzasında hidroelektrik Enerji potansiyeli olabilecek yerler belirlenmiş olup, hidrometrik ölçümler ve proje çalışmaları devam etmektedir [21].

3.4. Aşağı Sakarya Havzasındaki Hidroelektrik Santral Çalışmaları

İlk planda belirlenen proje sayısı 76 olup, ancak ilk etüt çalışmaları için bugüne kadar ele alınan proje yoktur. EİE'nin Hidrolik Etütler Dairesi tarafından yapılan çalışmalarda; Hesaplanarak projeye gönderilen akım sayısı 8, ölçümlerden sonra hesaplanan akım sayısı 3'tür. EİE tarafından yapılan bu araştırmaların dışında Sakarya havzasında DSİ ve özel şirket veya kuruluşlar tarafından etüt ve planlama çalışmaları devam eden hidroelektrik enerji üretim santral projeleri de mevcuttur. Bu çalışmalarla ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda verilmektedir.

Sakarya Havzasında bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda Sakarya nehrinin ana kolları üzerindeki mevcut hidroelektrik potansiyel dolmuştur. Diğer taraftan Geyve Boğazından sonra ana kol ovaya dâhil olduğu için Baraj yapma imkânı yoktur. Sakarya Havzasında bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda yapılan HES 'ler aşağıda verilmektedir [21].

3.4.1. Yapımı Tamamlanmış Olan HES 'ler

Yapımı tamamlanmış olan santraller ve özellikleri aşağıda verilmektedir [21].

I. Sarıyar Barajı ve Hidroelektrik Santrali

Barajın Adı	: Sarıyar
Bitiş Yılı	: 1956
Baraj Tipi	: Beton Ağırlıklı
Havza Adı	: Sakarya Havzası
Akarsu Adı	: Sakarya Nehri
Temelden Yüksekliği	: 108 m
Depolama Hacmi	: $1900 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kurulu Güç	: 160 mw
Yıllık Ort. Enerji	: 400 gwh
Bulunduğu İl	: Ankara

II. Gökçekaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali

Barajın Adı	: Gökçekaya
Havza Adı	: Sakarya Havzası
Akarsu Adı	: Sakarya Nehri
Bitiş Yılı	: 1972
Baraj Tipi	: Beton Kemer
Temelden Yüksekliği	: 115 m
Depolama Hacmi	: $910 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kurulu Güç	: 278 mw

Yıllık Ort. Enerji	: 562 gwh
Bulunduğu İl	: Eskişehir

III. Yenice Barajı ve Hidroelektrik Santrali

Barajın Adı	: Yenice
Havza Adı	: Sakarya Havzası
Akarsu Adı	: Sakarya Nehri
Bitiş Yılı	: 1998
Baraj Tipi	: Toprak Dolgu
Temelden Yüksekliği	: 33.1 m
Depolama Hacmi	: 1798x10 ³ m ³
Kurulu Güç	: 38 mw
Yıllık Ort. Enerji	: 122 gwh
Bulunduğu İl	: Sakarya

Bu barajlar ve hidroelektrik santraller, DSİ tarafından yapımları tamamlanmış ve işletimde olan tesislerdir. Bunların yanı sıra son yıllarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından geliştirilen projelerde mevcuttur. Bunlar aşağıda verilmektedir.

3.4.2. Proje seviyelerine göre HES 'ler (Kesin projesi hazır olanlar)

EİE tarafından etütleri yapılarak kesin projeleri hazırlanmış ve DSİ 'ne devredilmiş olan projeler aşağıda verilmektedir [21].

I. Gürsöğüt HES Projesi

HES 'in Adı	: Gürsöğüt
Projenin Bulunduğu İl	: Eskişehir
Nehir	: Sakarya
Havza	: Sakarya
Kurulu Güç (mw)	: 242
Yıllık Ort. Enerji (gwh)	: 276

Güvenilir Enerji (gwh)	: 159
Tipi	: Kemer Dolgu
Talvegden Yüksekliği (m)	: 100
Brüt Düşü (m)	: 95
Ort Debi (m ³ /s)	: 45
Gövde Hacmi (m ³)	: 5,955x10 ⁶
Kuvvet Tüneli Boyu (m)	: -
Tesis Bedeli (YTL)	: 33,477x10 ³
Proje Bedeli (YTL)	: 40,8x10 ³
Yatırım Bedeli (YTL)	: 53,6x10 ³
Rayiç Yılı	: 1984
İnşaat Süresi (yıl)	: 6
İşletim	: DSİ

II. Kargı-Sakarya HES Projesi

HES 'in Adı	: Kargı-Sakarya
Projenin Bulunduğu İl	: Eskişehir
Nehir	: Sakarya
Havza	: Sakarya
Kurulu Güç (mw)	: 194
Yıllık Ort. Enerji (gwh)	: 246
Güvenilir Enerji (gwh)	: 140
Tipi	: Kemer Dolgu
Talvegden Yüksekliği (m)	: 69
Brüt Düşü (m)	: 82,5
Ort. Debi (m ³ /s)	: 45
Gövde Hacmi (m ³)	: 2,140 x10 ⁶
Kuvvet Tüneli Boyu (m)	: 1257
Tesis Bedeli (YTL)	: 29,214x10 ³
Proje Bedeli (YTL)	: 40,8x10 ³
Yatırım Bedeli (YTL)	: 33,8x10 ³
Rayiç Yılı	: 1984

İnşaat Süresi (yıl) : 6
İşletim :DSİ

3.4.3. Tüzel kişiler tarafından geliştirilen projeler:

I. Taşyatak HES Projesi:

Tesisin Bulunduğu İl : Sakarya
İlçe : Akyazı
DSİ Bölgesi : 03 Eskişehir
Akarsu Adı : Fındıklı Deresi
Projenin Amacı : Elektrik Üretimi
Başvuru Yapan Firma : Taşyatak Enerji Üretim Ve Ticaret Ltd. Şti.

II. Taraklı HES Projesi:

Tesisin Bulunduğu İl : Sakarya
İlçe : Taraklı
Dsi Bölgesi : 03 Eskişehir
Akarsu Adı : Göynük Çayı
Projenin Amacı : Elektrik Üretimi
Başvuru Yapan Firma : Düzce Enerji Birliği İnş. San. Ve Tic. Ltd. Şti.

3.4.4. İşletmedeki HES projeleri

I. Hendek Araklı HES Projesi

HES 'in Adı : Hendek Araklı
Projeyi Yapan : Belediye
Projenin Amacı : Elektrik Üretimi
Kurulu Güç (mw) : 0,33
Üretim: Ortalama : 1 gwh
Güvenilir Üretim : 1 gwh

Santralin Bulunduğu İl	: 54 Sakarya
İlçe Adı	: Hendek
Havza No ve Adı	: 12-Sakarya
DSİ Bölgesi	: 03-Eskişehir
İşletmeye Açıldığı Yıl	: 2000

3.4.5. Planlama raporu hazır olan projeler

I. Mansurlar HES Projesi

HES 'in Adı	: Mansurlar
Projeyi Yapan	: DSİ
Projenin Amacı	: Elektrik Üretimi
Kurulu Güç (mw)	: 12.00
Ortalama Üretim	: 54 gwh
Güvenilir Üretim	: 16 gwh
Santralin Bulunduğu İl	: 54 Sakarya
İlçe	: Akyazı
Havza No ve Adı	: 12-Sakarya
DSİ Bölgesi	: 03-Eskişehir

II. Pazarköy HES Projesi:

HES 'in ADI	: Pazarköy
Projeyi Yapan	: DSİ
Projenin Amacı	: Elektrik Üretimi
Kurulu Güç (mw)	: 17.00
Ortalama Üretim	: 78 gwh
Güvenilir Üretim	: 27 gwh
Santralin Bulunduğu İl	: 54 Sakarya
İlçe	: Akyazı
Havza No ve Adı	: 12-Sakarya
DSİ Bölgesi	: 03-Eskişehir

III. Taraklı HES Projesi:

HES 'in Adı	: Taraklı
Projeyi Yapan	: OTOPR
Projenin Amacı	: Elektrik Üretimi
Kurulu Güç (mw)	: 5.00
Ortalama Üretim	: 18 gwh
Güvenilir Üretim	: 2 gwh
Santralin Bulunduğu İl	: 54 Sakarya
İlçe	: Geyve
Havza No ve Adı	: 12-Sakarya
DSİ Bölgesi	: 03-Eskişehir

IV. Doğançay HES Projesi:

HES 'in Adı	: Doğançay
Projeyi Yapan	: DSİ
Projenin Amacı	: Elektrik Üretimi
Kurulu Güç (mw)	: 16.89
Ortalama Üretim	: 148 gwh
Güvenilir Üretim	: 94 gwh
Santralin Bulunduğu İl	: 54 Sakarya
İlçe Adı	: Geyve
Havza No ve Adı	: 12-Sakarya
DSİ Bölgesi	: 03-Eskişehir

V. Büyük Melen HES Projesi

HES 'in Adı	: B.Melen
Projeyi Yapan	: DSİ
Projenin Amacı	: Elektrik Üretimi + İşletme
Kurulu Güç (mw)	: 30,00
Ortalama Üretim	: 151 gwh
Güvenilir Üretim	: 160 gwh
Santralin Bulunduğu İl	: 54 Sakarya
İlçe Adı	: Karasu
Havza No ve Adı	: 13-B.Karadeniz
DSİ Bölgesi	: 03-Eskişehir

BÖLÜM 4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

4.1. Genel

Bu bölüm, çalışmanın temel konusunu oluşturan Yapay Sinir Ağları teknolojisine ait temel ve teorik bilgileri kapsamaktadır. Teknolojik gelişmenin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde, insanoğlunun kendisini tanımaya yönelik çalışmaları da önemli aşamalar kaydetmiştir. Yapay zeka (artificial intelligence) kavramı ile insanın en önemli özellikleri olan düşünebilme ve öğrenebilme yetenekleri en önemli araştırma konuları durumuna gelmiştir. Özellikle son zamanlarda bilgisayar kullanımının hızla yaygınlaşması sonucunda yapay zeka çalışmaları da bir ivme kazanmıştır.

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zeka, aslında programlanmış bilgisayarlara düşünme yeteneği sağlama girişimidir. İnsan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950'li yıllardan beri süren yapay zeka çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yayılmıştır. İnsan gibi düşünebilen ve davranabilen sistemlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda bugün gelinen nokta, henüz yapay zekanın tam olarak geliştirilememiş olmasıdır.

Bu bölümde, YSA hakkında temel ve teorik bilgilere yer verilmiştir. Bundan sonraki kısım da ise YSA 'ların tanımına yer verilmekte ve daha sonraki bölümde YSA 'ların mimarisi (yapısı) ve temel elemanları ayrıntılı şekilde anlatılmaktadır [22].

4.2. YSA' nın Tarihsel Gelişimi ve Kullanımı

1950'li yılların sonlarında, büyük ölçekli işlemcilerin geliştirilmesiyle, beynin yaptığı işlemleri yapabilecek sinir ağlarının oluşturulabilmesi mümkün hale gelmiştir. Gerçekten de, YSA'lar dijital işlemcilerin geliştirilmesinden sonra işlem yöntemi olarak önemli bir yeni yaklaşım olarak görülmektedir. YSA simülasyonları nispi olarak yeni bir gelişme olarak görülmektedir. Bununla beraber, bu alan bilgisayarın çıkışından önce ortaya çıkmıştır ve bir bocalama devresi geçirdikten sonra yoluna devam etmiştir.

Bilgisayarların yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, YSA alanında oldukça önemli gelişmeler olmuştur. Bu alandaki araştırmalar ve çalışmalar büyük bir ilgi ile başlamış fakat beklenen gelişmelerin gerçekleşmemesi sonucunda ilgi azalmış ve bir suskunluk dönemi başlamıştır. Profesyonel ve maddi katkının minimum olduğu bu dönemde, sadece birkaç araştırmacı tarafından katkı sağlanmıştır. Bu araştırmacılar, Minsky ve Papert tarafından tanımlanan sınırlamaları etkisiz kılan bir teknoloji geliştirmişlerdir. Minsky ve Papert, 1969 yılında bir kitap yayınlamışlardır ve bu kitapta, araştırmacılar arasında ön plana çıkan ve ekstra analiz yapılmadan kabul gören YSA'lara karşı bazı olumsuzlukları toplamışlardır. Son yıllarda ise, YSA alanı ilgi ve katkı olarak yeniden canlanmaktadır. YSA'lar 1950'li yıllarda ortaya çıkmalarına rağmen, ancak 1980'li yılların ortalarında genel amaçlı kullanım için yeterli seviyeye gelmişlerdir.

İnsanlığın doğayı araştırma ve taklit etme çabalarının en son ürünlerinden bir tanesi Yapay Sinir Ağları teknolojisidir. Yapay Sinir Ağları, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini simüle etmek için tasarlanan programlardır. Simüle edilen sinir hücreleri (nöronlar) içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözlemeleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi

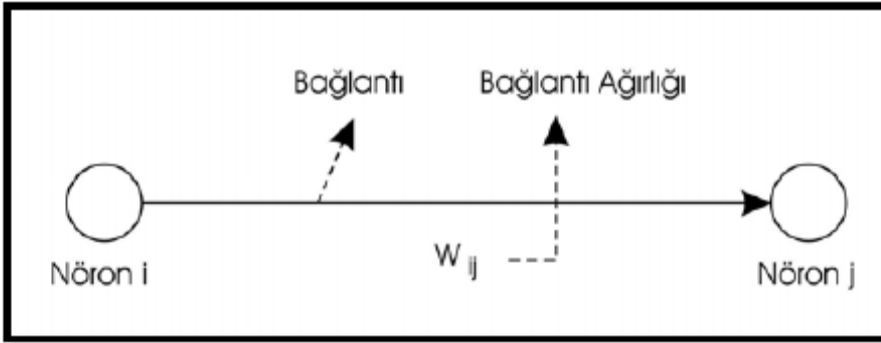
ise insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir.

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik (synaptic) bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insanlar doğumlarından itibaren bir “yaşayarak öğrenme” süreci içerisine girerler. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitime yoluyla örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını (weights of the synapses) bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur.

YSA’lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık, sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğere nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem elemanları kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı da sinir ağlarını oluşturmaktadır.

Sinirsel (neural) hesaplamanın merkezinde dağıtılmış, adaptif ve doğrusal olmayan işlem kavramları vardır. YSA’lar, geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem elemanı her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA’lar ise her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen, çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşmaktadır. En basit şekilde, bir işlem elemanı, bir girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, işlem elemanlarının çalışma şekli yanıltıcı şekilde basittir. Sinirsel hesaplamanın gücü, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından gelmektedir. Çoğu YSA’da, benzer karakteristiğe sahip nöronlar tabakalar halinde yapılandırılırlar ve transfer fonksiyonları eş zamanlı olarak çalıştırılırlar. Hemen hemen tüm ağlar, veri alan nöronlara ve çıktı üreten nöronlara sahiptirler [22].

YSA'nın ana ögesi olan matematiksel fonksiyon, ağın mimarisi tarafından şekillendirilir. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, fonksiyonun temel yapısını ağırlıkların büyüklüğü ve işlem elemanlarının işlem şekli belirler. YSA'ların davranışları, yani girdi veriyi çıktı veriye nasıl ilişkilendirdikleri, ilk olarak nöronların transfer fonksiyonlarından, nasıl birbirlerine bağlandıklarından ve bu bağlantıların ağırlıklarından etkilenir. Bu bilgiler ışığında bakıldığında, YSA'ların yapısı üç ana eleman içermektedir ve Şekil 4.1.'deki gibidir. Şekilden de görülebileceği gibi, YSA'ların yapısını oluşturan üç ana eleman temel işlem elemanı olan nöron, girdi ve çıktı yolunu sağlayan bağlantı ve bu bağlantıların sağlamlığını gösteren bağlantı ağırlığıdır.



Şekil 4.1. YSA Mimarisinin Temel Elemanları

Genel olarak YSA metodolojisinin uygulama adımlarına bakıldığında, YSA'nın basit ama yoğun yapısı ve bazı temel özellikleri daha açık anlaşılabilir. Tipik olarak, bir YSA'nın mimarisi (veya yapısı) oluşturulur ve çeşitli matematiksel algoritmalarla bir tanesi kullanılarak üretilen çıktıların doğruluk (accuracy) düzeyinin maksimize edilmesi için gerekli olan ağırlık değerleri belirlenir. YSA'lar önceki örnekleri kullanarak ağırlıkları belirlemek yoluyla girdi değişkenleri ile tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkartırlar; diğer bir deyişle YSA'lar eğitilir. Bir kez bu ilişkiler ortaya çıkartıldıktan sonra (yani ağ eğitildikten sonra), YSA yeni verilerle çalıştırılabilir ve tahminler üretilebilir. Bir ağın performansı, amaçlanan sinyal ve hata kriteri ile ölçülür. Ağın çıktısı, amaçlanan çıktı ile karşılaştırılarak hata payı elde edilir.

Geril Yayılma (backpropagation) olarak adlandırılan bir algoritma hata payını azaltacak şekilde ağırlıkları ayarlamak için kullanılır. Bu işlem defalarca tekrar edilerek ağı eğitilir. Eğitime işleminin amacı performans ölçümleri bazında optimum çözüme ulaşmaktır. YSA'lar gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde oldukça geniş bir uygulama alanı kazanmışlardır. Bugün, birçok endüstride başarılı şekilde kullanılmaktadırlar. Uygulama alanları için bir sınır yoktur. Fakat öngörü, modelleme ve sınıflandırma gibi bazı alanlarda ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. YSA'lar 1950'li yıllarda ortaya çıkmalarına rağmen, ancak 1980'li yılların ortalarında genel amaçlı kullanım için yeterli seviyeye gelmişlerdir. Bugün, YSA'lar bir çok ciddi problem üzerinde uygulanmaktadır ve bu problemlerin sayısı giderek artmaktadır. Verideki trend veya yapıyı (pattern) en iyi tanımlayan yöntem olmaları dolayısıyla, tahmin (prediction) ve öngörü işlemleri için çok uygundur. YSA'ların gerçek hayattaki yaygın uygulama alanlarına şu örnekler verilebilir:

- Kalite Kontrol
- Finansal Öngörü
- Ekonomik Öngörü
- Kredi Derecelendirme
- Konuşma ve Yapı Tanımlama
- İşlem Modelleme ve Yönetimi
- Laboratuvar Araştırmaları
- İflas Tahmini
- Petrol ve Gaz Arama

YSA'lar, tanımlanmamış girdi verileri hakkında karar verirken genelleme yapabildikleri için iyi birer yapı tanımlayıcısı (pattern recognition engine) ve sağlam sınıflandırıcıdır (robust classifier). Fonksiyonel tahmin (prediction) ve sistem modelleme gibi fiziksel işlemin anlayamadığı veya aşırı karmaşık olduğu problemler yanında konuşma, karakter ve sinyal tanımlama gibi çeşitli sınıflandırma problemleri için çözüm yolları sağlamaktadırlar. Ayrıca, kontrol problemlerinde de uygulama sahası bulmaktadırlar.

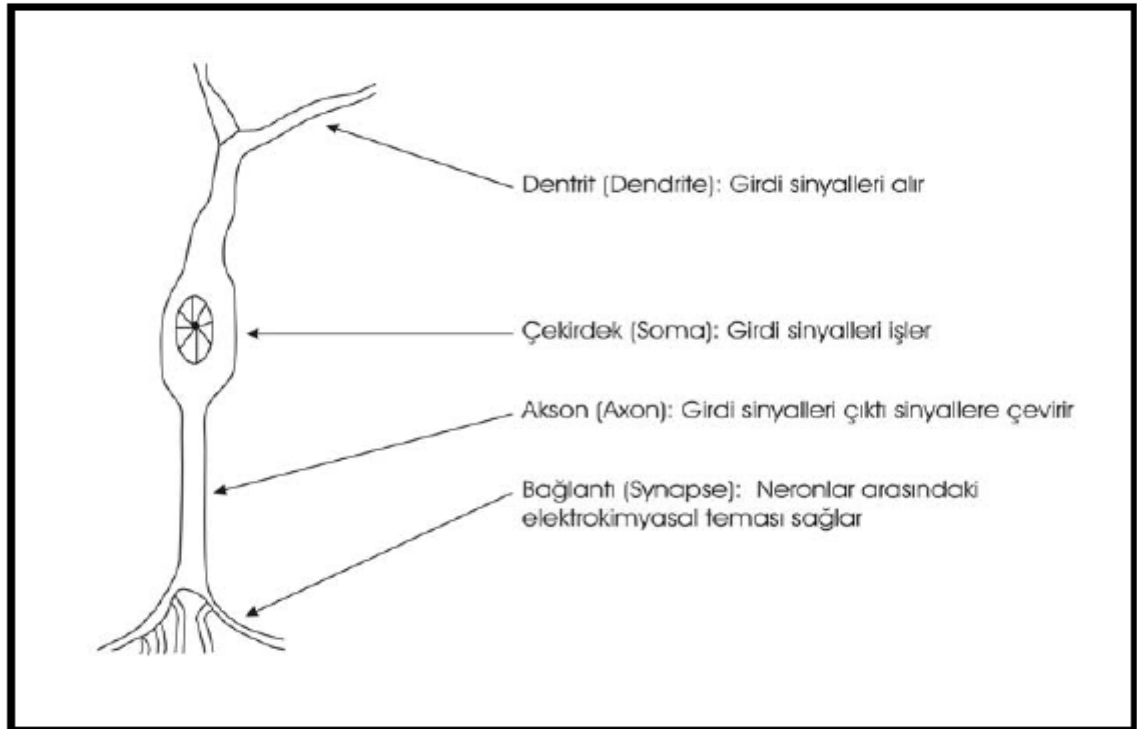
YSA'lar yoğun bağlantılı ve komplike işlem yapıları nedeniyle çalışabilecekleri özel ortamlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden, YSA'lar, bu amaca yönelik olarak hazırlanmış özel yazılımlar ile bilgisayarlarda çalıştırılmaktadırlar. Günümüzde ise, gittikçe artan oranda yoğun ve karmaşık sinir ağlarını çalıştırabilmek ve daha hızlı işlem yapabilmek için özel donanımlar geliştirilmektedir [22].

4.3. YSA'nın Yapısı ve Elemanları

Önceden de belirtildiği gibi, yapay sinir ağları insan beyninden esinlenilmiş yapılardır. Bu yüzden, YSA'ların yapısını anlamak için insan beyninin yapısını ve çalışma şeklini anlamak önemlidir. Bununla birlikte, tahmin edilebileceği gibi insan beyni, karmaşık yapısı ile anlaşılması ve anlatılması zor bir konudur. Hatta beynin çalışma şekli hala tam olarak anlaşılammıştır. Yapay Sinir Ağları, beyinden esinlenildiklerinden dolayı benzer yapıya sahiptirler. Fakat, beynin yoğun bağlantılı ve komplike yapısının sadece beyine özel bir özellik olduğu belirtilmelidir. Başka hiçbir yerde veya dijital bilgisayarda bulunmayan bu yapıya yakınsamak günümüz teknolojisine bile çok uzaktır. Yapay sinir ağlarını oluşturmak için kullanılan yapay nöronlar, beyindekilere kıyasla oldukça ilkel sayılırlar.

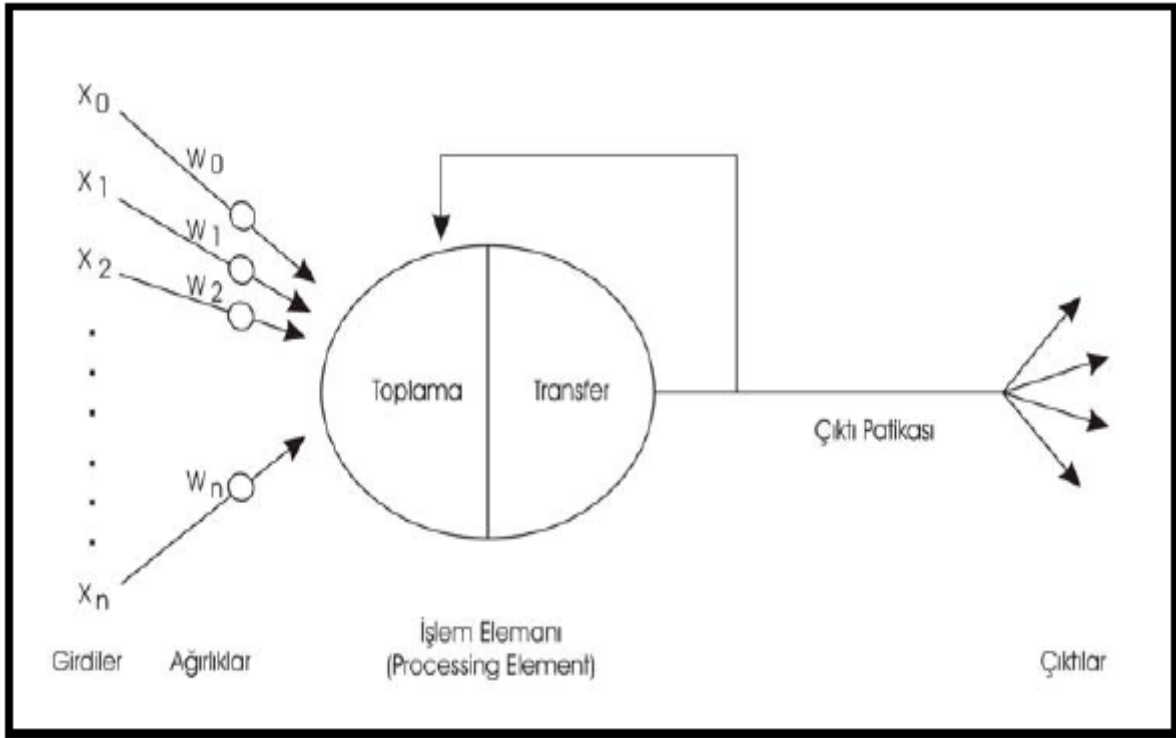
Dolayısıyla, yapay nöronlar beynin yoğun bağlantılı ve komplike yapısından hala oldukça uzaktırlar ama genel yapı olarak tutarlıdırlar. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, komplike, çok yönlü ve güçlü bir organizma olan beynin sadece en temel elemanlarını kopyalamaya çalışmaktadır. Yapay Nöron Yapay sinir ağlarının genel yapı olarak beyinden esinlenildiği daha önce belirtilmişti. Doğal olarak, YSA'ların temel elemanları da yapay nöronlardır (bundan sonra yapay nöron yerine sadece nöron kelimesi kullanılmaktadır). Bu nöronlar, aralarındaki bağlantılar oluşturularak ve tabakalar halinde gruplandırılarak yapay sinir ağları oluşturulmaktadır. İnsanın beyinsel gücünün bu yapı taşları birkaç genel işleve sahiptirler. Bir biyolojik nöron, temel olarak, diğer kaynaklardan girdiler alır, belirli bir şekilde bunları birleştirir, sonuç üzerinde bir işlem (genelde doğrusal olmayan) uygular ve nihai sonucu üretir. Şekil 4.2. bir nöronun dört temel elemandan oluşan genel yapısını ve bu dört eleman arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Şekilden de görüldüğü gibi, tüm doğal nöronlar dört temel bileşene sahiptir. Bu bileşenler biyolojik isimleri ile bilinirler: dentrit (dendrite), çekirdek (soma), akson (axon) ve bağlantı veya sinaps (synapse). Dentritler, çekirdeğin saça benzeyen uzantılarıdır ve girdi kanalları olarak işlev görürler. Bu girdi kanalları diğer nöronların sinapsları aracılığıyla girdilerini alırlar. Daha sonra çekirdek, gelen bu sinyalleri zaman içinde işler. Çekirdek, bu işlenmiş değeri bir çıktıya dönüştürdükten sonra bu çıktıyı akson ve sinapslar aracılığıyla diğer nöronlara gönderir [23].

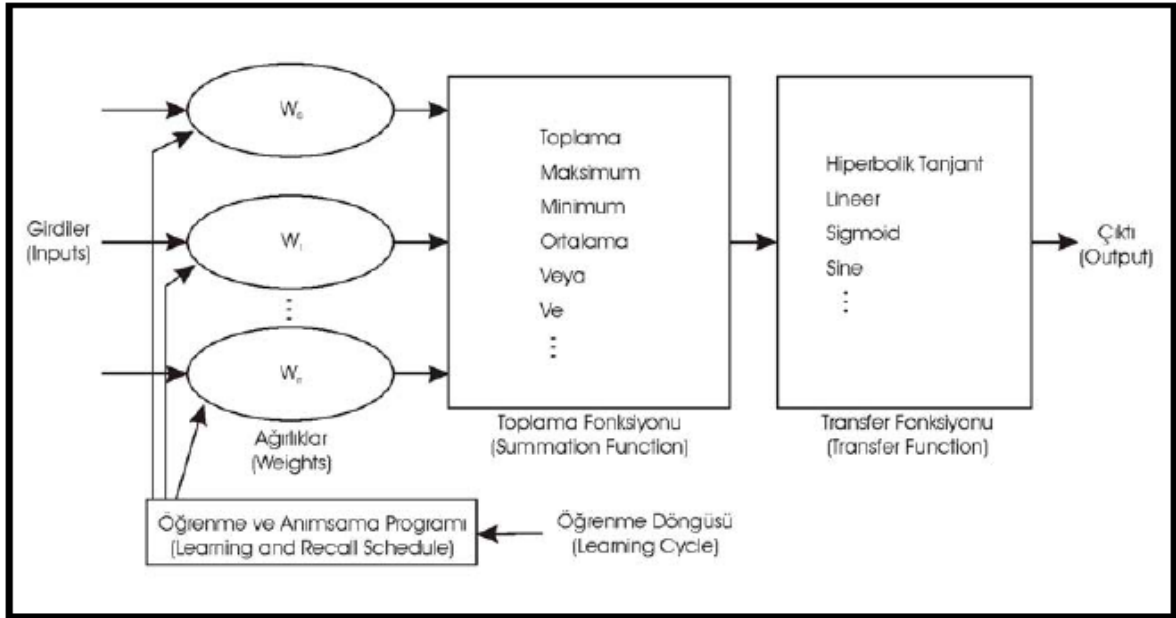


Şekil 4.2. Biyolojik Nöronun Genel Yapısı ve İşlevleri

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan yapay nöronlar, doğal nöronların dört temel fonksiyonunu simüle ederler. Bir yapay nöronun temel yapısı, genel haliyle, Şekil 4.3'te sunulmaktadır. Şekil 4.3'te girdi değerler $x(i)$ matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde $i = 0,1,2,\dots,n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri bir bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise $w(i)$ ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür. Bu elektronik uygulama değişik toplama fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanabilir ve farklı ağ yapılarında uygulanabilir.



Şekil 4.3. Yapay Nöronun Genel Yapısı



Şekil 4.4. Yapay Nöronun Detaylı Yapısı

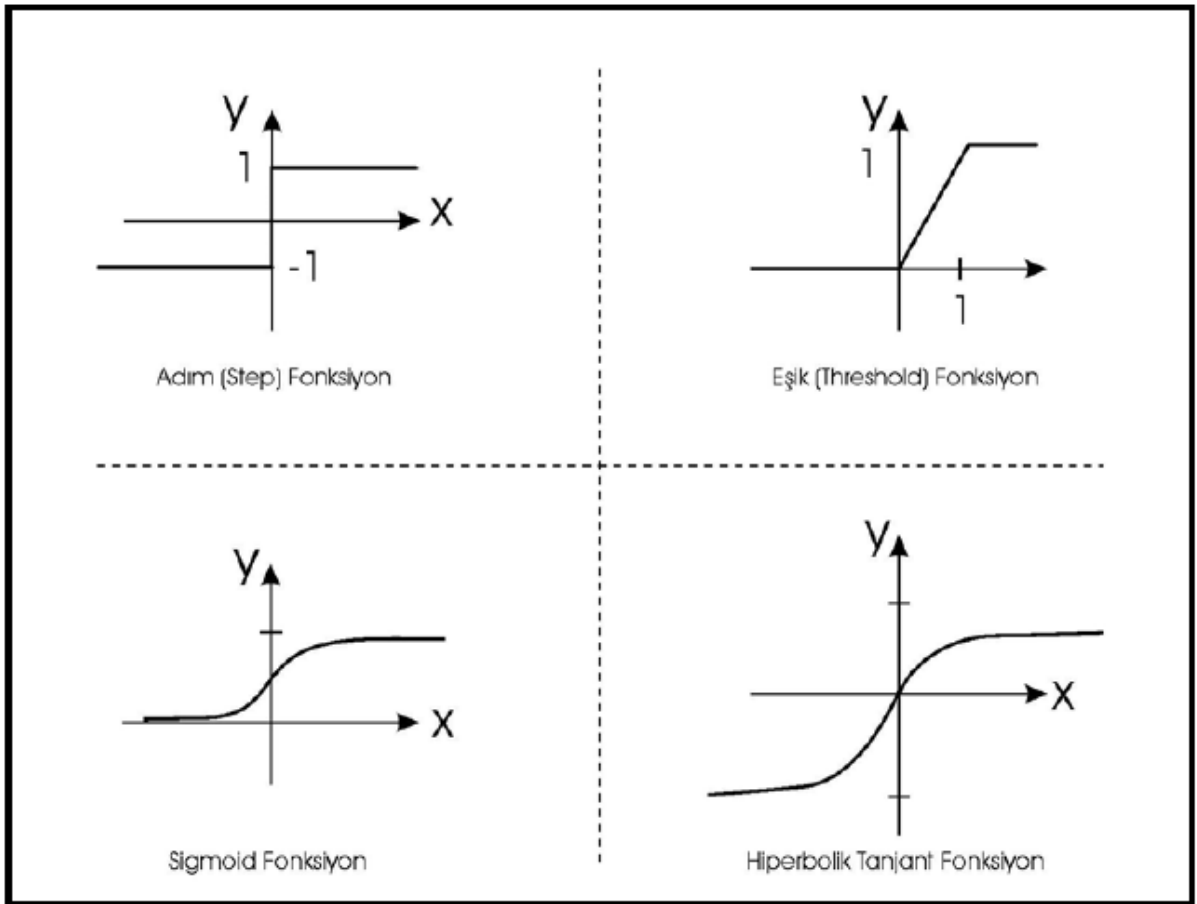
Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler toplama fonksiyonuna gönderilirler. Toplama fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi, genelde

toplama işlemi yapılmaktadır fakat birçok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlıdır.

Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve sonra bu değerler ileri doğru gönderilir. Ek olarak, uygulamacı kendi fonksiyonunu oluşturup toplama fonksiyonu olarak kullanabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna ilemeden önce, sonuçları üzerinde ilave işlemler yaparlar. Bu işlem aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan işlemdir. Bir aktivasyon fonksiyonu kullanmanın amacı toplama fonksiyonu çıktısının zamana bağlı olarak değişmesini sağlamaktır. Fakat aktivasyon fonksiyonu literatürü henüz tam olarak gelişmemiştir. Bundan dolayı, çoğu yapay sinir ağında birim aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Birim aktivasyon fonksiyonu ise bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmaması ile aynı anlama gelmektedir. Ayrıca, aktivasyon fonksiyonu, her işlem birimi için ayrı, ayrı kullanılan bir bileşenden ziyade ağın genel bir bileşenidir. Yani, oluşturulan bir ağ yapısında, tüm işlem elemanları aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanırlar.

Sonraki aşamada toplama fonksiyonunun çıktısı transfer fonksiyonuna gönderilir. Bu fonksiyon, aldığı değeri bir algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Transfer fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonlar genelde tercih edilmez çünkü doğrusal fonksiyonlarda çıktı, girdi ile orantılıdır. Bu durum, ilk YSA denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir. Genellikle kullanılan transfer fonksiyonları eşik, sigmoid, hiperbolik tanjant vb. fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar arasında en çok kullanılanlar Şekil 4.5.'te örneklendirilmiştir. Transfer fonksiyonunun sonucu genellikle işlem elemanının çıktısıdır. Transfer fonksiyonunun çalışma yapısı Şekil 4.6.'da sigmoid fonksiyon kullanılarak örneklendirilmiştir. Sigmoid transfer fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen ve şekilde 'Toplam' olarak gösterilen değeri alır ve sıfır ile bir arasında bir değere dönüştürür. Sıfır ile bir arasındaki bu değer transfer fonksiyonunun ve dolayısıyla işlem elemanının çıktısıdır ve dış ortama veya girdi olarak başka bir nörona iletilir.

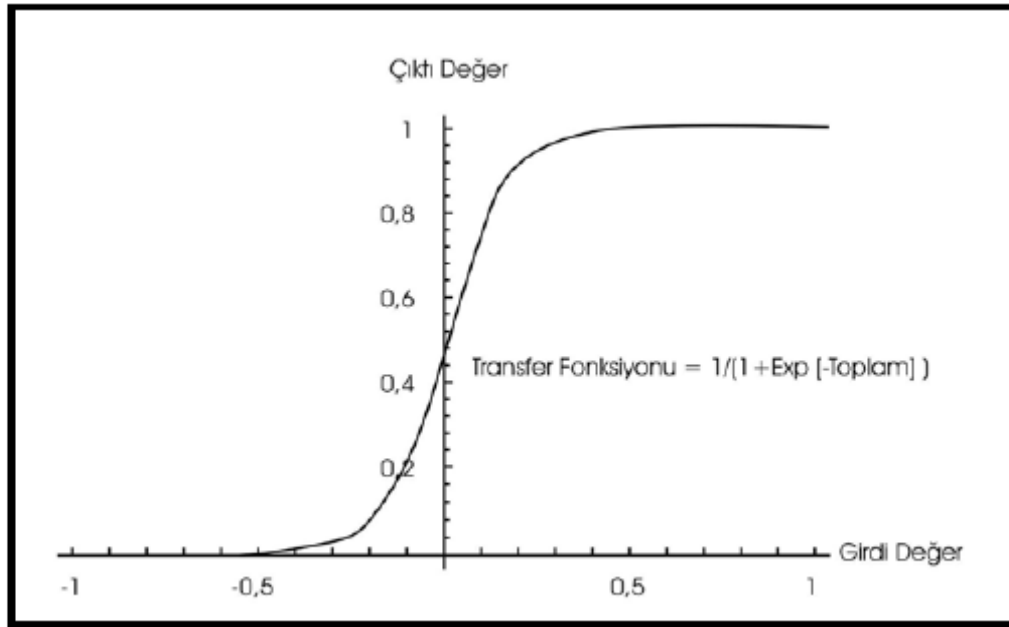
Transfer fonksiyonu işlemi öncesinde, sisteme tekdüze (uniform) dağılmış bir rassal hata eklenebilmektedir. Bu rassal hatanın kaynağı ve büyüklüğü, ağıın öğrenme işlemi sürecinde belirlenir. Sisteme böyle bir hata teriminin eklenmesinin sebebi, insan beyninin işlevinin, içinde bulunduğu ortamın şartlarından (örnek olarak sıcak/soğuk olmasından) etkileniyor olmasıdır. Bu yüzden, YSA literatüründe rassal hata ekleme işlemi “sıcaklık (temperature)” olarak da adlandırılmaktadır. Günümüzde, rassal hata kullanımı fiilen tam olarak yerleşmemiştir ve halen bir araştırma süreci içerisinde. Ayrıca, bazı ağlarda, transfer fonksiyonunun çıktısı üzerinde başka işlemler, ölçeklendirme ve sınırlandırma, yapılabilmektedir.



Şekil 4.5. En Çok Kullanılan Transfer Fonksiyonları

Transfer fonksiyonundan çıkan değer işlem elemanının da çıktısıdır. Fakat, bazı durumlarda işlem elemanının bu çıktıyı bir çıktı fonksiyonu ile bir dönüşüme uğratması gerekebilmektedir. Bu çıktı, ağıın yapısına göre, girdi olarak başka bir

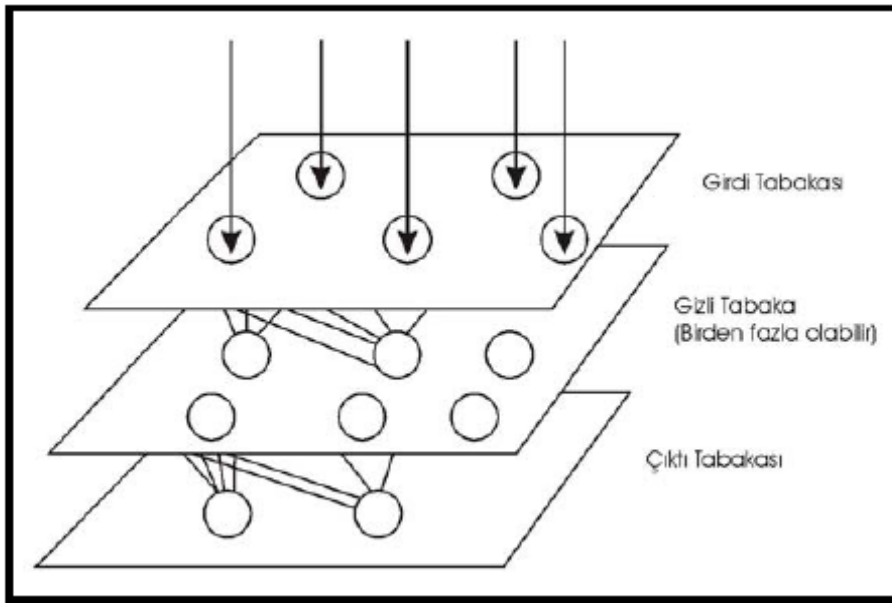
işlem elemanına veya bir dış bağlantıya gönderilir. Tüm YSA'lar, yukarıda temel elemanları anlatılan bu temel yapı taşlarından yani nöronlardan oluşturulurlar. Bu yapı taşlarının dizaynı, sinir ağı sanatının, başka bir deyişle mimarisinin oluşturulmasının ilk bölümüdür. Bu sanatın ikinci bölümü ise bu işlem elemanlarının kümelenendirilmesi ve birbirleri arasındaki bağlantıların oluşturulmasını içerir. Beyinde kümelenendirme, bilginin dinamik, etkileşimli ve kendiliğinden organize bir şekilde işlenmesini sağlayacak şekildedir. Biyolojik sinir ağları üç boyutlu uzayda mikroskobik elemanlarla oluşturulur. Bu nöronlar hemen, hemen sınırsız sayıda bağlantılar içerirler. Bu, yapay sinirler için mümkün değildir. Bugünkü teknoloji ile iki boyutlu ortamda ve belirli sayıda bağlantı içeren nöronlar oluşturulabilmektedir. Bu durum, YSA'ların yetenek ve çeşitlerini sınırlamaktadır.



Şekil 4.6. Transfer Fonksiyonunun Çalışma Yapısı

YSA'larda, yapay nöronlar basit bir şekilde kümelenendirilmektedirler. Bu kümelenendirme tabakalar halinde yapılmaktadır ve daha sonra bu tabakalar bir diğerine ilişkilendirilmektedir. Temel olarak, tüm YSA'lar benzer bir yapıya sahiptirler. Böyle bir genel yapı Şekil 4.7.'de gösterilmektedir. Bu yapıda, bazı nöronlar girdileri almak için bazı nöronlar ise çıktıları iletmek için dış mekan ile bağlantılı haldedirler. Geri kalan tüm nöronlar ise gizli tabakalardadırlar, yani sadece ağ içinde bağlantıları vardır [23].

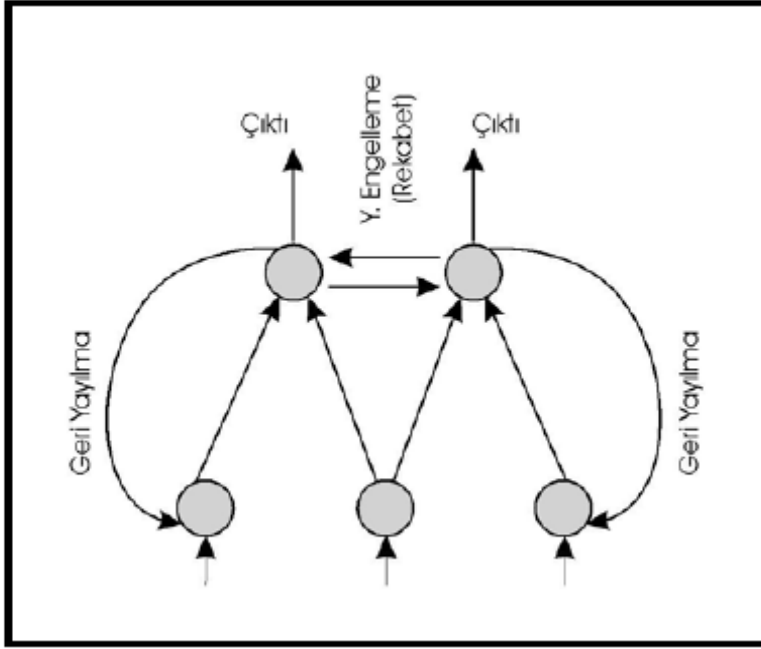
Önemli olan nokta, bir sinir ağının, bir nöronlar yumağından daha komplike olması gerektiğidir. YSA'ların ilk yıllarında, bazı araştırmacılar, nöronlar arasındaki bağlantıları rassal olarak oluşturmuşlar ve olumsuz sonuçlarla karşılaşmışlardır. Bir yapıyı dizayn etmenin en kolay yolu elemanları tabakalandırmaktır. Burada tabakalandırmanın üç bölümü vardır. Bunlar, nöronları tabakalar halinde gruplandırmak, tabakalar arasındaki bağlantıları gruplandırmak ve son olarak ise toplama ve transfer fonksiyonlarını gruplandırmaktır.



Şekil 4.7. YSA'ların Genel Yapısı

Tek tabaka ya da tek eleman içeren bazı başarılı ağlar oluşturulabilmesine rağmen çoğu uygulamalar en az üç tabaka (girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası) içeren ağlara ihtiyaç duymaktadır. Girdi tabakası, dışarıdan girdileri alan nöronları içerir. Ayrıca, önemli olan bir nokta, girdi tabakasındaki nöronların girdi değerler üzerinde bir işlem uygulamamasıdır. Sadece girdi değerleri bir sonraki tabakaya iletirler ve bu yüzden de bazı araştırmacılar tarafından ağların tabaka sayısına dahil edilmezler. Çıktı tabakası ise çıktıları dışarı ileten nöronları içeren tabakadır. Girdi ve çıktı tabakaları tek tabakadan oluşurken bu iki tabaka arasında birden fazla gizli tabaka bulunabilir. Bu gizli tabakalar çok sayıda nöron içerirler ve bu nöronlar tamamen ağ içindeki diğer nöronlarla bağlantılıdır.

Çoğu ağ türünde, gizli tabakadaki bir nöron sadece bir önceki tabakanın tüm nöronlarından sinyal alır. Nöron işlemini yaptıktan sonra ise çıktısını bir sonraki tabakanın tüm nöronlarına gönderir. Bu yapı ağın çıktısı için bir ileri besleme patikası oluşturur. Bu bir nörondan diğerine olan iletişim hattı, sinir ağları için önemli bir parçadır. Bazı ağlarda, bir nöron aynı tabakadaki başka nöronlara engel (inhibit) oluşturabilir. Bu, yanıl engelleme (lateral inhibition) veya rekabet (competition) olarak adlandırılır ve en çok çıktı tabakasında kullanılır. Diğer bir bağlantı şekli ise geri yayılma (feedback). Geri yayılma bağlantı, bir tabakanın çıktısının önceki tabakaya gönderilmesidir ve Şekil 4.8’de yanıl engelleme ve rekabet kavramlarıyla birlikte örneklenmektedir.



Şekil 4.8. Geri Yayılma Bağlantı Yapısı

Nöronların diğer nöronlara bağlanma şekli ağın çalışmasını önemli derecede etkilemektedir. Bugün, büyük ve profesyonel yazılımlarda kullanıcı bu bağlantılar üzerinde istediği gibi ekleme, kaldırma ve kontrol işlemi yapabilmektedir. Bu noktaya kadar sunulan bilgiler, YSA’ların matematiksel gösterimlerinin de daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilecektir [22].

4.4. Uygulamadaki YSA Modelleri

YSA'ların çok sayıda farklı çeşitleri vardır. Bu farklılıkların kaynağı mimarisi, öğrenme yöntemi, bağlantı yapısı vb. olabilmektedir. Genel olarak, YSA'lar üç ana kritere göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu kriterlerden biri öğrenme yöntemidir. Önceki bölümde belirtildiği gibi, temel olarak iki çeşit öğrenme algoritması vardır: yönlendirmeli öğrenme ve yönlendirmesiz öğrenme. Her yöntemin kullandığı öğrenme kuralı değişebilmekteyse de, YSA'lar bu iki algoritmaya göre sınıflandırılırlar.

İkinci bir sınıflandırma, ağıın kullandığı veriye göre yapılmaktadır. Temel olarak, kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki tür veri vardır. Kalitatif verilerle çalışan ağlar, ister yönlendirmeli ister yönlendirmesiz öğrenme kullansın, sınıflandırma ağları olarak bilinirler. Kantitatif veriler kullanan yönlendirmeli eğitime ise regresyon olarak adlandırılmaktadır.

Son sınıflandırma kriteri ise ağıın yapısıdır. Bazı ağlar ileri besleme şeklinde yapılandırılırken, bazı ağlar ise geri besleme yapısı içermektedir. İleri besleme sinir ağlarında, işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmazlar ve bu ağlar girdi veriye genellikle hızlı bir şekilde karşılık üretirler. Geri beslemeli ağlarda (Recurrent Networks) ise bağlantılar döngü içerirler ve hatta her seferinde yeni veri kullanabilmektedirler. Bu ağlar, döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluştururlar. Bu yüzden, bu tür ağların eğitime süreci daha uzun olmaktadır. Ayrıca, hem ileri besleme hem de geri yayılma olarak tanımlanabilecek ağ yapıları da mevcuttur [22].

4.4.1. İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağları (İBGYSA)

Su kaynaklarında en çok kullanılan yapay sinir ağları metodudur. Bu yapay sinir ağında girdi, ara ve çıktı birimleri olmak üzere üç farklı birim bulunmaktadır. Her birim birçok nörondan oluşmakta olup birimler arasında ağırlık kümeleri ile bağlanılmaktadırlar. Bağlanma şekli ve her kısımdaki nöron sayısı değişebilmektedir. Aynı kısımdaki nöronlar arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Geriye

dağılması hata yayılması iki etaptan oluşmaktadır. Çıktı birimindeki çıktı bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme etabı bulunur [23].

Bu eğitim sürecinin başında bağlantı kuvvetleri rasgele değerler olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması her iterasyonda eğitim başarı ile tamamlana kadar kuvveti değiştirmektedir. İterasyon süreci bir sonuca vardığında bağlantı kuvvetleri eğitim sürecinde kullanılan örneklerdeki mevcut bilgiyi elde eder ve saklar. Yeni bir girdi grubu sunulduğunda ileri doğru besleme ile yapay sinir ağının bağlantı kuvvetlerindeki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilir. Geri yayılma algoritması ara tabaka içeren YSA'larda kullanılan güçlü bir öğrenme algoritmasıdır. Geriye yayılma algoritmasında iki temel akış vardır. Bunlardan birincisi ağlar üzerinden ileriye doğru olan bilgi akışı, ikincisi ise geriye doğru olan hatanın yayılmasıdır. Geriye olan akışta ise gerçek çıkışlar ile hesaplanan çıkış değeri yardımıyla elde edilen hatanın geriye doğru yayılarak ağırlıkların değiştirilmesi sağlanır. Tüm öğrenme usullerinde olduğu gibi geriye yayılma algoritmasındaki amaç da giriş ve çıkış verileri arasındaki en uygun tasviri sağlayacak olan bağlantı ağırlıklarının elde edilmesidir [23].

Eğitme işleminin tamamlanması için iki seçenek mevcuttur. Bunlardan ilki belli miktardaki hata toleransını göze almak o hata değerinden daha düşük hata değerine ulaşmaya kadar eğitmeyi sürdürmektir. Dolayısı ile bu durumda eğitme sayısından ziyade hata miktarı önemlidir. Diğer seçenek sabit bir eğitim sayısının seçilmesidir. Burada eğitici belirlenen eğitme sayısı sonunda elde edilecek hatayı kabul etmektedir [23].

Geriye yayılma algoritmasının mahsurları da vardır. Bunlar arasında örneğin ağın eğitilebilme garantisi yoktur. Eğitimin gerçekleştirilebilmesi için ağın büyütülmesinin yeterli olabileceği düşünülebilir. Ağın büyük tutulması öğrenmeyi ne kadar zorlayabileceği hususunda garanti verememektedir. Ağın büyütülmesi daha fazla işlem yükü getireceğinden bu kez de sonlu bir zaman diliminde eğitilebilme ihtimali azalmaktadır [23].

4.4.2. Geri beslemeli yinelemeli yapay sinir ağı (GBYYSA)

Geri dönüşümlü ağlarda, ağın proses elemanlarının çıktıları yine ağa belirli bir şekilde geri gönderilerek girdi olarak kullanılmaktadır. Dinamik sistemlerin modellenmesinde geri dönüşümlerin olması özellikle zaman gecikmelerini dikkate almak için önemlidir [24].

Hidrolojik zaman serilerinin tahmininde temel alınan serilerin önceki değerlerine bağlı olarak hafıza parçası oluşturulur. Yenilemeli sinir ağına sunulan bu kolaylık başından sonuna kadar konulan sayılar geri besleme halkası ile sağlanır [6].

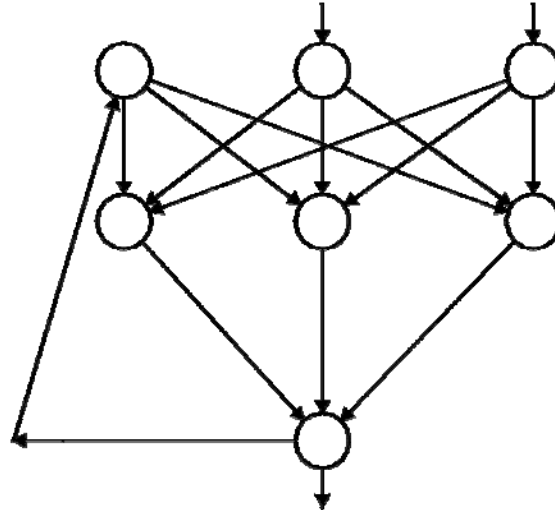
Genellikle yinelemeli sinir ağı gönderilen giriş diğer yönden tüm katmanlara ulaşır. Böylece çıkış ağıdaki yalnız girişlere bağlı değildir. Onları kavrar fakat yine ağ üzerindeki durum içinde önceki zaman adımlarına bağlıdır. Üç yöne ayrılır. Hafızanın çıkarabildiği sinir ağlarını içerir. Bunlar;

- 1) Bant geciktirmeli çizgi modeli: Bu ağda geçmiş zamandaki girişleri açıkça kullanışlı hale getirmek o zaman içindeki verilen noktaları cevaplar.
- 2) Çevre modeli veya bir kısma ait yenilemeli modeller: bu modeller geçmiş çıkış verilerini hatırlamalı merkez noktası yerinde işlenmemiş geçmiş giriş verileri hatırlanabilir.
- 3) Tam yenilemeli modeller: bu modeller tam geri beslemeli kullanım ve tüm noktalar arasında birbirine bağlanmasıdır.

Yenilemeli sinir ağlarının ileri beslemeli ağlara göre avantajı: Bu yenilemeli sinir ağının sahip olduğu en önemli özellik, yani, geçmiş olayların sonuçlarını hatırlayabilmesidir ve akım hesaplarında kullanılır. Ağ karmaşık ürünleri de hesaplamaya izin verir [6].

Yenilemeli sinir ağlarının eğitim metodu: bu metodun eğitimi ileri beslemeli ağlara benzer küçük bir ağ iki giriş nöronlu, bir ara tabaka katmanı üç nöronlu ve bir çıkış nöronlu Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Bu eklenen nöron girişi çıkış katmanına ve gizli tabakaya bağlanır. Şekil 2.9.'da gösterilmiştir. Bu nöronun eklenmesi yenilemeli sinir ağını oluşturur.

INPUT



OUTPUT

Şekil 4.9. Tipik yinelemeli sinir ağı

Başlangıçta küçük rasgele sayılar ağırlıklar atanır. Giriş verileri giriş birimlerine sunulur ve çıkışlar ağda hesaplanır, henüz bu durum ileri beslemeli ağıdır. Bu sürecin tekrarlanması tüm numunelere uygulanır. Sonra bulunan sistem hataları, ağ eğitilerek temel adımların etkisi metot üzerinde derecelendirilerek, metot sırasıyla kullanılır. Geri dönüşümlü YSA'ları zamanda gecikmeleri göz önünde tutulmaları dolayısı ile dinamik olayların modellenmesinde çok işe yarar.

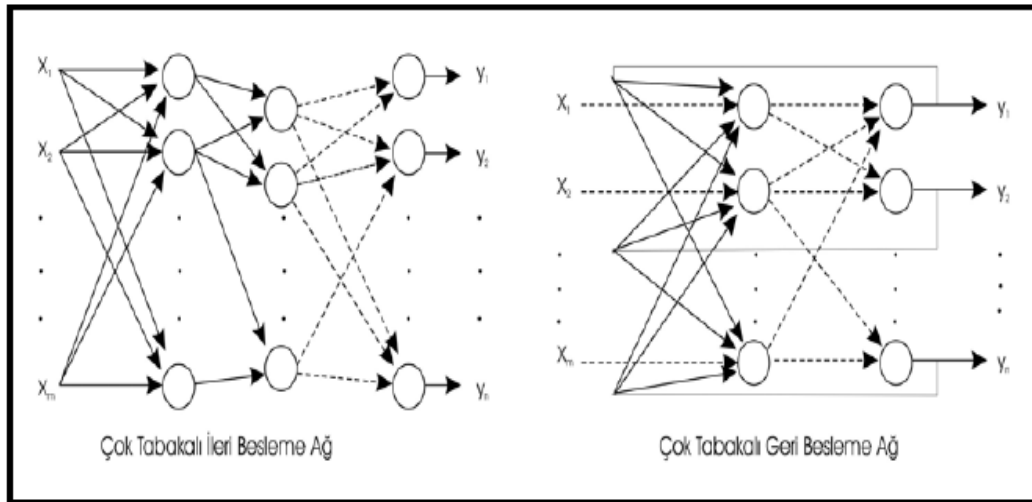
Bu özellikleri ile stokastik süreç modelleme tipleri olan markov, ARIMA (Auto regressive integrated moving average) ve benzeri modellerin yerlerini tutabilirler. Stokastik modellemelerde verilerden ve modellemelerden kaynaklanan bazı kabuller bulunmasına karşılık geri dönüşümlü YSA'larında hiçbir ön kabul bulunmamaktadır. Geri dönüş gecikmeli olduğundan adı geçen ilave tabakaya

bundan sonra gecikmeli girdi tabakası adı verilecektir. Geriye dönüşler bir zaman aralıklı olabileceği gibi 2 veya daha fazla zaman aralıklı da olabilir. Buna göre bu YSA ya 1- zaman gecikmeli, 2 zaman gecikmeli vb. isimler verilir [23].

Gecikmeli tabakada ara tabaka hücreleri kadar hücre vardır. Bunların sadece algılama özelliği bulunur. Ara tabakanın her hücresinin gecikmeli tabakada karşı gelen hücreye bağlantısı 1 ağırlıklı bağlayıcılarla olur. Bunun anlamı gecikmeli tabaka hücreleri ara tabaka hücrelerinde bilgileri olduğu gibi algılar. Ancak bu bağlantı katsayılarına 1'den küçük değerler vererek geri dönüşlerin zayıflatılarak yapılması da mümkündür [24].

Bu ağların olayları zamana bağlı ilişkilerini dikkate almaları, olayların bugünkü gidişatlarına göre gelecekte nasıl olacaklarının tahmin edilmesinde de etkin olarak geri beslemeli ağlar, özellikle elman ağı kullanılmaktadır [24].

Şekil 4.10'da, Kıyaslamaya imkan tanıyabilmek için, çok tabakalı ileri besleme ağ yapısı ile birlikte çok tabakalı geri besleme ağ yapısı örneklenmektedir.



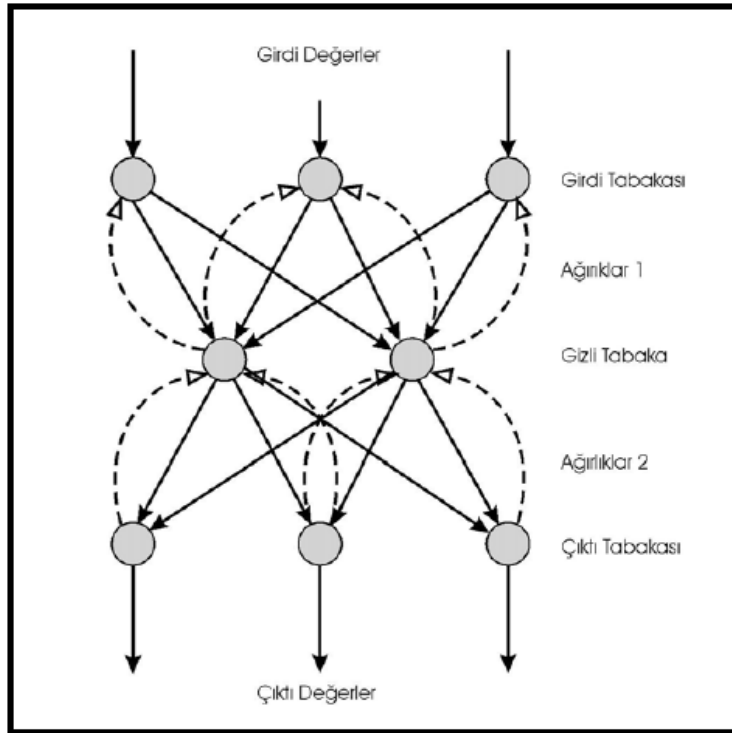
Şekil 4.10. İleri Beslemeli ve Geri Beslemeli Ağ Yapıları

Bu çok geniş YSA çeşitleri yelpazesinde en çok bilinen ve kullanılan ağlar arasında hata algoritması genellikle geri yayılma ile eğitilen çok tabakalı perceptron (Geri-Yayılma Ağ – Backpropagation Network), radyal tabanlı fonksiyon (radial basis

function), Hopfield ve Kohonen sayılabilir. Çok fazla çeşit ve yoğun bir literatür olması nedeniyle, burada tüm ağ çeşitleri hakkında bilgi verilmemektedir. Bunun yerine, sadece bu çalışmada kullanılan ağ çeşidi detaylı bir şekilde incelenmektedir. Bu çalışmada, bir Geri Yayılma Yapay Sinir Ağı (GYRSA) kullanılmaktadır.

Geri yayılma ağlar, çok tabakalı perceptron ile aynı yapıya sahiptirler ve öğrenme yöntemi olarak geri yayılma algoritması kullanırlar. Dolayısıyla, bu ağlar ileri besleme ağlar sınıfına girmektedirler. Ayrıca, çalışmada kullanılan ağ kantitatif verilerle çalışmaktadır ve yönlendirmeli öğrenme yöntemi kullanılmaktadır. Bu YSA türünün seçilmesinin temel sebebi öngörü (prediction) ve sınıflandırma işlemleri için oldukça uygun olmasıdır. Diğer bir önemli neden ise doğrusal olmayan yapılar için de oldukça kullanışlı olmasıdır [22].

İleri beslemeli Geri Yayılma mimarisi 1970'li yıllarda geliştirilmiştir. Bu mimarinin geliştirilmesinde birbirlerinden bağımsız olarak birkaç araştırmacının katkıları olmuştur. Çok sayıda farklı uygulama alanında kullanılmaktadır ve en büyük özelliği doğrusal olmayan yapı içeren problemlerde de etkili olabilmesidir. Tipik bir geri yayılma ağ mimarisinde bir girdi tabakası, bir çıktı tabakası ve bu iki tabaka arasında en az bir adet gizli tabaka bulunur. Gizli tabaka sayısı için her hangi bir kısıt yoktur fakat genellikle bir ya da iki gizli tabaka kullanılmaktadır. Bu ağ çeşidinin genel yapısı Şekil 4.11'de örneklenmektedir.

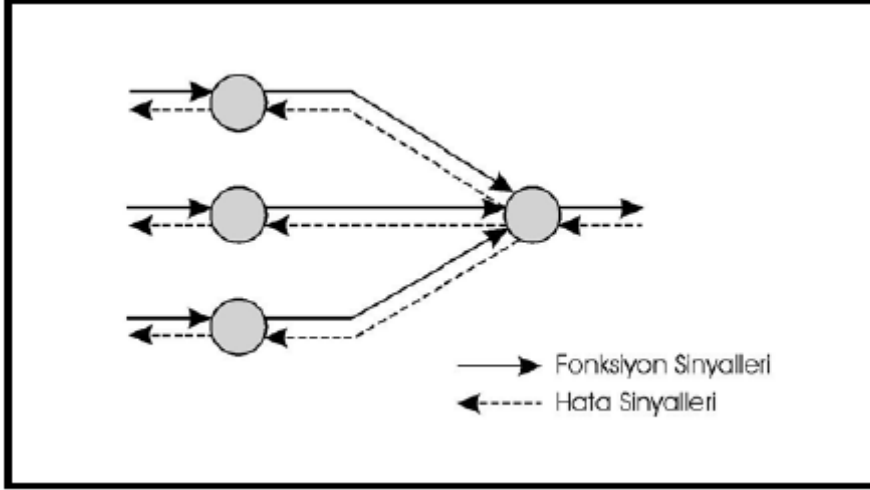


Şekil 4.11. İleri Beslemeli Geri Yayılma Ağların Genel Yapısı

Şekilde, bir girdi tabakası, bir gizli tabaka ve bir çıktı tabakası içeren bir geri yayılma ağ yapısı örneklenmektedir. Tabakalar halinde düzenlenmiş daireler işlem elemanlarını yani nöronları temsil etmektedir. Girdi tabakasında üç nöron bulunmaktadır, yani ağa girdi olarak üç değişken tanıtılmaktadır. Bunun dışında gizli tabakada iki nöron, çıktı tabakasında ise üç nöron bulunmaktadır. Dolayısıyla, ağdan üç değişken olarak çıktı alınmaktadır.

Girdi tabakasından, gizli tabakaya iletilen değerler “Ağırlıklar 1” ağırlık seti ile, gizli tabakadan çıktı tabakasına iletilen değerler ise “Ağırlıklar 2” ağırlık seti ile ağırlıklandırılmaktadır. Ağ yapısında, kalın oklar anımsama sırasındaki bilgi akışını simgelemektedir. Anımsama, eğitilmiş bir ağa yeni girdi verilerin sunulması ve çıktısının alınması işlemidir. Bu yüzden, anımsama işlemi sırasında geri yayılma işlemi kullanılmaz. Geri yayılma sadece eğitime sürecinde kullanılır, dolayısıyla eğitime sürecindeki bilgi akışı şekildeki tüm oklar ile gösterilmektedir. Sonuç olarak, bu ağ yapısının eğitime sürecinde iki çeşit sinyal tanımlanmaktadır. Şekil 4.12’de küçük bir ağ bölümü kullanılarak bu sinyallerin yönleri gösterilmektedir.

Şekilde, sol taraf girdi veri tarafını, sağ taraf çıktı tarafını ve yuvarlaklar ise nöronları göstermektedir.



Şekil 4.12. Eğitim Sürecindeki Sinyal Çeşitleri

Fonksiyon sinyali, ağa girdi tabakasından giren, ağ içinde ileri doğru yayılan ve çıktı tabakasından çıktı sinyali olarak çıkan bir girdi sinyalidir. Bu tür bir sinyalin fonksiyon sinyali olarak adlandırılmasının iki temel sebebi vardır. İlk olarak, ağın çıktısı için gerekli fonksiyonları uyguladığı kabul edilmektedir. İkinci sebep ise fonksiyon sinyalinin geçtiği her nöronda, sinyal girdilerin ve o nörona uygulanan ağırlıkların bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Fonksiyon sinyalleri, girdi sinyalleri olarak da adlandırılmaktadırlar. Hata sinyali ise, fonksiyon sinyalinin tersine, çıktı tabakasından başlar ve tabaka, tabaka geriye doğru yayılır. Hata sinyali olarak adlandırılmasının sebebi, tüm nöronlarda bir hata tabanlı fonksiyon ile hesaplanmasıdır.

Ağın genel yapısına dönersek, tabaka sayısı ve tabakaların içerdiği işlem elemanı sayısı ağın performansı açısından önemli ve zor kararlardır. Zor karar olmalarının sebebi ise herhangi bir uygulama için net bir seçim kriterinin olmamasıdır. Bunun yerine, uygulamalar sonucunda ortaya çıkmış ve araştırmacılar tarafından benimsenmiş bazı kurallar vardır. Bu kurallar şu şekilde özetlenebilir:

Kural 1: Girdi ve çıktı veriler arasındaki ilişkinin karmaşıklık derecesi arttıkça, tabakaların içerdiği işlem elemanı sayısı da artmalıdır.

Kural 2: Modellenen konu değişik safhalara ayrılabilirse, tabaka sayısının artırılması gerekebilir.

Kural 3: Eldeki eğitme verisinin genişliği, gizli tabakalardaki toplam nöron sayısı için bir üst limit kriteri oluşturur.

Geri yayılma ağlarda çok çeşitli öğrenme kuralı, hata fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanılabilir. Öğrenme kuralı olarak genellikle Delta Kuralı'nın bir varyantı kullanılmaktadır. Delta kuralı, ağın çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki farkın hesaplanması ile başlar. Bu hata kullanılarak bağlantı ağırlıkları belirli bir doğruluk derecesi faktörüne göre güncellenir. Bu öğrenme mekanizmasının komplike olan tarafı, hatalı çıktı üretilmesinde hangi işlem elemanının daha etkili olduğunun belirlenmesi ve hatanın düzeltilmesi için bu işlem elemanının nasıl değiştirileceğidir.

Bu noktada aktif olmayan bir nod hataya sebep olamaz ve dolayısıyla ağırlıklarını değiştirmeye gerek yoktur. Bu sorunun çözümü için, eğitme setine ait girdi veriler ağın girdi tabakasına sunulur ve istenilen çıktılarla karşılaştırma çıktı tabakasında gerçekleştirilir. Öğrenme işlemi süresince, ağ içinde ileri doğru bir bilgi akışı vardır ve tabaka, tabaka her işlem elemanının çıktısı hesaplanır. Çıktı tabakasına ulaşıldığında, bu tabakanın çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki fark hesaplanır ve bu hata önceki tabakalara iletilir (geri yayılma). Bu süreçteki önemli nokta ise, hata önceki tabakalara iletilirken, transfer fonksiyonunun türevi ile bir transformasyon işlemi uygulanmasıdır. Hatanın iletilmesi, tabaka, tabaka geriye doğru olur ve bu süreçte Delta Kuralı ile bağlantı ağırlıkları ayarlanır. İşlem, girdi tabakasına ulaşılan kadar devam eder ve bu noktada yeni bir döngüye başlar.

Son olarak, geri yayılma ağların bazı kısıtlamalara da sahip olduğu belirtilmelidir. Geri yayılma mekanizması oldukça geniş bir girdi-çıkı veri seti ile geniş çaplı bir yönlendirmeli eğitime ihtiyaç duyar. Ek olarak, içsel haritalama yapısı tam olarak

anlaşılamadığından sistemin istenilen doğruluk derecesine yakınsayamaması ihtimali de mevcuttur [22].

4.5. YSA' nın Klasik Yöntemlere Göre Üstünlükleri

Teknolojik gelişme olarak da görülmesi gereken yapay sinir ağları metodolojisi, özellikleri ve yapabildikleri sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır.

- Doğrusal Olmayan Yapı

YSA'ların en önemli özelliklerinden birisi gerçek hayattaki olası doğrusal olmayan yapıları da dikkate alabilmesidir. Bunların ön tanımlı yapıları dayanıksızken, YSA'lar herhangi bir sürekli fonksiyona veya türevlerine yakınsama yeteneğine sahiptir ve bu yüzden Evrensel Fonksiyon Yakınsayıcı Yöntem (Universal Function Approximators) olarak tanımlanmaktadır.” Doğrusal olmayan yapıları dikkate alabilme özelliği bu çalışmanın içeriği açısından da ayrıca önem taşımaktadır. Çünkü, yapıları gereği ekonomik verilerin de doğrusal olmayan bir yapıda olmaları normaldir fakat tahmin zorlukları nedeniyle analizler genellikle lineer yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Halbuki bu durum, muhtemel bir doğrusal olmayan yapı içerilmesi durumunda yanlış sonuçlara yol açabilmektedir; ya da en azından analizi yapılan sistemde açıklanamayan bileşenler kalabilmektedir. Sonuç olarak, analiz konusunun içerdiği veri setinin doğrusal veya doğrusal olmayan yapı içeriyor olması, analiz sonuçlarını etkileyecek önemli bir faktördür. Bu yüzden, doğrusal olmayan yapıları dikkate alabilmesi YSA'ların önemli bir özelliğidir.

- Öğrenme

YSA'ların diğer bir önemli avantajı en önemli özelliğinden kaynaklanmaktadır. Esin kaynağı insan beyninin çalışma sistemi olan bu yöntem, eğitime veya başlangıç tecrübesi sayesinde veriyi kullanarak öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde ise geleneksel teknikler için çok karmaşık kalan problemlere çözüm sağlayabilmektedirler. Ayrıca, insanların kolayca yapabildiği ama geleneksel metotların uygulanamadığı basit işlemler için de oldukça uygundur.

Yerel İşlem ve Esneklik YSA'lar, geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem elemanı her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA modelleri, her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşma ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli derecede esnek bir yapıya sahiptirler. Bu esnek yapı sayesinde ağırlık bir kısmının zarar görmesi modelde sadece performans düşüklüğü yaratır. Modelin işlevini tamamen yitirmesi söz konusu olmaz. Ayrıca, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısı sinirsel hesaplamaların temel güç kaynağıdır. Bu yerel işlem yapısı sayesinde, YSA yöntemi en karmaşık problemlere bile uygulanabilmekte ve tatminkâr çözümler sağlayabilmektedir.

- Gerçek Zamanlı İşlem

YSA hesaplamaları paralel olarak yürütülebildiğinden gerçek zamanlı işlem yapabilir.

- Genelleme

Yine öğrenme yeteneği sayesinde bilinen örnekleri kullanarak daha önce karşılaşılmamış durumlarda genelleme yapabilmektedir. Yani, hatalı (noisy) veya kayıp veriler için çözüm üretebilmektedir. YSA'lar, tanımlanmamış girdi veriler hakkında karar verirken genelleme yapabildikleri için iyi birer girdi tanımlayıcısı (pattern recognition engine) ve sağlam sınıflandırıcıdır (robust classifier).

- Hafıza

Bunlara ek olarak, işlem elemanları arasındaki ağırlıklı bağlantılar sayesinde dağıtılmış hafızada bilgi saklayabildikleri söylenebilir.

- Kendi İlişkisini Oluşturma

Yapay sinir ağları, bilgilere (verilere) göre kendi ilişkilerini oluştururlar, denklem içermezler.

- Sınırsız Sayıda Değişken ve Parametre

Diğer taraftan, YSA modelleri sınırsız sayıda değişken ve parametre ile çalışabilmektedir. Bu sayede mükemmel bir öngörü doğruluğu ile genel çözümler sağlanabilmektedir.

Karmaşık veya sorunlu veriden bile anlam çıkarabilmek gibi dikkate değer yetenekleriyle YSA'lar, insanlar veya bilgisayarlar tarafından anlaşılması zor trendleri belirlemek veya yapıları (pattern) çıkartmak için kullanılabilirler. Tam eğitilmiş bir Yapay Sinir Ağı modeli, analiz ettiği bilgi kümesi (veri tabanı) için uzman olarak düşünülebilir. Bu uzman, değişik durumlar ve '... olsa ne olur?' türünde simülasyon problemlerine projeksiyonlar sağlamak için kullanılabilir. Bununla birlikte, YSA'ların kullanımında göz önünde bulundurulması gereken bazı dezavantajlar da bulunmaktadır.

Bunlar arasında en önemlisi geniş veri seti gereksinimidir. Sinir ağlarının eğitilebilmesine ve test edilebilmesine yetecek genişlikte veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Yine de, yeterli veri seti genişliği için kesin bir kriter yoktur; bir noktada uygulamaya bağlıdır. Dezavantaj sayılabilecek diğer bir nokta ise basit olarak görülebilecek modelleme yapılarına rağmen uygulamanın zor ve karmaşık olabilmesidir. Bazı durumlarda, bir yakınsama sağlamak bile imkansız olabilmektedir fakat bu durum da uygulama alanına bağlıdır ve genellikle çok karmaşık problemlerde ortaya çıkmaktadır [22].

BÖLÜM 5. YAPAY SINIR AĞLARI İLE AKIM DEBİLERİNİN TAHMİNİ

5.1. Akımların Tahmini

Gelecekteki belli bir tarihte görülecek akımın (debi, seviye, akış hacmi) tahmini, taşkın uyarılarının yapılması, taşkın kontrolü maksatlı haznelerin işletilmesi, akarsuyun su potansiyelinin belirlenmesi, kurak dönemlerde hidroelektrik üretiminin, şehir suyu ve sulama suyunun dağıtımı ve akarsularda ulaşımın planlanması açısından önem taşır.

Bir akarsudaki akım havzaya düşen yağışa bağlı olmakla birlikte yağış olayının görülmesiyle akımın oluşması arasında belli bir gecikme vardır. Akım tahminlerini yaparken bu gecikmeden yararlanılır. Ancak tahmin edilmek istenen akım tahmini yapıldığı andan sonra meydana gelecek meteorolojik olaylarda bağlı ise bu olayların tahmin edilmesi gerekir.

Akımın tahmin edilmek istendiği süre uzadıkça tahminlerde beklenen hatalar büyür. Çok uzaktaki bir tarih için yapılacak tahminlerde ancak istatistik ortalamalar kullanılabilir. Yedi günden kısa bir süre sonrası için yapılan tahminlere kısa süreli tahmin, daha uzun süreler için yapılan tahminlere uzun süreli tahmin denilir.

Kısa süreli tahminler taşkın uyarıları ve su kaynakları sistemlerinin gerçek zamanda işletilmesi açısından önem taşır. Uzun süreli tahminler ise daha çok akarsuların sağlayabileceği su miktarlarının belirlenmesi ve kurak dönemlerde su kısıtlama planlarının uygulanması bakımından önemlidir. Kısa süre sonra görülecek akımın tahmini için yağış akış modelleri kullanılabilir.

Gerçek zamanda yapılan taşkın tahminlerinde akarsudaki seviye ve debinin, taşkın dalgasının ilerleme hızının ve sel altında kalacak olan alanın belirlenmesi istenir.

Şiddetli yağmurlardan oluşan taşkınların tahmini için regresyon analizi, geçmiş yağış indisi, akarsuyun yukarısındaki bir istasyonda ölçülen seviye ile ilişki, yağış-akış modelleri, akım öteleme modelleri kullanılabilir. Geçiş süresi çok küçük (6 saatten kısa) olan havzalara düşen çok şiddetli yağışların oluşturduğu ani taşkınların tahmininde büyük akarsudaki modeller kullanılmaz. Yağış, zemin nemi ve sıcaklık ile kurulan regresyon denklemleri, gerekli verilerin çok kısa zamanda toplanıp değerlendirilebilmesi halinde yararlı olur. Yağış-akış modelleri de aynı şekilde kullanılabilir. Daha basit olarak havzanın yukarısındaki bir istasyonda seviyenin belli bir değeri aşması ya da düşen yağışın belli bir değerin üzerine çıkması halinde taşkın alarmı verilebilir.

Kısa süreli akım tahminlerine dayanarak taşkın kontrol sistemlerinin gerçek zaman da işletilmesi için modeller kullanılabilir. Bu modellerle yapılan akım tahminleri taşkın kontrol haznesindeki kapakları işletme şeklini gerçek zaman da belirlerken kullanılır. Taşkın sırasında radyo ve uydularla alınan yağış ve akım verileri akım tahmin modeliyle havzanın büyüklüğüne göre birkaç saat-birkaç gün sonrası için akım tahminlerine çevrilir. Bu tahminlere dayanarak taşkın sırasında hanelerin işletmesi ile ilgili kararlar verilir.

Uzun süreli akım tahminlerinde yağış-akış modellerini kullanırken tahmin yapılan anda henüz gözlenmemiş olan yağışların da tahmin edilmesi gerekir. Bunlar yağış tahmin modelleriyle tahmin edilebileceği gibi geçmişteki benzer gözlemlerden veya gelecek için türetilen sentetik serilerden de alınabilir. Modelde yağış tahminleri için çeşitli seriler kullanılıp elde edilen akım tahminlerinin olasılık dağılımı belirlenebilir ve en iyi tahmin olarak dağılımın ortalaması ya da medyanı alınabilir. Burada yağışın alabileceği çeşitli değerlere göre model gelecekteki akım için farklı tahminler verir.

Zaman serisi modelleriyle akım tahmini yapılırken söz konusu akım için kurulan bir matematik modelden yararlanır. Modellerde tahminin yapıldığı ana kadar gözlenmiş akımlar yerine konur, henüz gözlenmemiş akımlar için tahmin edilen değerler alınır, kalıntı terimleri sıfır alınarak modelin denkleminde tahmin yapılır. Tahmin edilen değer için güven aralığı da belirlenebilir. Zaman serisi modelleriyle

1–4 aylık süreler için tahmin yapılabilir. Tahmin süresi uzadıkça zaman serisi modellerinin verdiği tahmin ortalamaya yaklaşır. Serisel bağımlılığın yüksek olması halinde tahminlerin hatası daha küçük olur. Bu modeller kar erimesinden oluşan akımlar için kullanılmamalıdır.

Kurak dönemlerle ilgili tahminlerde yağış, sıcaklık ve zemin nemi değişkenleriyle regresyon denklemleri kullanılabilir. Yeraltı akışının önemli olduğu durumlarda akifer koşullarını gösteren kaynak debileri gibi değişkenlerde göz önüne alınır [25].

5.2. YSA Yöntemi Kullanılarak Bilinen Akım Değerlerinden Gelecekteki Akımların Tahmini

Yapay sinir ağlarının lineer olamayan sistemlerin modellenmesindeki başarısı hidroloji ve hidrolik konulardaki uygulamalarını artırmıştır. Bu çalışmada ilk aşamada çoklu doğrusal regresyon analizi, ikinci aşamada yapay sinir ağlarını ileri beslemeli geriye yayılımı metodu kullanılarak akım değerlerinin tahmini yapılmaktadır.

Bu tezde, DSİ' nin 2000 Akım yılı kitabında yayınlamış olduğu 12 nolu Sakarya havzası üzerinde bulunan dört dereye ait Papaz Deresi, Çark Suyu regülatör çıkışı, Karakaya Deresi, Kurtköy Deresi günlük akım değerleri kullanılmaktadır. Bütün akım değerleri 0.1 ile 0.9 arasında ölçeklendirilerek 01.10.1999–30.09.2000 tarihleri arasındaki 1448 adet ötelenmiş günlük debi verisinin 968' i eğitim için geri kalan 480 adet veri ise test aşamasında kullanılmıştır.

Çalışma için kullanılan veriler bilgisayar ortamında Microsoft Excel 2003, NeuroSolutions 4.0 ve Matlab 7.1 programları kullanılarak gerekli hesaplamalar ve analizler yapılmıştır.

5.2.1. Papaz deresi istasyonu

YERİ: (29°59'0" D - 40°28'0" K) Adapazarı-Mekece İstikameti 70.Km' dedir.

YAĞIŞ ALANI: 101 Km² YAKLAŞIK KOT: 163 m.

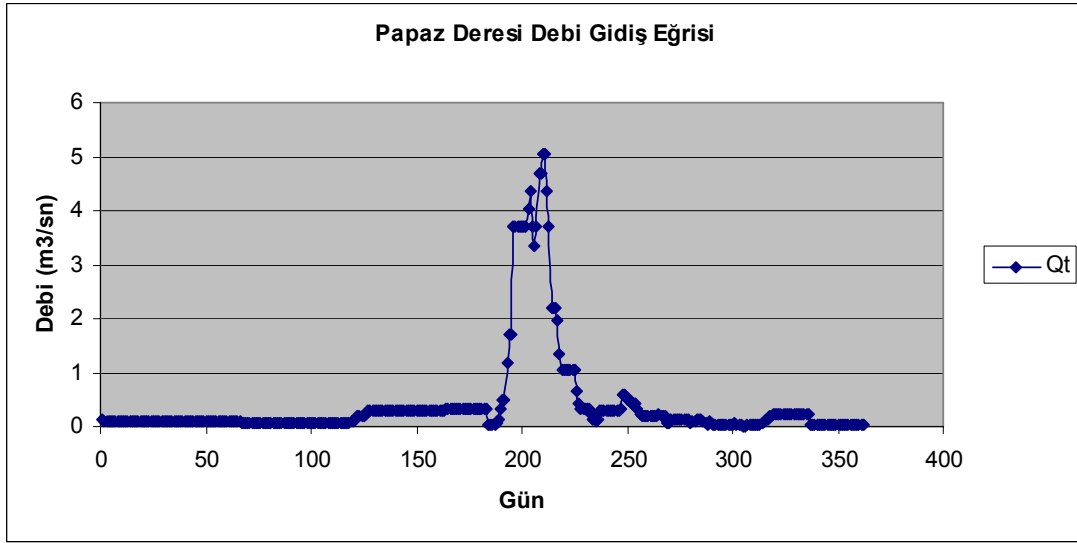
GÖZLEM SÜRESİ : 01/10/1982 - 30/09/2000

ORTALAMA AKIMLAR: Gözlem süresinde 0.665 m³/sn. (14 Yıllık)

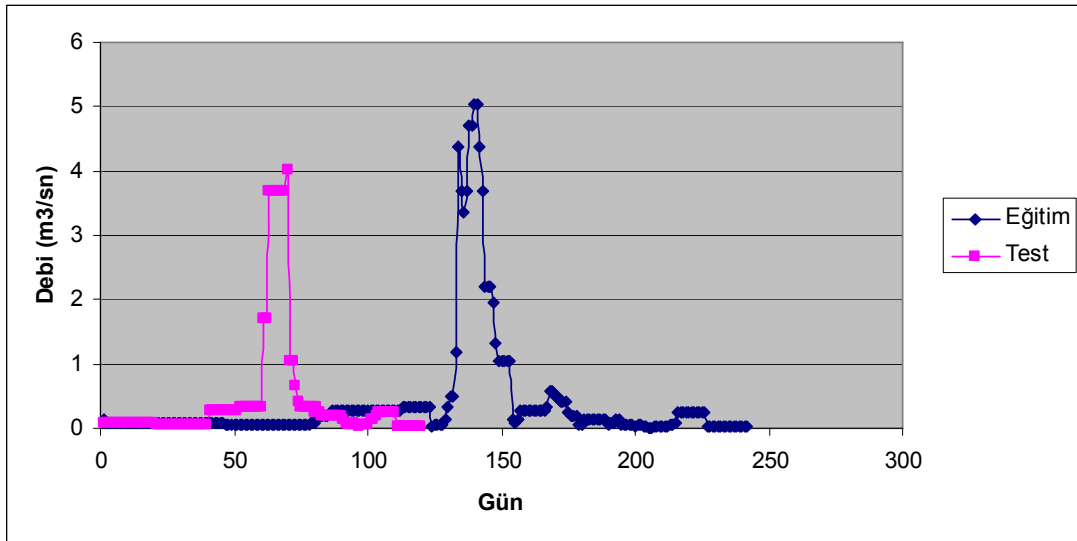
2000 Su yılında 0.399 m³/sn.

Tablo 5.1. 12167 Papaz Deresi Ahılar İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri

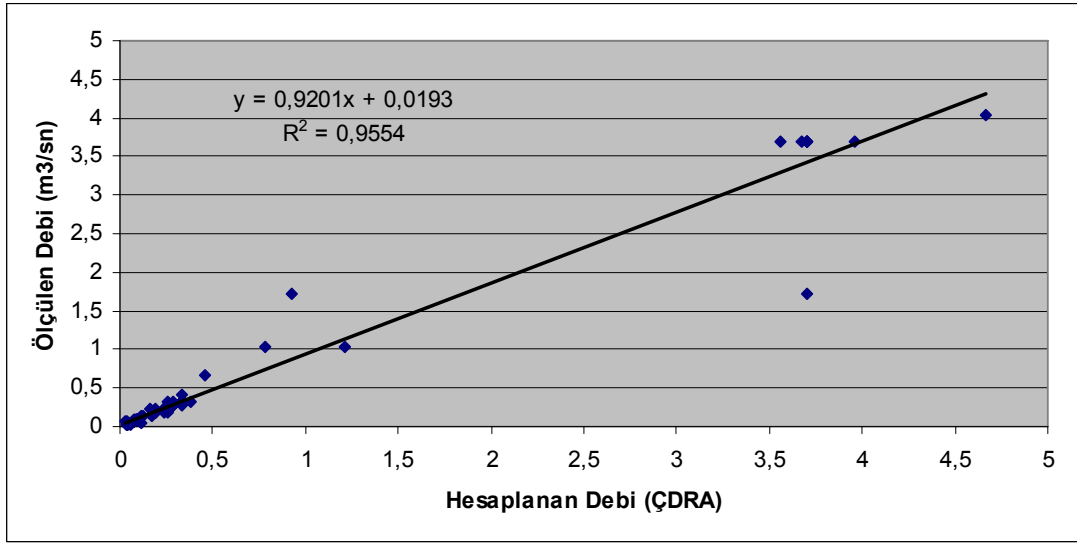
Gün	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	0,141	0,094	0,094	0,067	0,188	0,283	0,031	2,200	0,283	0,141	0,009	0,018
2	0,094	0,094	0,094	0,067	0,188	0,283	0,047	2,200	0,283	0,141	0,018	0,031
3	0,094	0,094	0,094	0,067	0,236	0,283	0,047	2,200	0,330	0,141	0,018	0,018
4	0,094	0,094	0,094	0,067	0,283	0,283	0,047	1,960	0,582	0,141	0,031	0,018
5	0,094	0,094	0,094	0,067	0,283	0,283	0,067	1,330	0,582	0,141	0,031	0,018
6	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,283	0,141	1,040	0,498	0,067	0,031	0,018
7	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,283	0,330	1,040	0,498	0,094	0,031	0,018
8	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,283	0,498	1,040	0,414	0,094	0,047	0,031
9	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,283	0,498	1,040	0,414	0,141	0,067	0,031
10	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,283	1,180	1,040	0,414	0,141	0,094	0,031
11	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,283	1,710	1,040	0,330	0,141	0,141	0,031
12	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	1,710	1,040	0,236	0,094	0,141	0,031
13	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,666	0,188	0,067	0,188	0,031
14	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,414	0,188	0,047	0,236	0,031
15	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,330	0,188	0,094	0,236	0,031
16	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,330	0,188	0,067	0,236	0,031
17	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,330	0,188	0,031	0,236	0,031
18	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,330	0,188	0,047	0,236	0,031
19	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,330	0,188	0,047	0,236	0,031
20	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	4,030	0,236	0,188	0,047	0,236	0,031
21	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	4,370	0,141	0,236	0,047	0,236	0,031
22	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,094	0,188	0,047	0,236	0,031
23	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,360	0,141	0,188	0,047	0,236	0,031
24	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	3,700	0,283	0,188	0,047	0,236	0,031
25	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	4,700	0,283	0,067	0,047	0,236	0,031
26	0,094	0,094	0,067	0,067	0,283	0,330	4,700	0,283	0,067	0,031	0,236	0,031
27	0,094	0,094	0,067	0,094	0,283	0,330	5,040	0,283	0,141	0,067	0,236	0,031
28	0,094	0,094	0,067	0,094	0,283	0,330	5,040	0,283	0,141	0,047	0,236	0,031
29	0,094	0,094	0,067	0,141	0,283	0,330	4,370	0,283	0,141	0,031	0,236	0,031
30	0,094	0,094	0,067	0,188	-----	0,330	3,700	0,283	0,141	0,018	0,236	0,031
31	0,094	-----	0,067	0,188	-----	0,330	-----	0,283	-----	0,009	0,236	-----



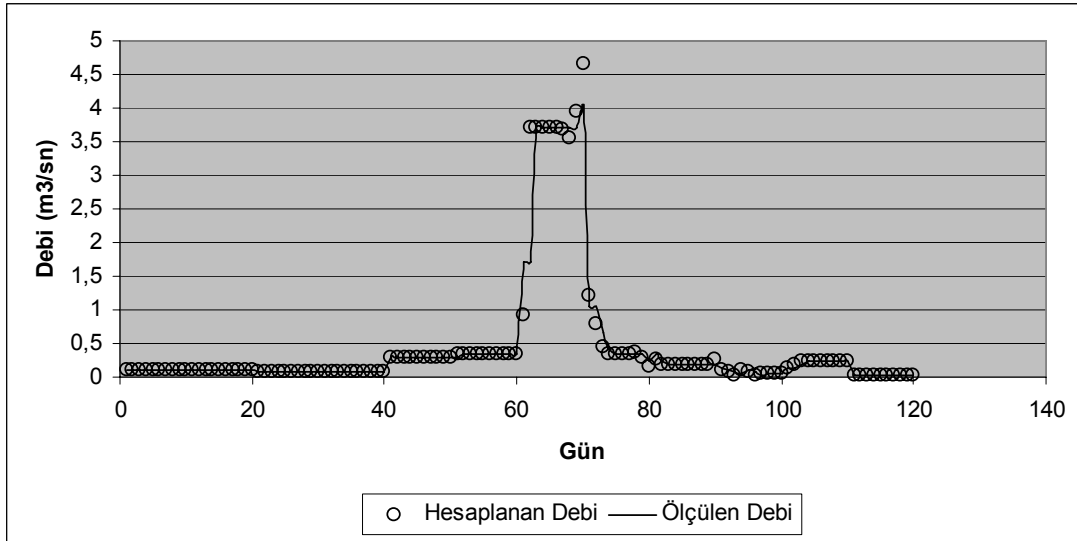
Şekil 5.1. Papaz deresi debi gidiş çizgisi



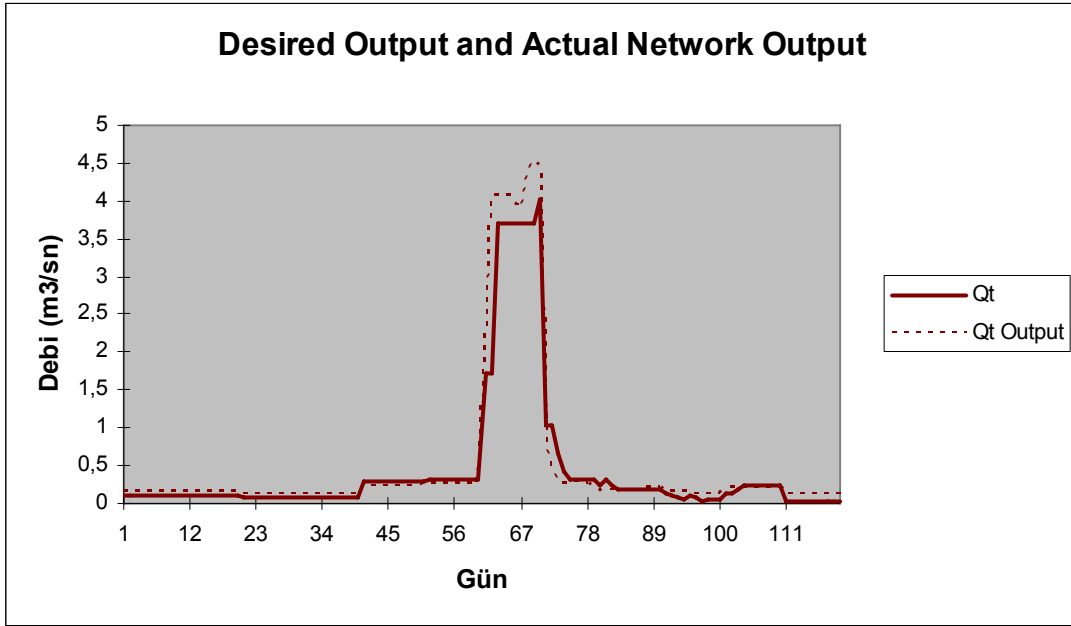
Şekil 5.2. Papaz deresi ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması



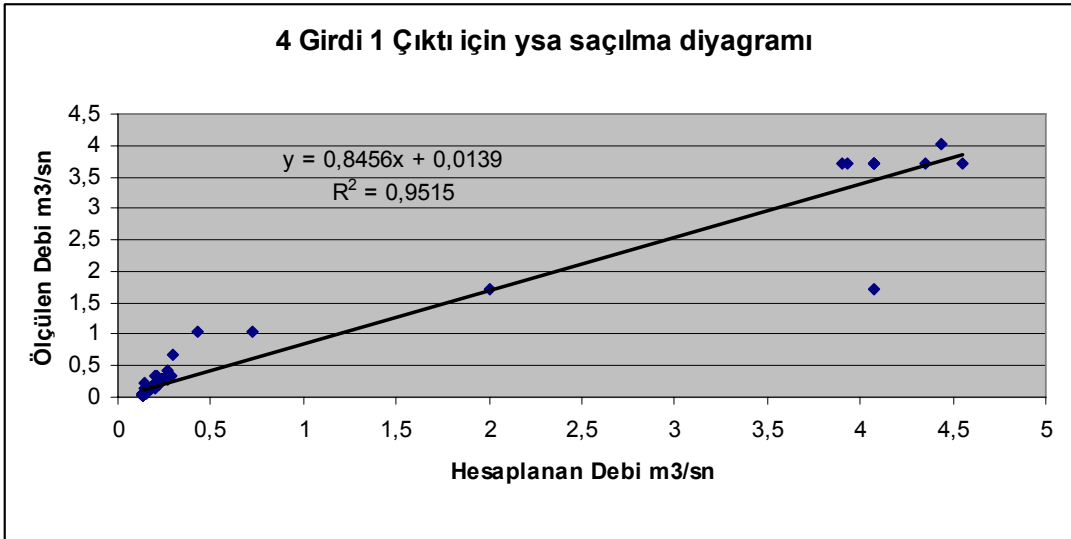
Şekil 5.3. Papaz deresi ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı



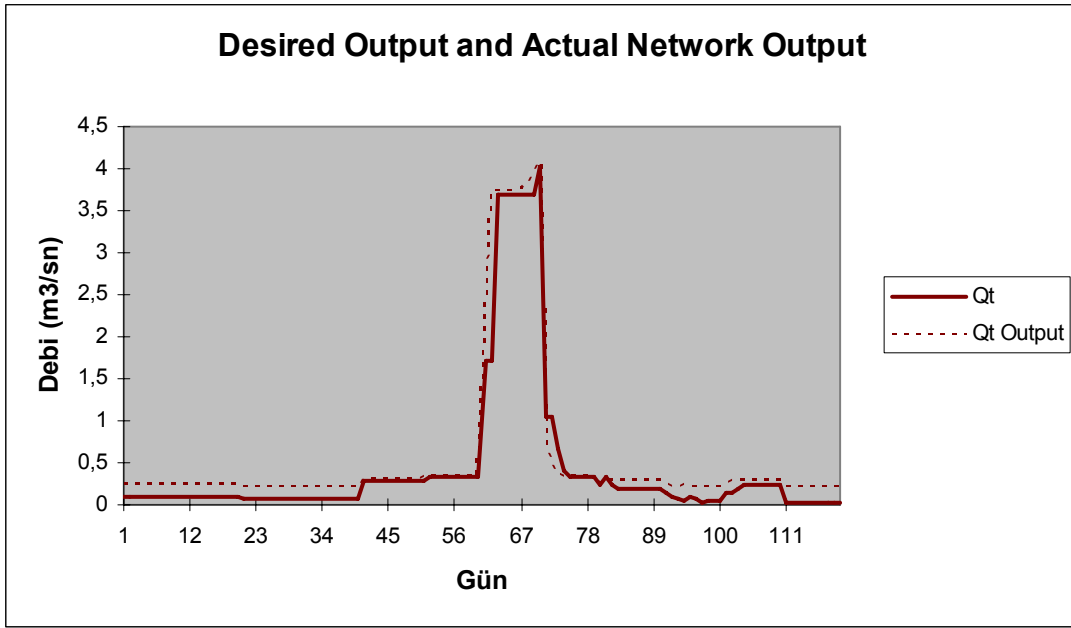
Şekil 5.4. Papaz deresi ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması



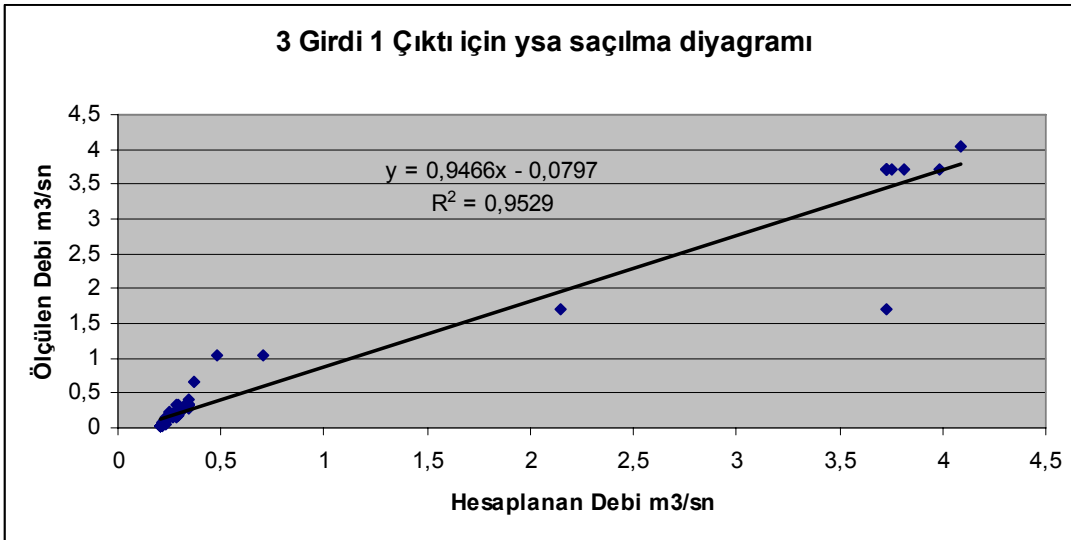
Şekil 5.5. 4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH = 0,071708535 – R= 0,975431342)



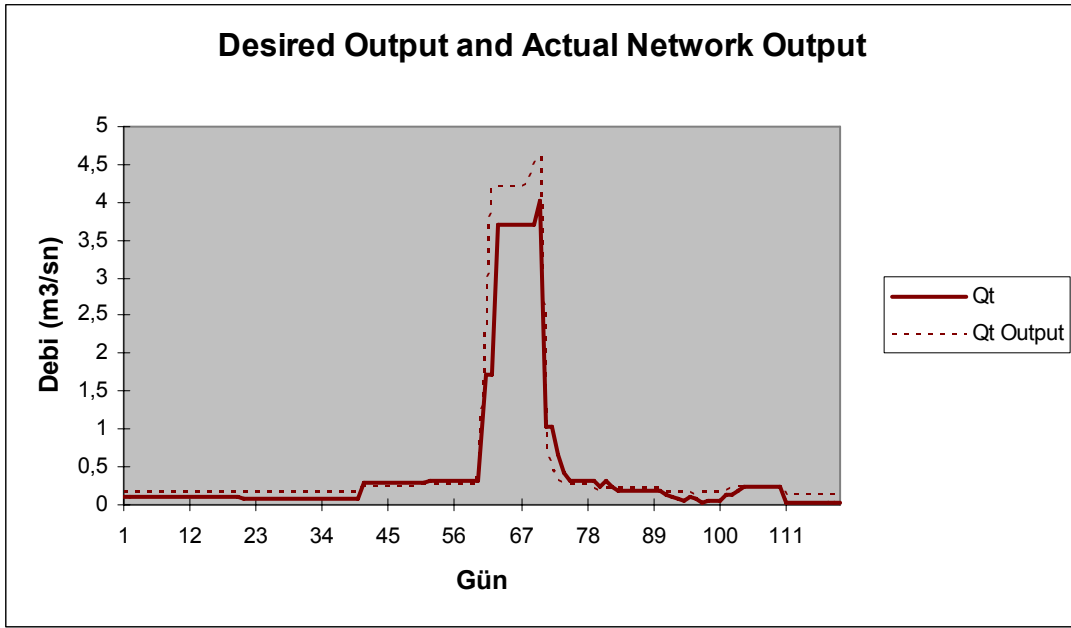
Şekil 5.6. 4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



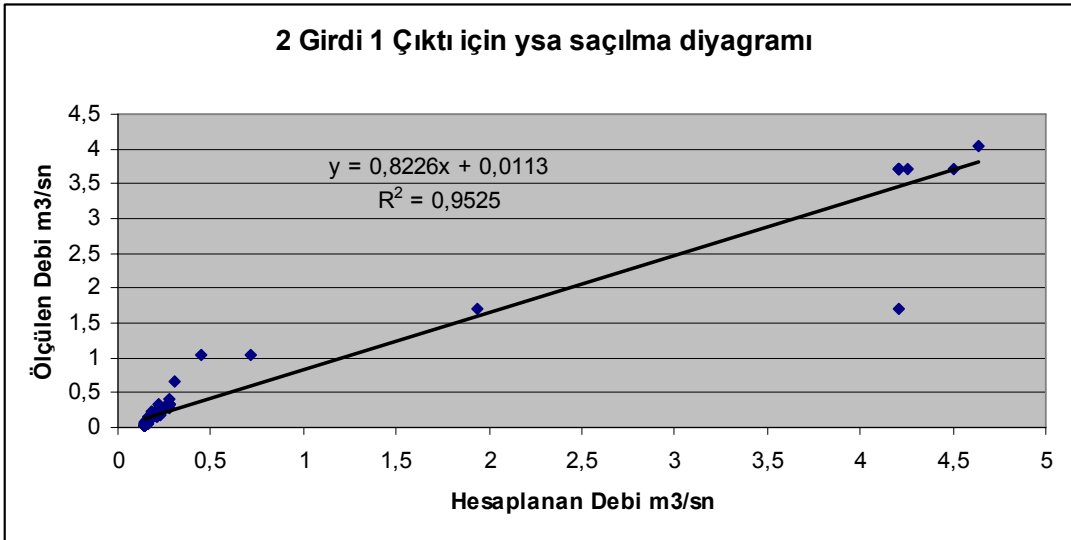
Şekil 5.7. 3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH = 0,054137284 – R= 0,976170853)



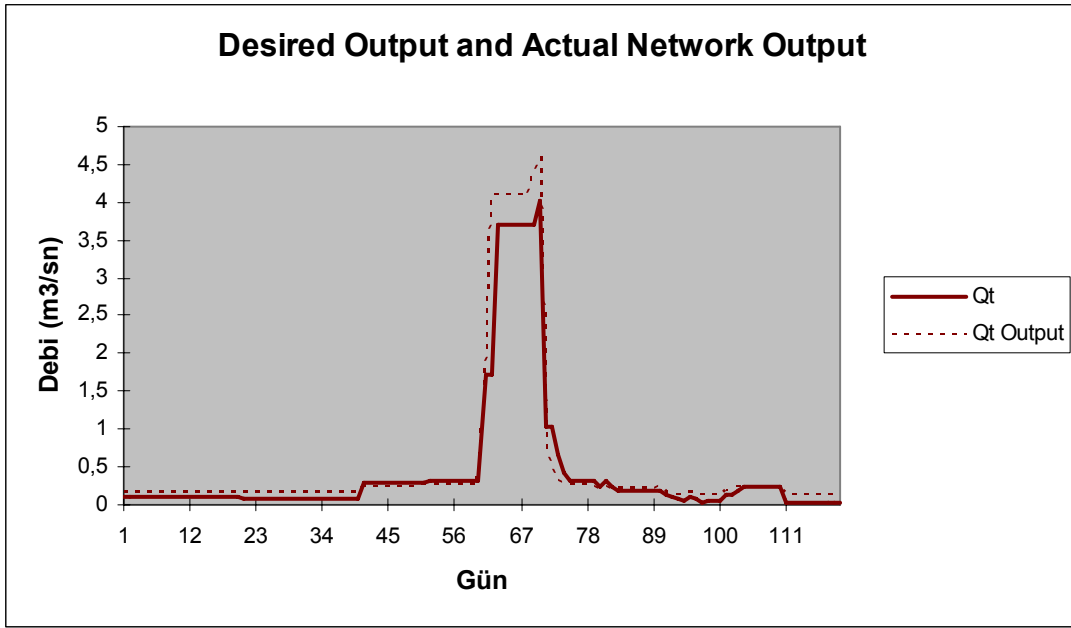
Şekil 5.8. 3 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



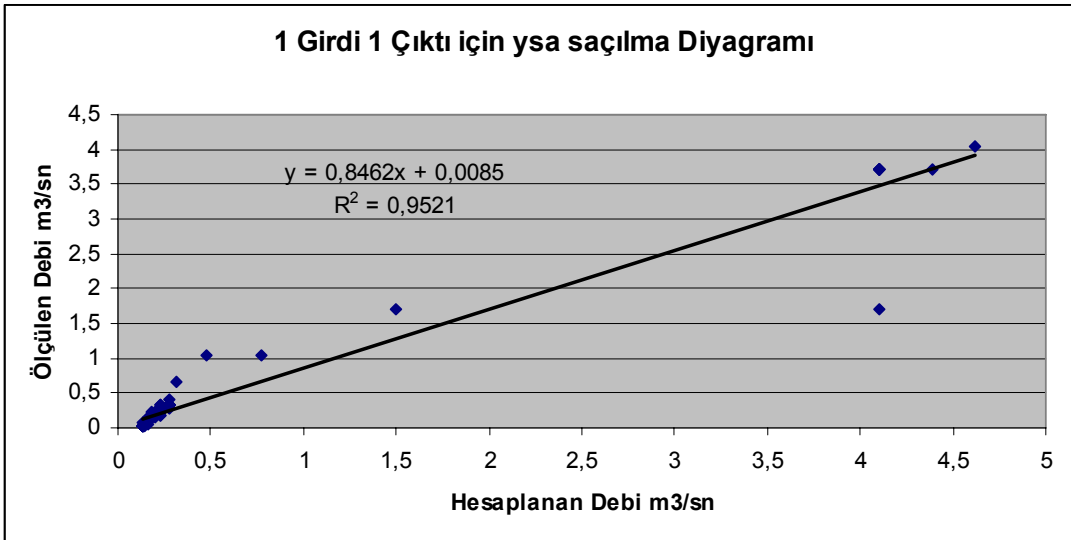
Şekil 5.9. 2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH = 0,084011566 – R= 0,975937428)



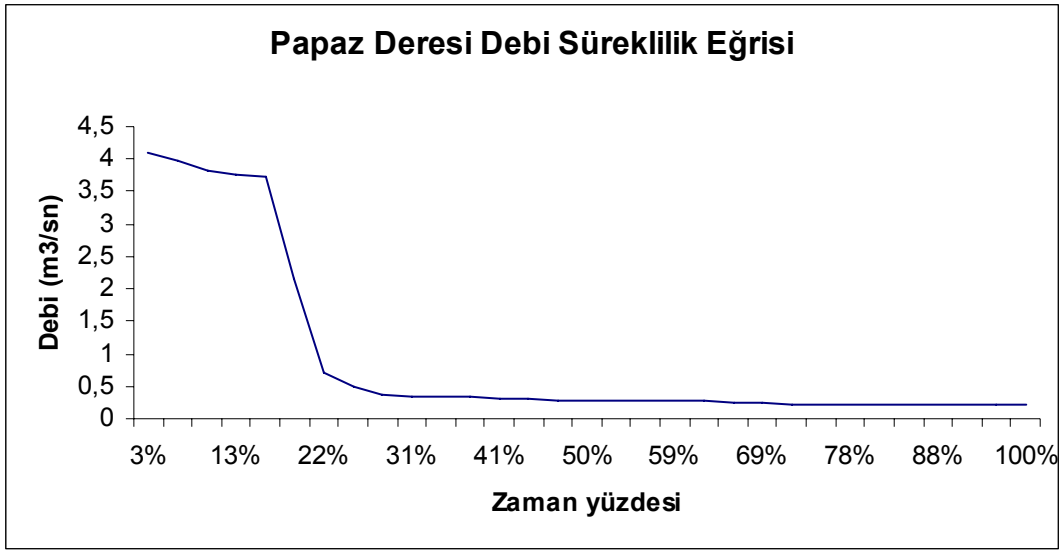
Şekil 5.10. 2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.11. 1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH = 0,071773993 – R= 0,975763155)



Şekil 5.12. 1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.13. Papaz deresi debi süreklilik eğrisi

5.2.2. Çarksuyu regülatör çıkışı istasyonu

YERİ: (30°21'0"D-40°43'0"K) Adapazarı Çarksuyu Reg Sapağına 11. Km Mesafededir.

YAĞIŞ ALANI: 252 Km² YAKLAŞIK KOT: 32 m.

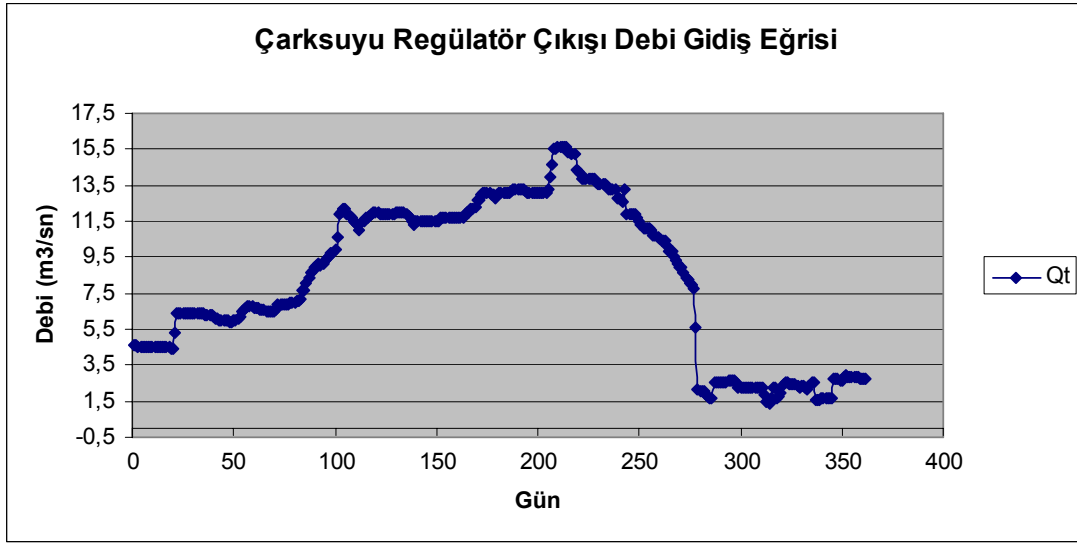
GÖZLEM SÜRESİ : 01/10/1985 - 30/09/2000

ORTALAMA AKIMLAR: Gözlem süresinde 4.560 m³/sn. (9 Yıllık)

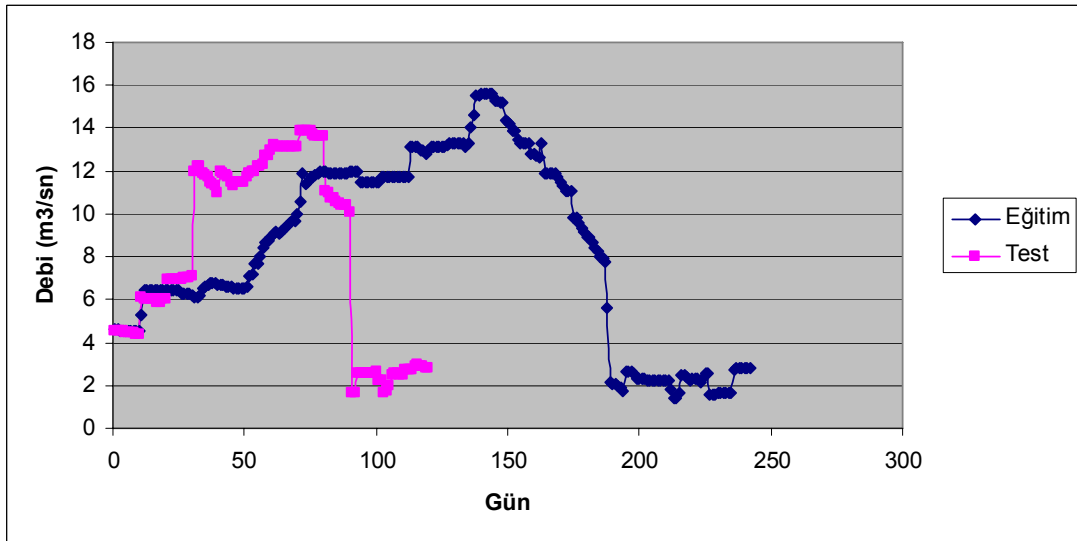
2000 Su yılında 8.270 m³/sn.

Tablo 5.2. 12186 Çark Suyu Regülatör Çıkışı İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri

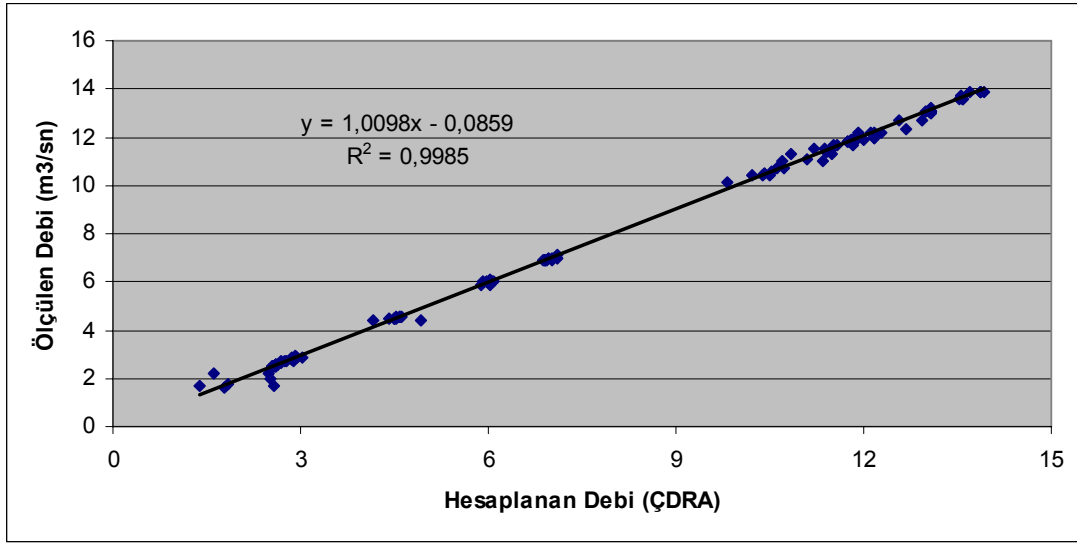
Gün	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	4,64	6,40	6,70	9,05	11,90	11,70	13,10	15,60	11,90	8,04	2,25	1,54
2	4,64	6,40	6,60	9,18	11,90	11,70	13,10	15,30	11,90	7,92	2,25	1,54
3	4,56	6,40	6,60	9,31	11,90	11,70	13,10	15,30	11,90	7,80	2,25	1,58
4	4,56	6,40	6,60	9,44	11,90	11,70	13,20	15,20	11,90	5,60	2,25	1,62
5	4,56	6,30	6,50	9,57	11,90	11,70	13,30	15,20	11,70	2,13	2,25	1,62
6	4,56	6,30	6,50	9,70	11,90	11,70	13,30	14,40	11,50	2,09	2,21	1,62
7	4,56	6,30	6,50	9,70	12,00	11,70	13,30	14,30	11,30	2,05	1,85	1,62
8	4,56	6,30	6,50	9,96	12,00	11,70	13,30	14,20	11,10	2,01	1,43	1,62
9	4,56	6,20	6,50	10,60	12,00	11,70	13,30	13,90	11,10	1,89	1,39	1,62
10	4,56	6,10	6,60	11,90	12,00	11,70	13,30	13,90	11,10	1,73	1,66	2,72
11	4,56	6,10	6,90	12,00	12,00	11,70	13,20	13,90	11,10	1,69	2,21	2,72
12	4,56	6,00	6,90	12,20	11,90	11,90	13,10	13,90	11,00	1,66	2,21	2,72
13	4,56	6,00	6,90	12,20	11,80	12,00	13,10	13,90	10,70	2,53	1,62	2,69
14	4,56	6,00	6,90	11,90	11,70	12,00	13,10	13,90	10,70	2,56	1,77	2,69
15	4,48	6,00	6,90	11,80	11,50	12,20	13,10	13,90	10,60	2,56	1,97	2,88
16	4,48	6,00	6,90	11,70	11,30	12,20	13,10	13,70	10,50	2,56	2,49	2,96
17	4,48	5,90	7,00	11,50	11,50	12,30	13,10	13,60	10,40	2,56	2,53	2,88
18	4,48	5,90	7,00	11,40	11,50	12,70	13,10	13,60	10,40	2,58	2,53	2,88
19	4,40	6,00	7,00	11,30	11,50	12,70	13,10	13,60	10,40	2,58	2,49	2,80
20	4,40	6,00	7,10	11,00	11,50	13,00	13,10	13,60	10,10	2,61	2,49	2,80
21	5,30	6,10	7,10	11,40	11,50	13,10	13,10	13,50	9,83	2,64	2,49	2,80
22	6,40	6,20	7,20	11,50	11,50	13,10	13,30	13,30	9,83	2,64	2,49	2,80
23	6,40	6,50	7,68	11,70	11,50	13,10	14,00	13,30	9,57	2,67	2,37	2,77
24	6,40	6,60	7,68	11,70	11,50	13,10	14,60	13,30	9,31	2,56	2,25	2,77
25	6,40	6,70	8,04	11,80	11,50	13,00	15,50	13,30	9,18	2,29	2,33	2,77
26	6,40	6,80	8,40	11,90	11,50	13,00	15,50	12,80	8,92	2,29	2,33	2,77
27	6,40	6,80	8,66	12,00	11,50	12,80	15,60	12,80	8,92	2,29	2,29	2,75
28	6,40	6,80	8,79	12,00	11,50	13,00	15,60	12,70	8,66	2,29	2,17	2,75
29	6,40	6,70	8,92	12,00	11,70	13,10	15,60	12,60	8,40	2,25	2,33	2,80
30	6,40	6,70	9,05	11,90	---	13,10	15,60	13,30	8,28	2,25	2,56	2,96
31	6,40	----	9,18	11,90	---	13,10	---	11,90	----	2,25	2,56	----



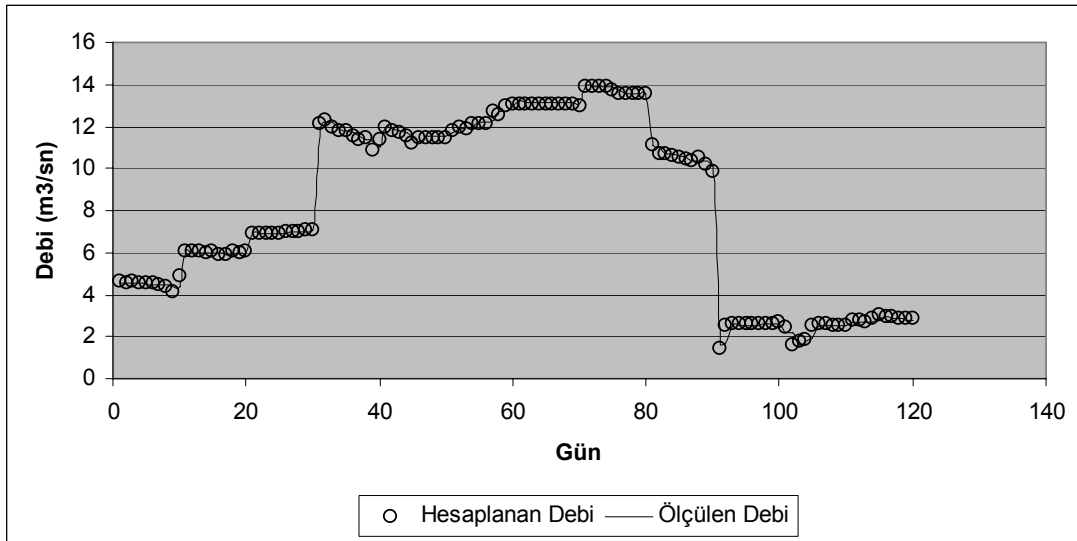
Şekil 5.14. Çarksuyu regülatör çıkışı debi gidiş çizgisi



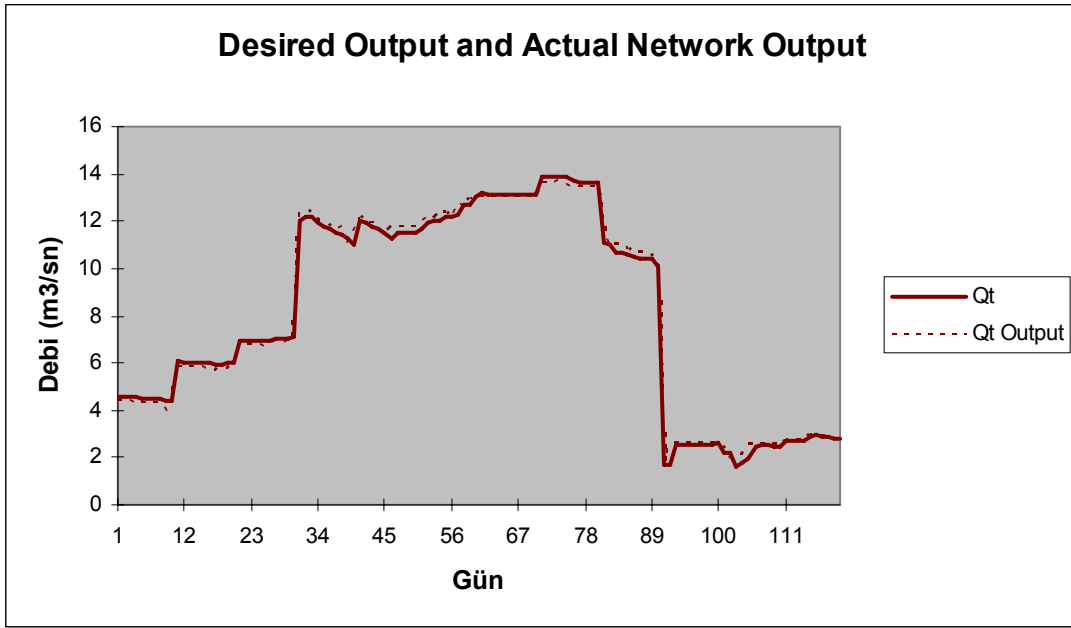
Şekil 5.15. Çarksuyu regülatör çıkışı ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması



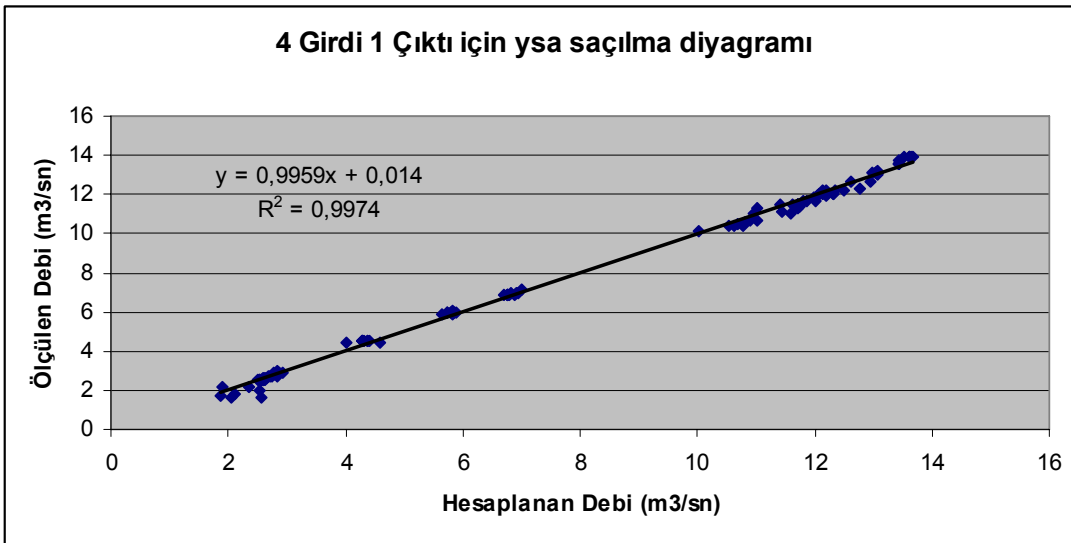
Şekil 5.16. Çarksuyu regülatör çıkışı ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı



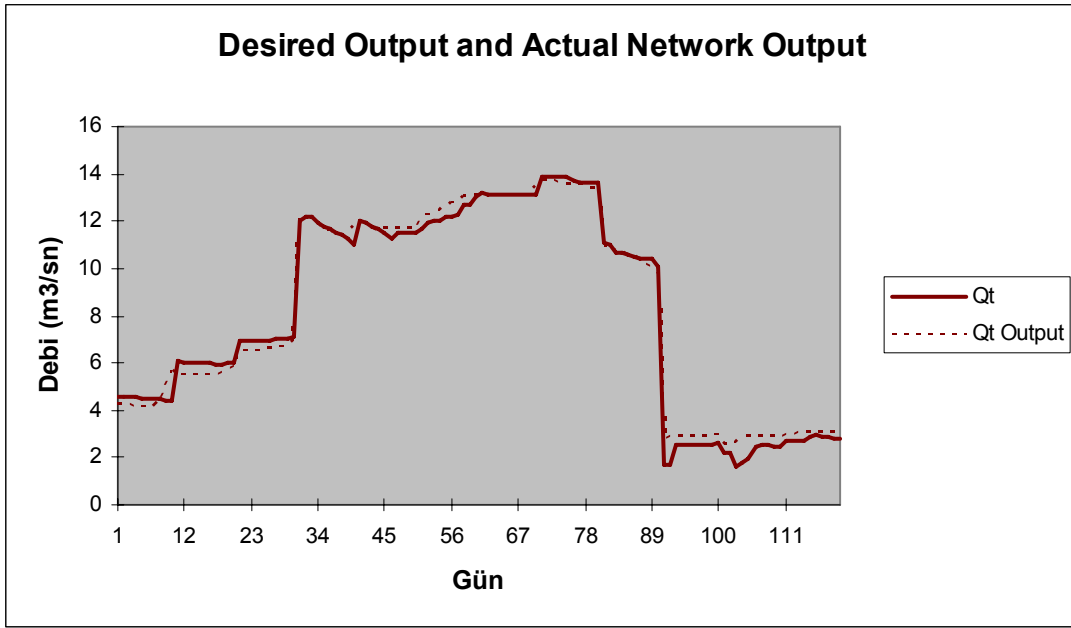
Şekil 5.17. Çarksuyu regülatör çıkışı ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması



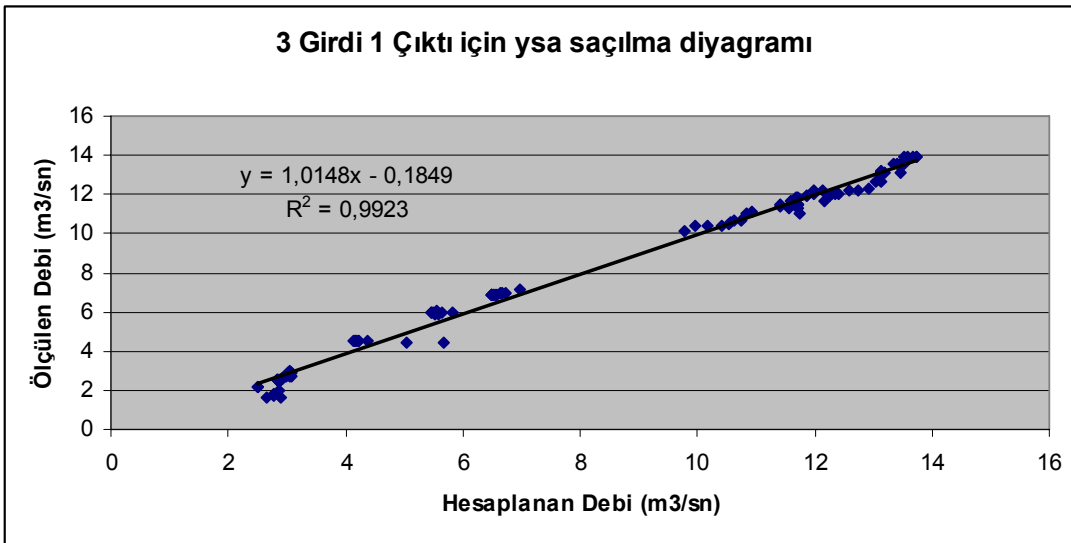
Şekil 5.18. 4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,04882934 – R= 0,998690287)



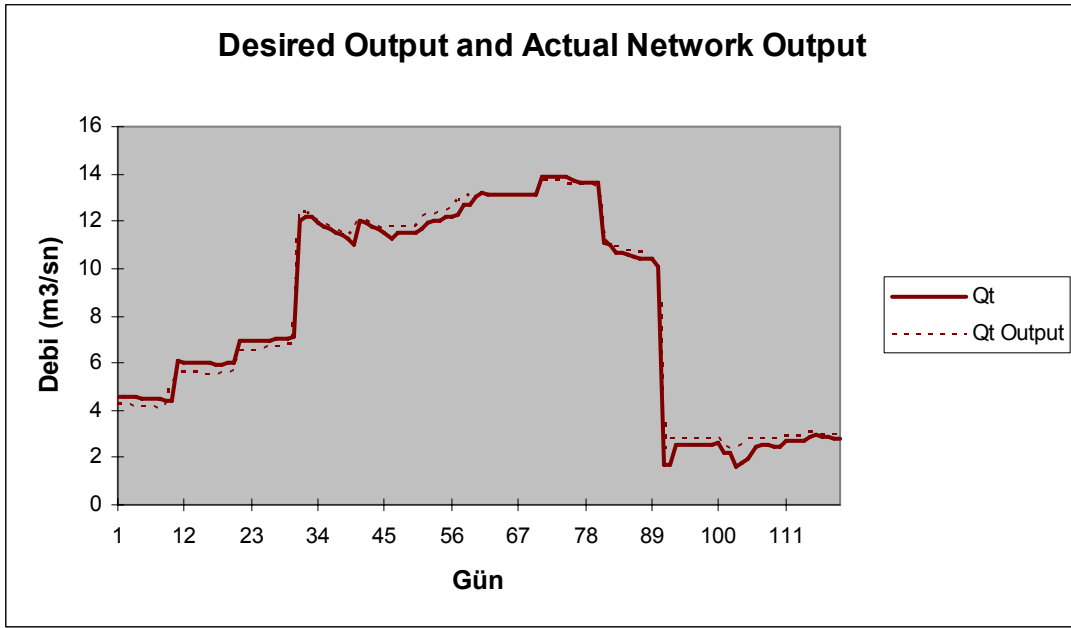
Şekil 5.19. 4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



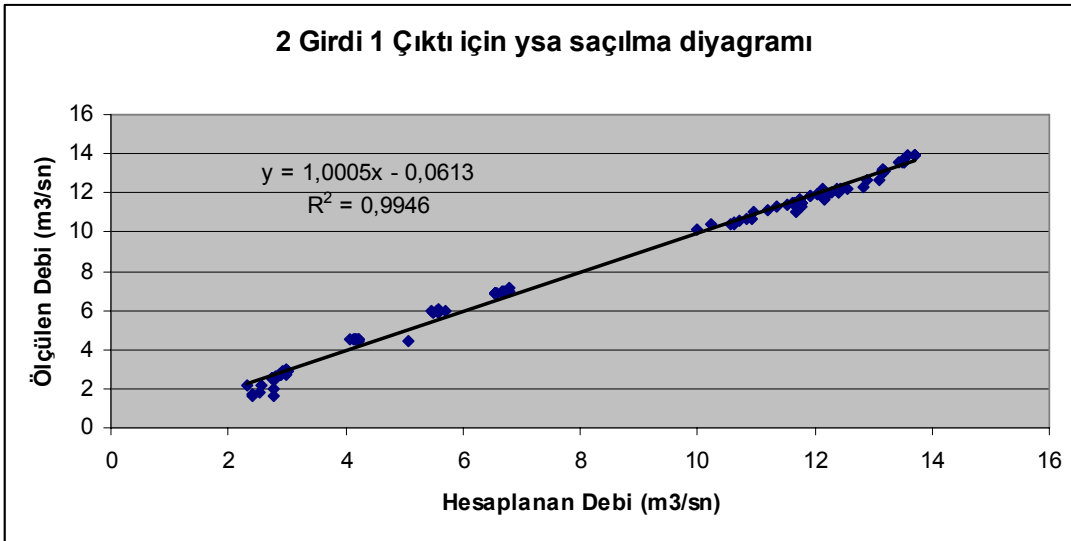
Şekil 5.20. 3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,149485763 – R= 0,996141437)



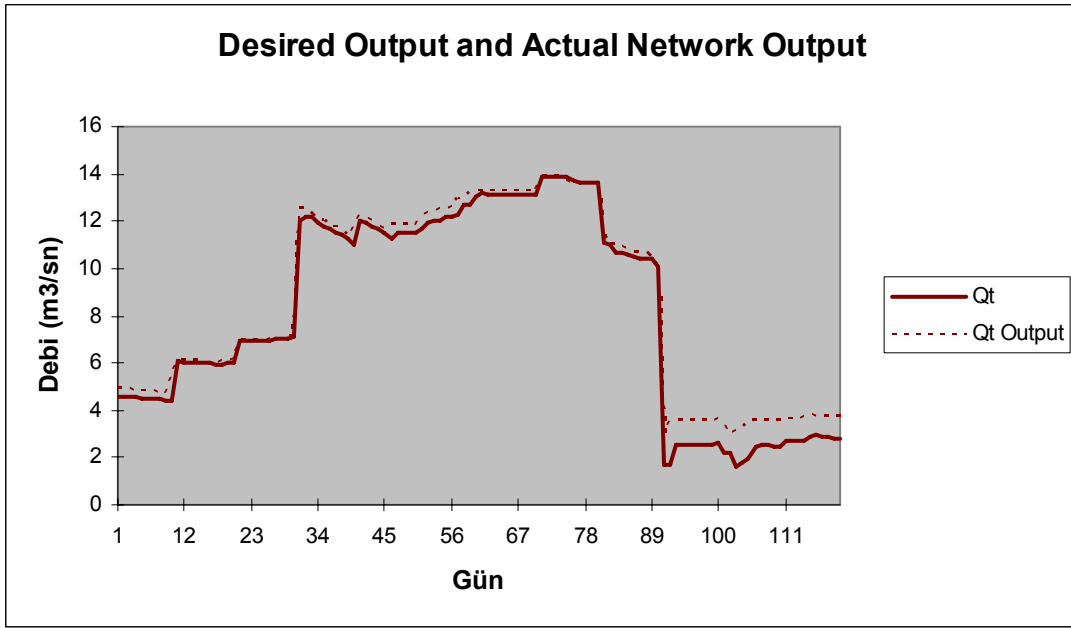
Şekil 5.21. 3girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



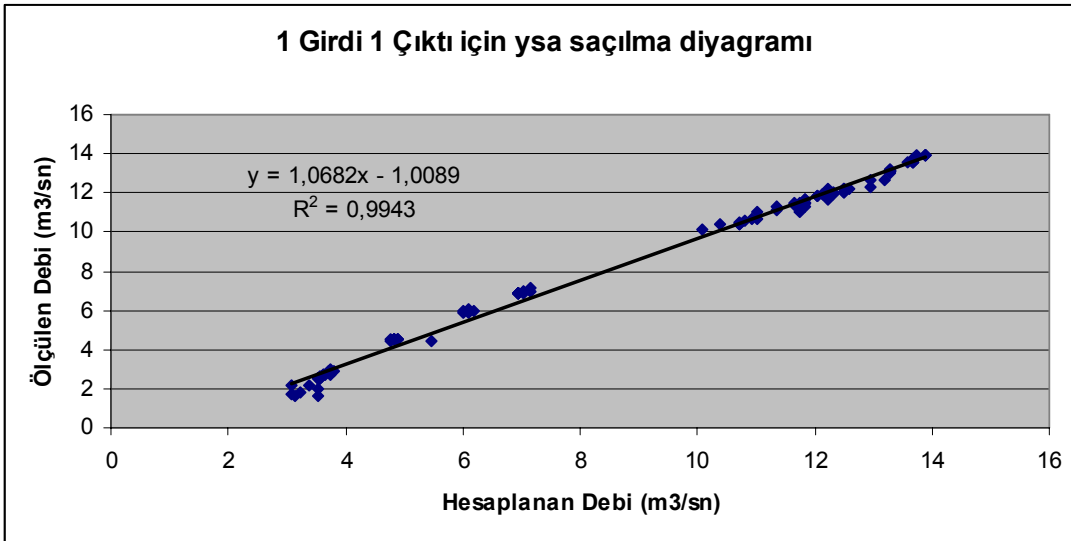
Şekil 5.22. 2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,102867322 – R= 0,997287078)



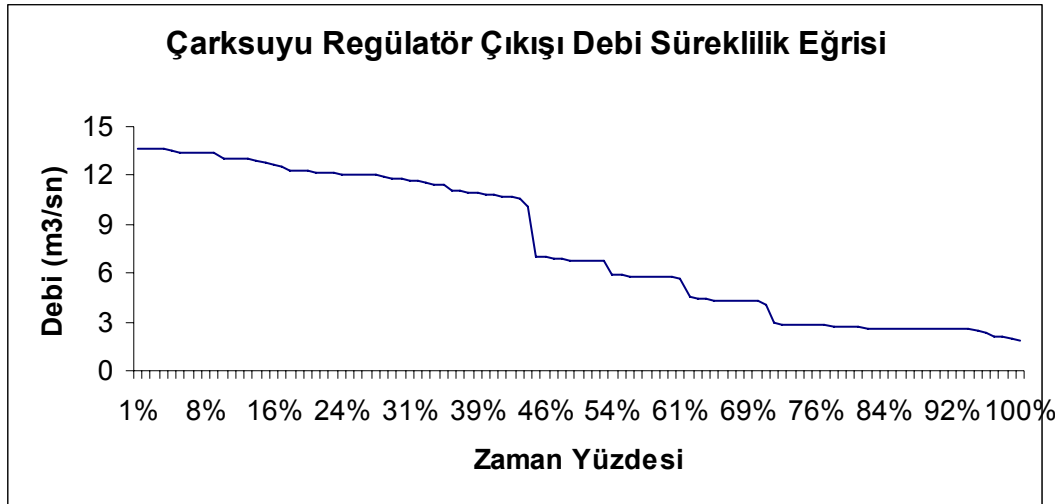
Şekil 5.23. 2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.24. 1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,35961781 – R= 0,9971257)



Şekil 5.25. 1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.26. Çarksuyu regülatör çıkışı debi süreklilik eğrisi

5.2.3. Karakaya deresi istasyonu

YERİ : (30°22'0" D - 40°29'0" K) Adapazarı-Doğantepe Arasında 44 Km Mesafededir.

YAĞIŞ ALANI: 56 Km² YAKLAŞIK KOT : 192 m.

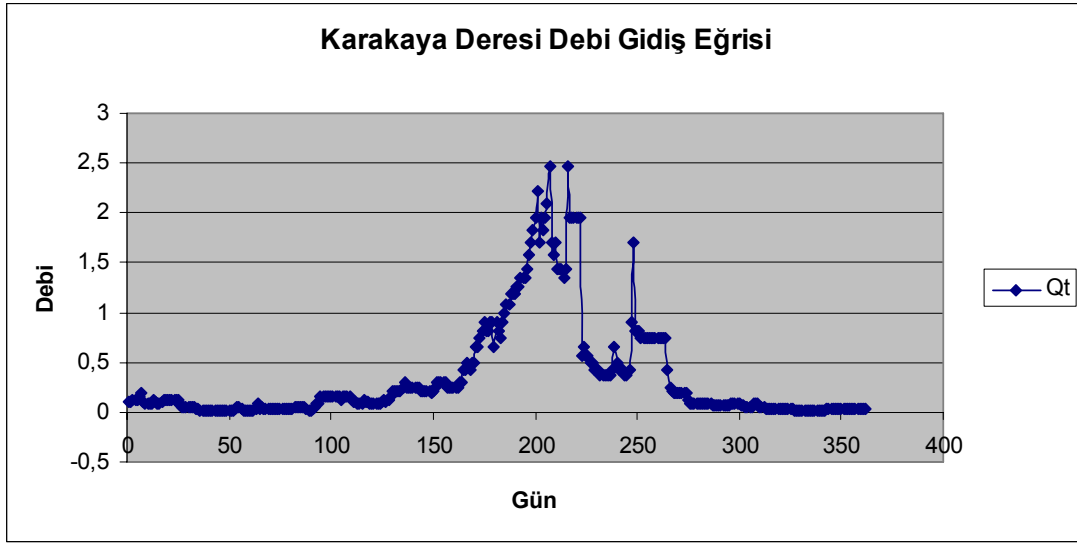
GÖZLEM SÜRESİ: 23/07/1998 - 30/09/2000

ORTALAMA AKIMLAR: Gözlem süresinde 0.278 m³/sn. (2 Yıllık)

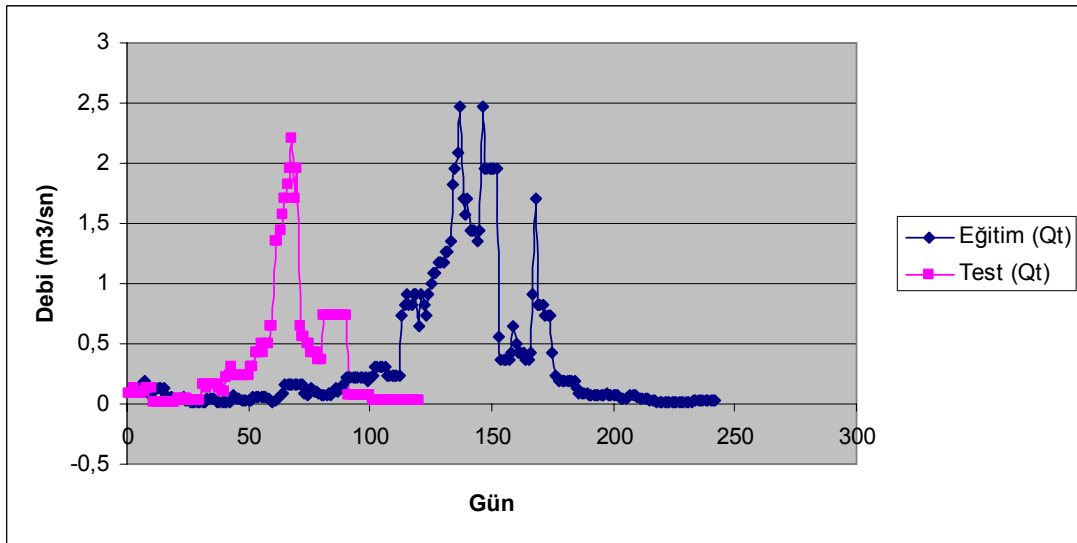
2000 Su yılında 0.346 m³/sn.

Tablo 5.3. 12230 Karakaya Deresi Doğantepe İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri

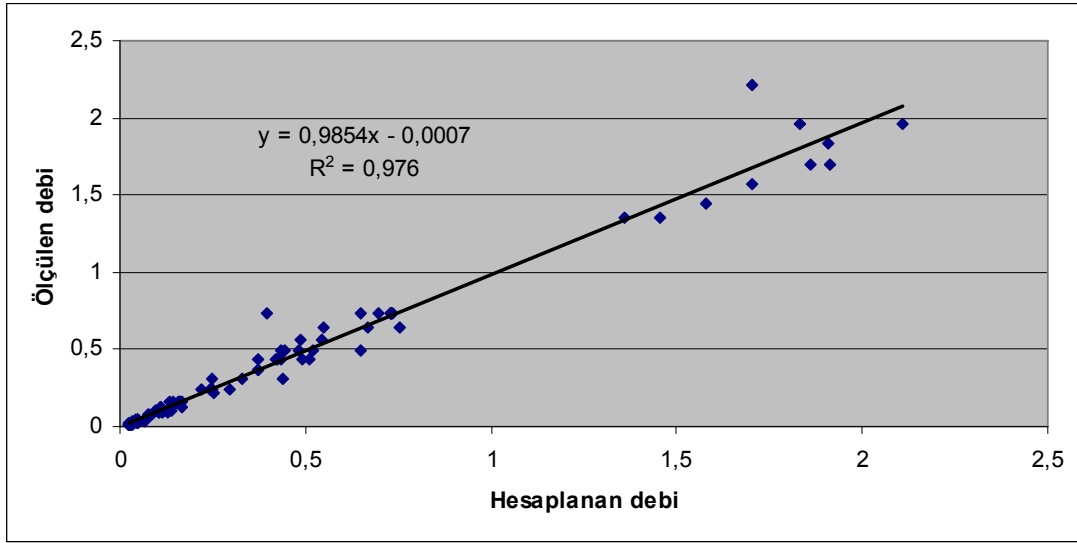
Gün	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	0,102	0,044	0,015	0,079	0,079	0,305	0,911	1,350	0,369	0,130	0,056	0,021
2	0,102	0,056	0,025	0,091	0,102	0,305	1,000	1,440	0,432	0,091	0,079	0,021
3	0,130	0,034	0,079	0,158	0,130	0,305	1,090	2,470	0,911	0,091	0,079	0,021
4	0,130	0,025	0,041	0,158	0,102	0,305	1,090	1,960	1,700	0,091	0,079	0,021
5	0,130	0,015	0,045	0,158	0,130	0,242	1,180	1,960	0,823	0,091	0,056	0,021
6	0,158	0,015	0,036	0,158	0,158	0,242	1,180	1,960	0,823	0,079	0,045	0,021
7	0,186	0,015	0,036	0,158	0,214	0,242	1,180	1,960	0,823	0,079	0,045	0,027
8	0,102	0,015	0,032	0,158	0,214	0,242	1,260	1,960	0,735	0,079	0,041	0,027
9	0,091	0,015	0,032	0,158	0,214	0,242	1,260	1,960	0,735	0,079	0,041	0,027
10	0,091	0,015	0,032	0,158	0,214	0,242	1,350	0,559	0,735	0,079	0,036	0,027
11	0,091	0,015	0,041	0,158	0,214	0,305	1,350	0,647	0,735	0,079	0,036	0,027
12	0,091	0,015	0,041	0,158	0,242	0,305	1,350	0,559	0,735	0,079	0,036	0,027
13	0,130	0,018	0,032	0,130	0,305	0,432	1,440	0,559	0,735	0,068	0,036	0,027
14	0,102	0,018	0,041	0,158	0,242	0,432	1,570	0,496	0,735	0,068	0,036	0,036
15	0,091	0,018	0,041	0,158	0,242	0,496	1,700	0,496	0,735	0,068	0,036	0,036
16	0,091	0,015	0,036	0,158	0,242	0,432	1,830	0,432	0,735	0,068	0,036	0,036
17	0,102	0,015	0,036	0,158	0,242	0,496	1,960	0,432	0,735	0,068	0,036	0,036
18	0,130	0,015	0,036	0,130	0,242	0,496	2,210	0,432	0,735	0,068	0,036	0,036
19	0,130	0,015	0,027	0,102	0,242	0,647	1,700	0,369	0,735	0,068	0,036	0,036
20	0,130	0,015	0,036	0,102	0,242	0,647	1,960	0,369	0,735	0,068	0,036	0,036
21	0,130	0,018	0,056	0,091	0,214	0,735	1,830	0,369	0,432	0,068	0,027	0,036
22	0,130	0,039	0,056	0,079	0,214	0,823	1,960	0,369	0,242	0,079	0,023	0,036
23	0,130	0,044	0,056	0,091	0,214	0,911	2,090	0,369	0,214	0,091	0,021	0,036
24	0,130	0,044	0,056	0,130	0,214	0,823	2,470	0,369	0,186	0,079	0,021	0,036
25	0,130	0,039	0,056	0,102	0,214	0,823	1,700	0,432	0,186	0,079	0,021	0,036
26	0,068	0,015	0,056	0,102	0,186	0,911	1,570	0,647	0,186	0,079	0,021	0,036
27	0,044	0,015	0,041	0,091	0,214	0,911	1,700	0,496	0,186	0,068	0,021	0,036
28	0,056	0,015	0,023	0,079	0,242	0,647	1,440	0,432	0,186	0,068	0,021	0,036
29	0,044	0,015	0,021	0,079	0,305	0,911	1,440	0,432	0,186	0,045	0,021	0,036
30	0,044	0,015	0,036	0,079	-----	0,823	1,440	0,432	0,186	0,045	0,021	0,036
31	0,044	-----	0,045	0,091	-----	0,735	-----	0,369	-----	0,045	0,021	-----



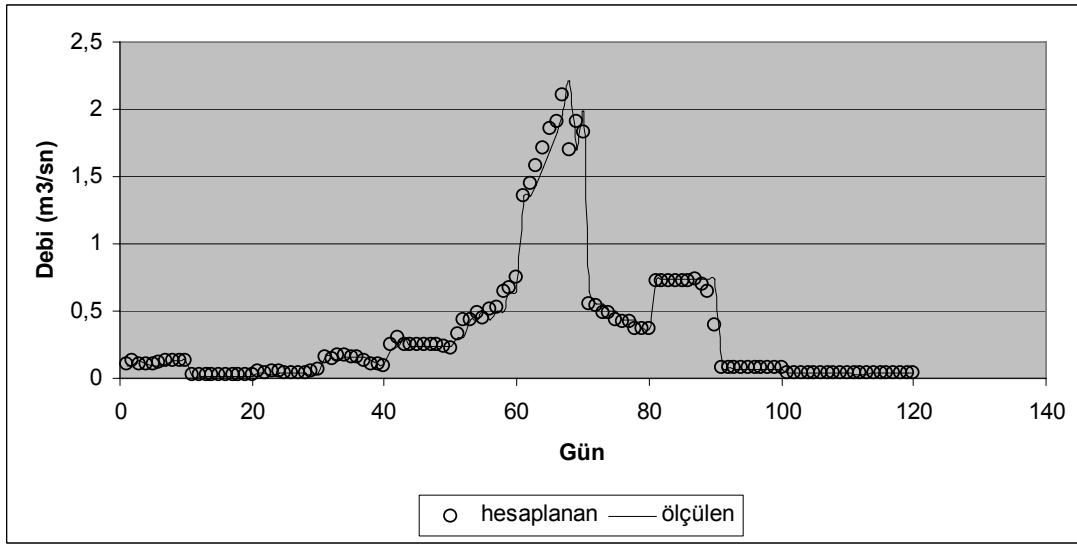
Şekil 5.27. Karakaya deresi debi gidiş çizgisi



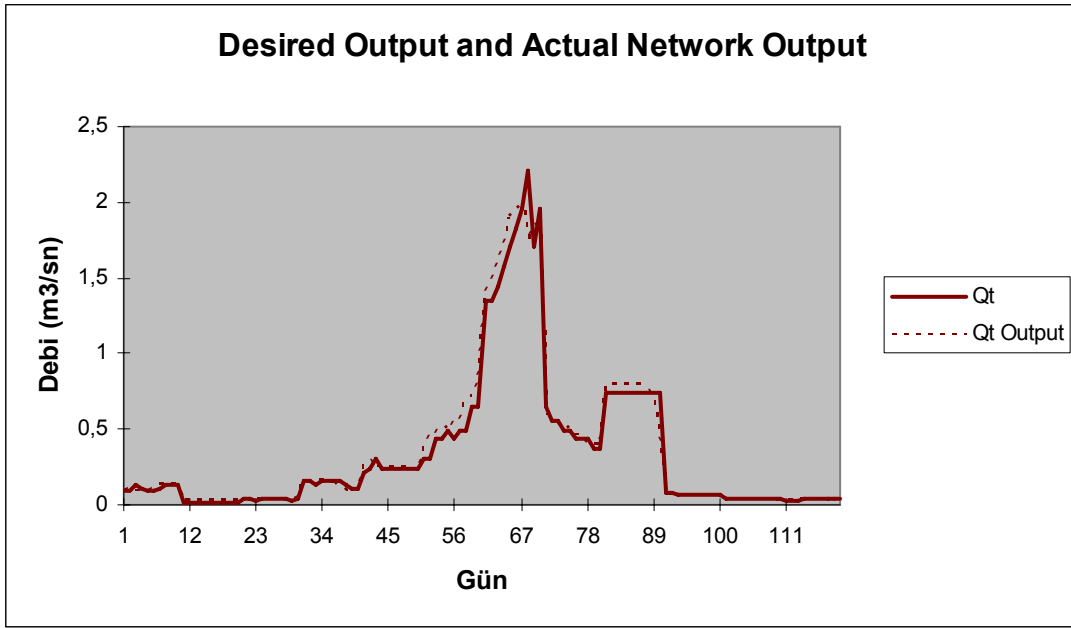
Şekil 5.28. Karakaya deresi debi ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması



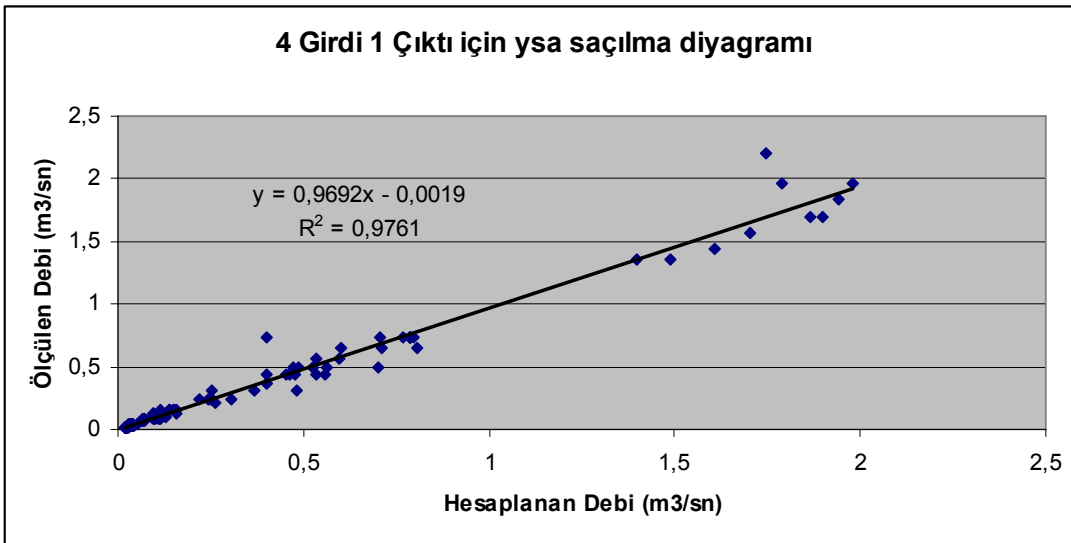
Şekil 5.29. Karakaya deresi debi ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı



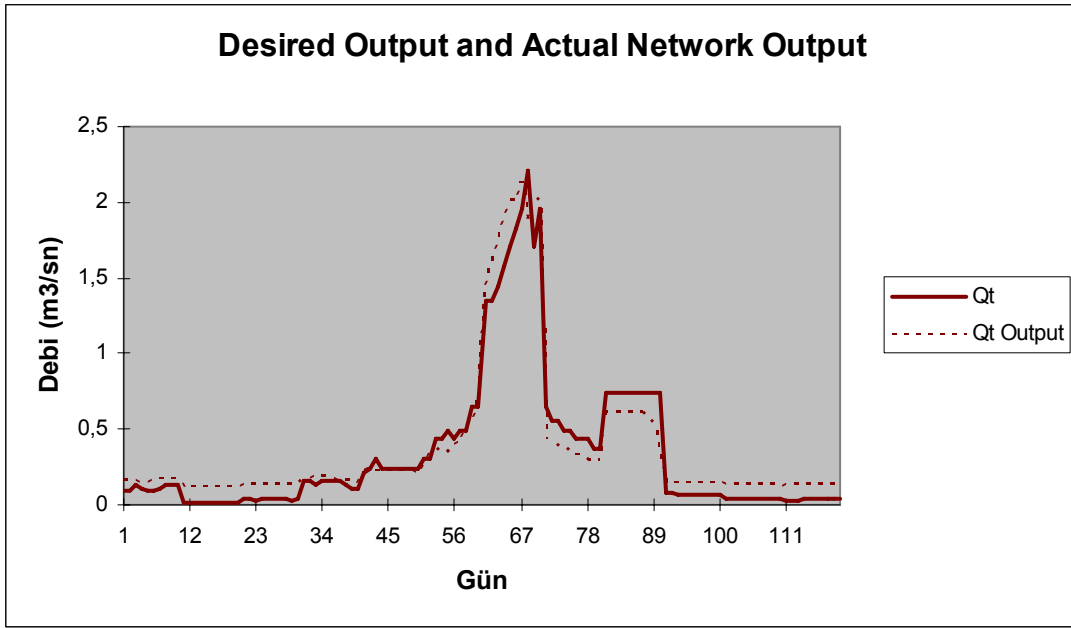
Şekil 5.30. Karakaya deresi debi ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması



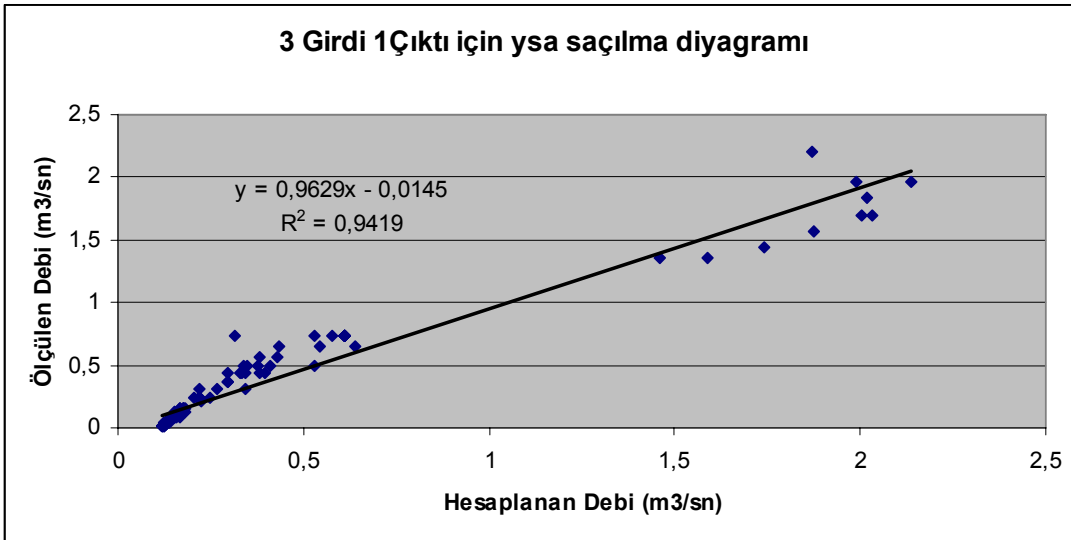
Şekil 5.31. 4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,005780349 – R= 0,988002737)



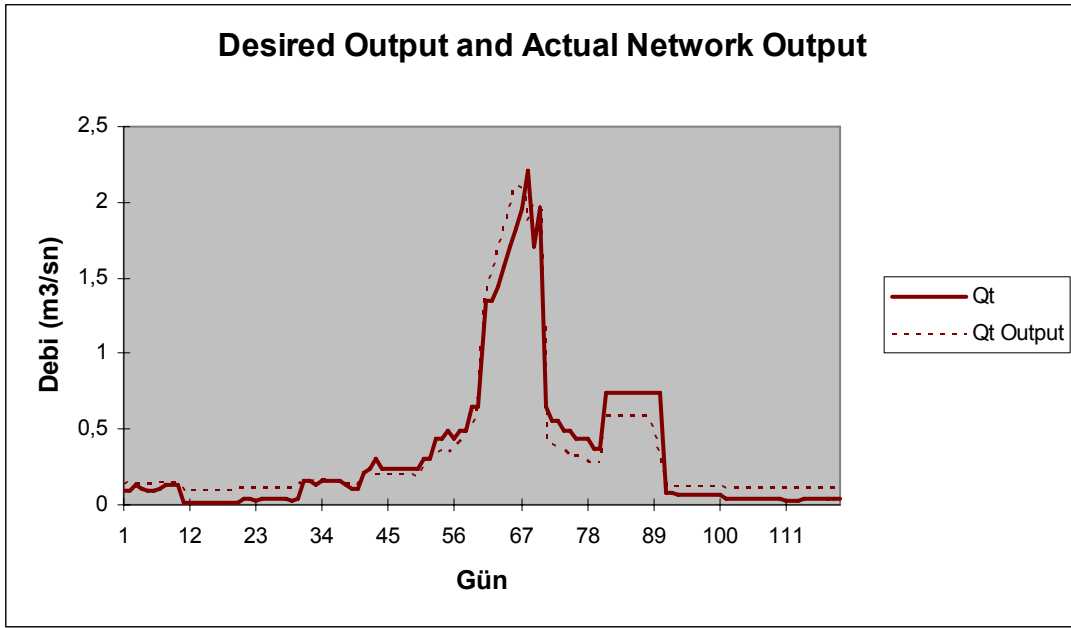
Şekil 5.32. 4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



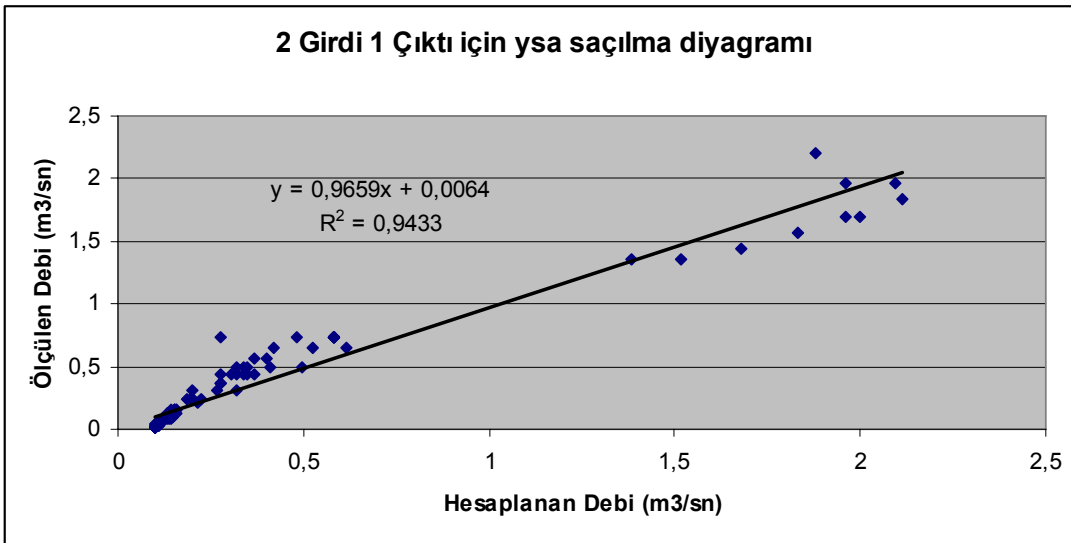
Şekil 5.33. 3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,01425378 – R= 0,970500714)



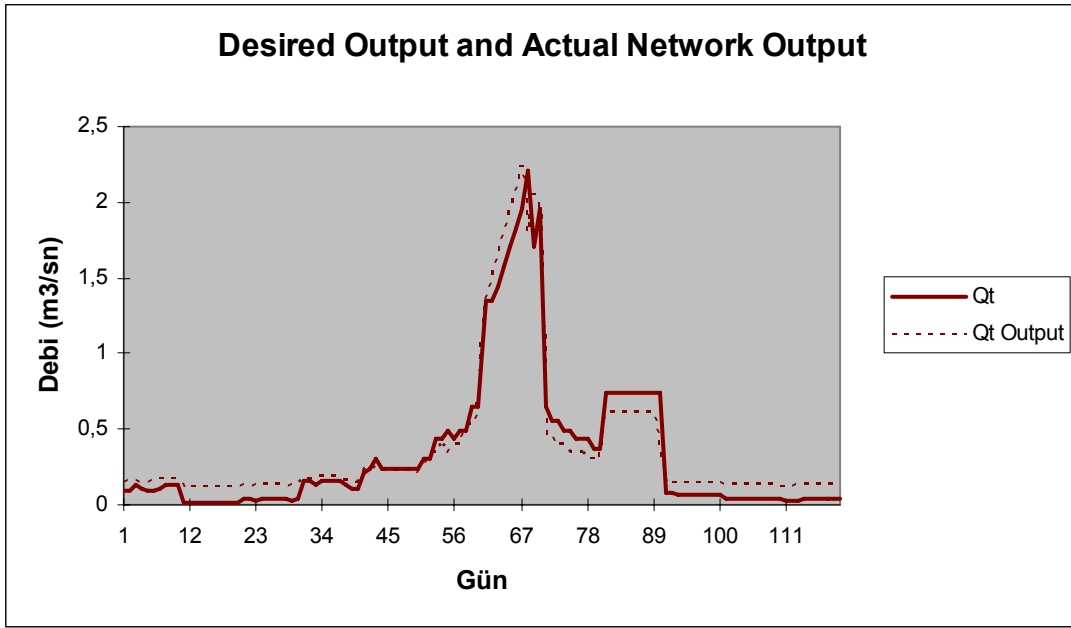
Şekil 5.34. 3 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



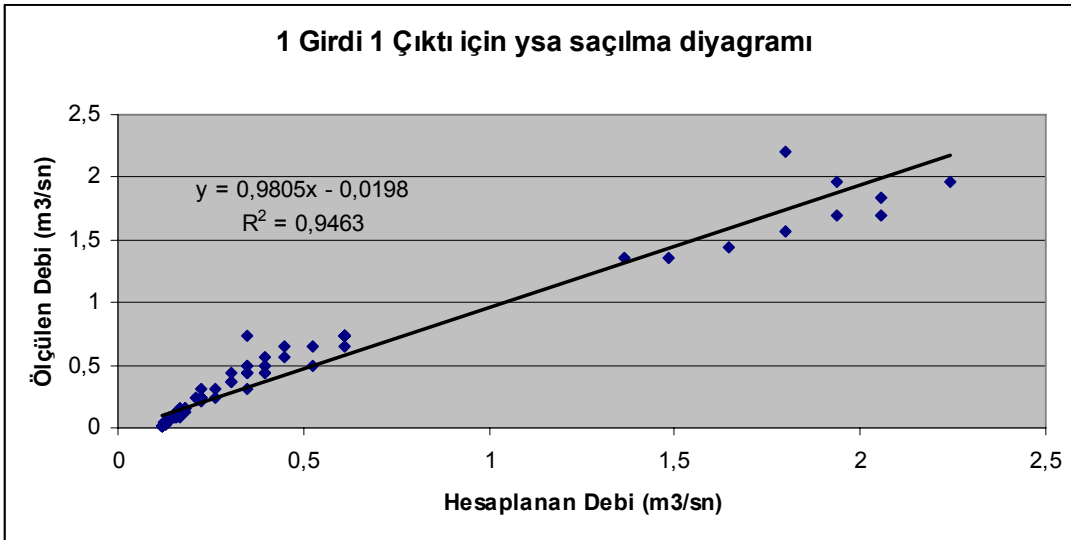
Şekil 5.35. 2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,013125551 – R = 0,971219173)



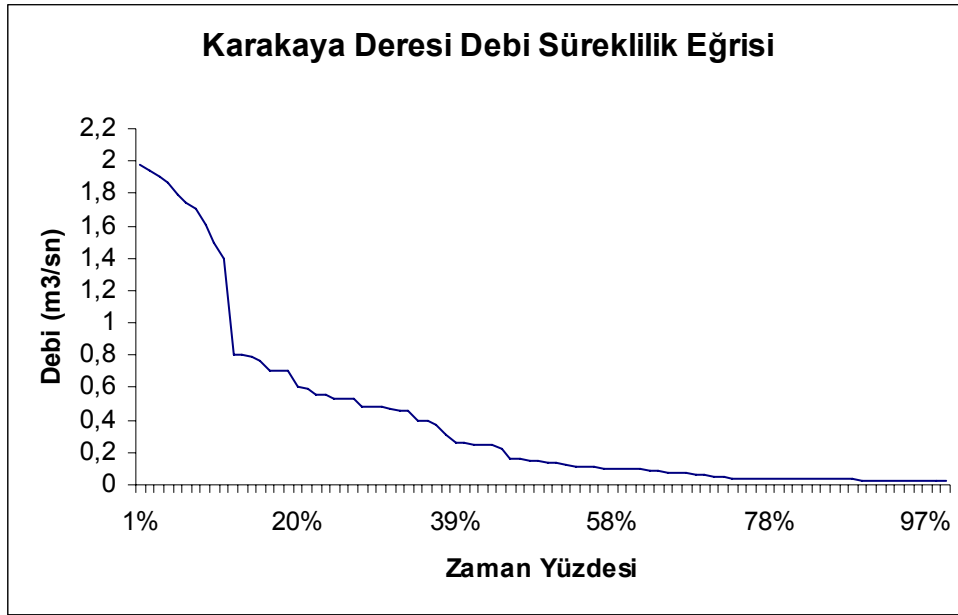
Şekil 5.36. 2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.37. 1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,012956507 – R= 0,972778641)



Şekil 5.38. 1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.39. Karakaya deresi debi süreklilik eğrisi

5.2.4. Kurtköy deresi istasyonu

YERİ: (30° 12' 0" D - 40° 42' 0" K) Adapazarı Sapanca yolunun üzerindeki Kurtköy deresi üzerindeki köprünün 100 m sağındaki üniversite lojmanlarının yanındadır.

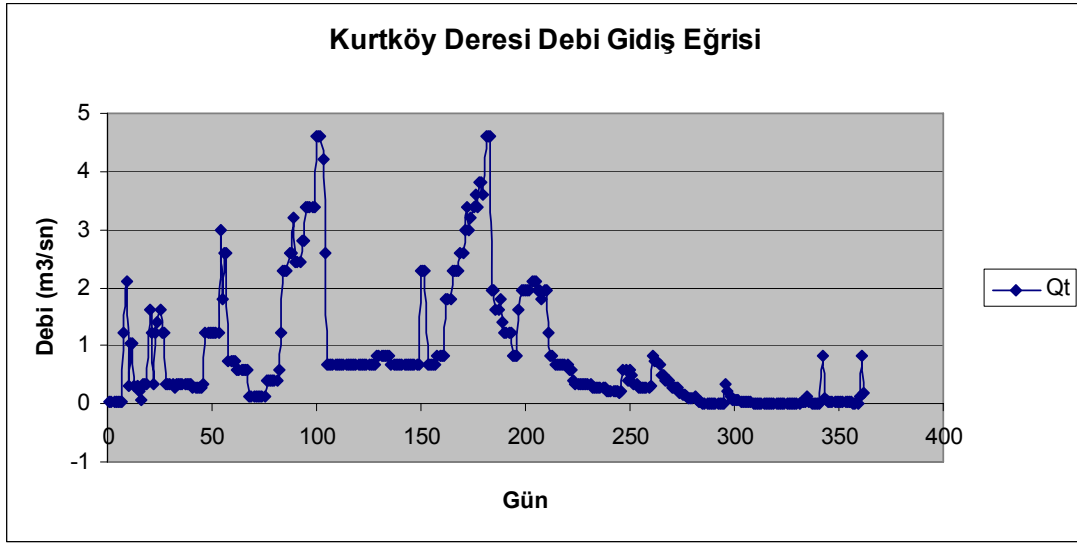
YAĞIŞ ALANI: 18.7 Km² YAKLAŞIK KOT : 68 m.

GÖZLEM SÜRESİ:01/02/1977 - 30/09/2000

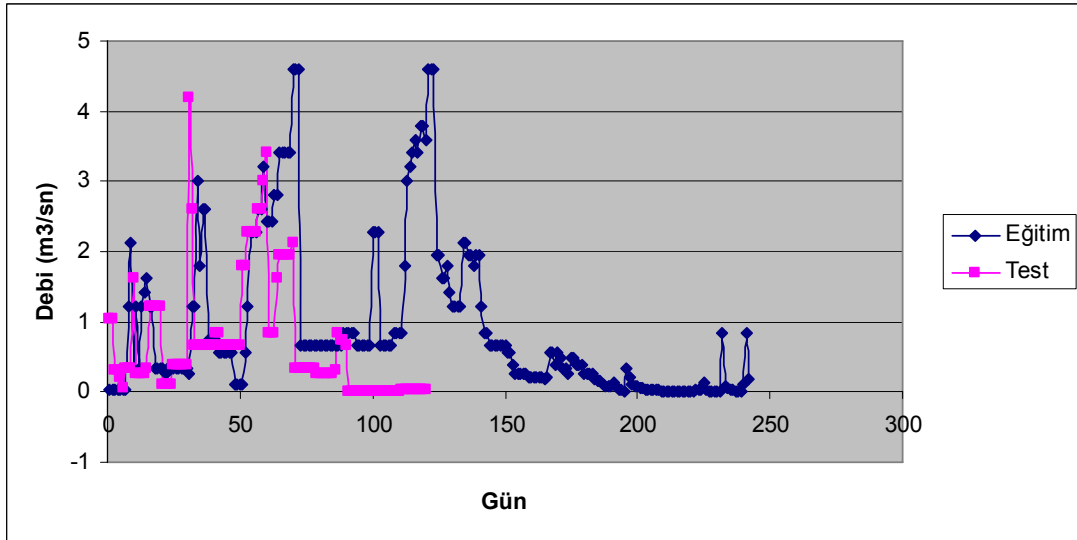
ORTALAMA AKIMLAR: Gözlem süresinde 0.445 m³/sn. (17 Yıllık)
2000 Su yılında 0.846 m³/sn.

Tablo 5.4. 12142 - Kurtköyderesi-Üniversite.Tesisi İstasyonu 1999-2000 yılı günlük akım verileri

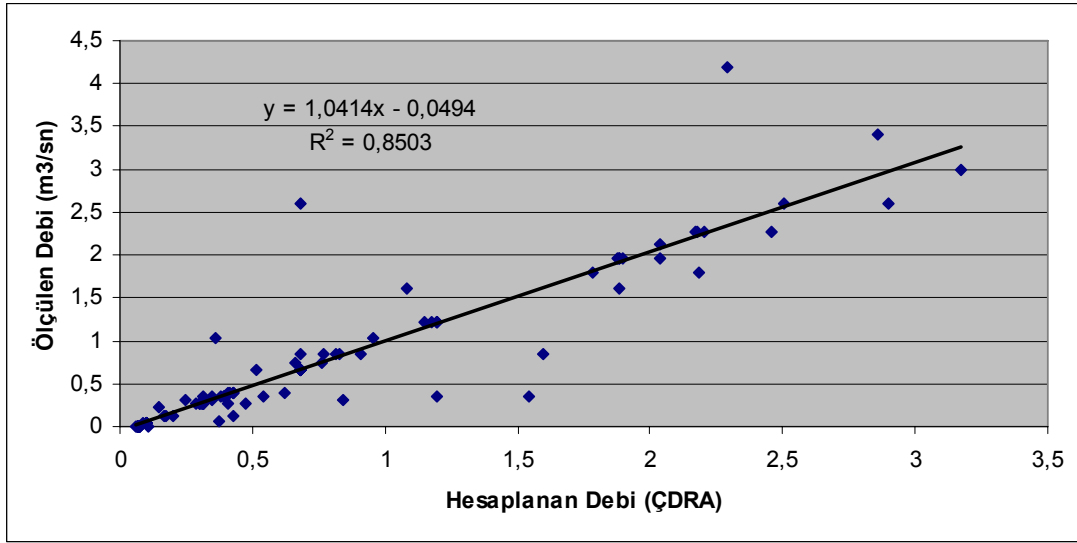
Gün	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	0,023	0,264	0,570	2,800	0,660	0,660	1,960	0,660	0,180	0,158	0,033	0,018
2	0,023	0,348	0,570	2,800	0,660	0,660	1,960	0,660	0,222	0,158	0,033	0,018
3	0,023	0,348	0,570	3,400	0,660	0,660	1,610	0,660	0,570	0,115	0,033	0,018
4	0,023	0,348	0,570	3,400	0,660	0,660	1,610	0,660	0,570	0,094	0,009	0,018
5	0,023	0,348	0,570	3,400	0,660	0,660	1,800	0,660	0,390	0,094	0,009	0,018
6	0,023	0,348	0,570	3,400	0,840	0,840	1,420	0,660	0,570	0,094	0,009	0,840
7	0,023	0,348	0,115	3,400	0,840	0,840	1,220	0,660	0,480	0,137	0,004	0,094
8	1,220	0,348	0,115	4,600	0,840	0,840	1,220	0,570	0,348	0,072	0,004	0,052
9	2,120	0,348	0,115	4,600	0,840	0,840	1,220	0,570	0,348	0,043	0,004	0,033
10	0,306	0,264	0,115	4,600	0,840	1,800	1,220	0,390	0,264	0,023	0,004	0,033
11	1,030	0,264	0,115	4,200	0,840	1,800	0,840	0,348	0,264	0,006	0,004	0,033
12	1,030	0,264	0,115	2,600	0,840	1,800	0,840	0,348	0,264	0,003	0,004	0,033
13	0,306	0,264	0,115	0,660	0,660	2,280	0,840	0,348	0,264	0,001	0,004	0,033
14	0,306	0,264	0,115	0,660	0,660	2,280	1,610	0,348	0,264	0,001	0,004	0,033
15	0,222	0,348	0,390	0,660	0,660	2,280	1,960	0,348	0,264	0,001	0,004	0,033
16	0,052	1,220	0,390	0,660	0,660	2,280	1,960	0,348	0,306	0,001	0,004	0,033
17	0,348	1,220	0,390	0,660	0,660	2,600	1,960	0,348	0,840	0,001	0,004	0,033
18	0,348	1,220	0,390	0,660	0,660	2,600	1,960	0,348	0,750	0,001	0,004	0,033
19	0,348	1,220	0,390	0,660	0,660	3,000	1,960	0,264	0,750	0,001	0,004	0,033
20	1,610	1,220	0,390	0,660	0,660	3,400	2,120	0,264	0,660	0,001	0,004	0,033
21	1,220	1,220	0,570	0,660	0,660	3,000	2,120	0,264	0,480	0,001	0,004	0,018
22	0,348	1,220	1,220	0,660	0,660	3,200	2,120	0,264	0,480	0,348	0,004	0,018
23	1,220	3,000	2,280	0,660	0,660	3,400	1,960	0,264	0,390	0,222	0,004	0,018
24	1,420	1,800	2,280	0,660	0,660	3,600	1,960	0,264	0,390	0,115	0,004	0,115
25	1,610	2,600	2,280	0,660	0,660	3,400	1,800	0,264	0,390	0,072	0,004	0,840
26	1,220	2,600	2,600	0,660	0,660	3,800	1,960	0,222	0,264	0,072	0,004	0,180
27	1,220	0,750	2,600	0,660	2,280	3,800	1,960	0,222	0,264	0,052	0,033	0,264
28	0,348	0,750	3,200	0,660	2,280	3,600	1,220	0,222	0,264	0,052	0,033	0,137
29	0,348	0,750	2,440	0,660	2,280	4,600	0,840	0,222	0,264	0,033	0,033	0,115
30	0,348	0,750	2,440	0,660	-----	4,600	0,840	0,222	0,180	0,033	0,137	0,072
31	0,348	-----	2,440	0,660	-----	4,600	-----	0,222	-----	0,033	0,043	-----



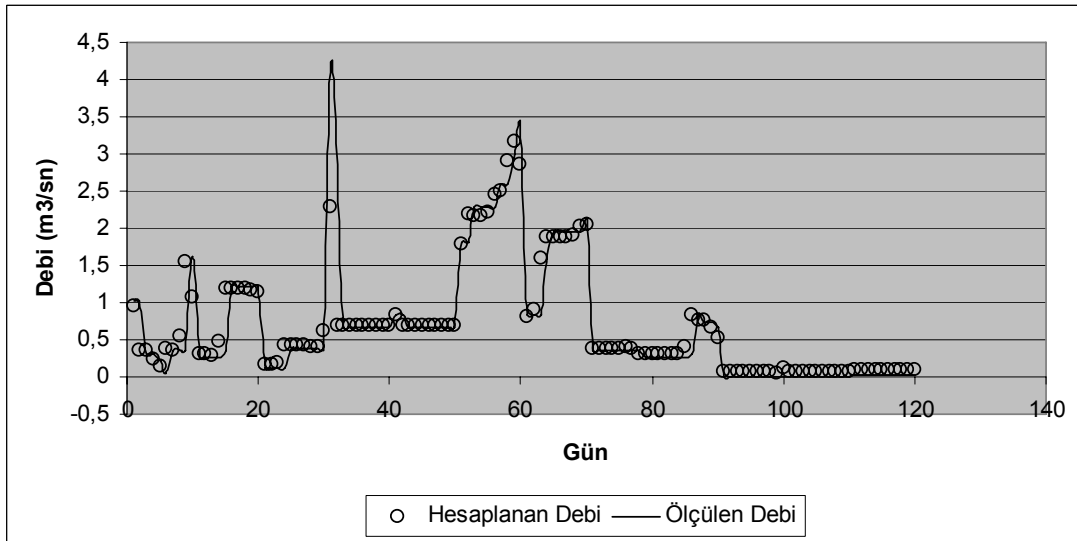
Şekil 5.40. Kurtköy deresi debi gidiş çizgisi



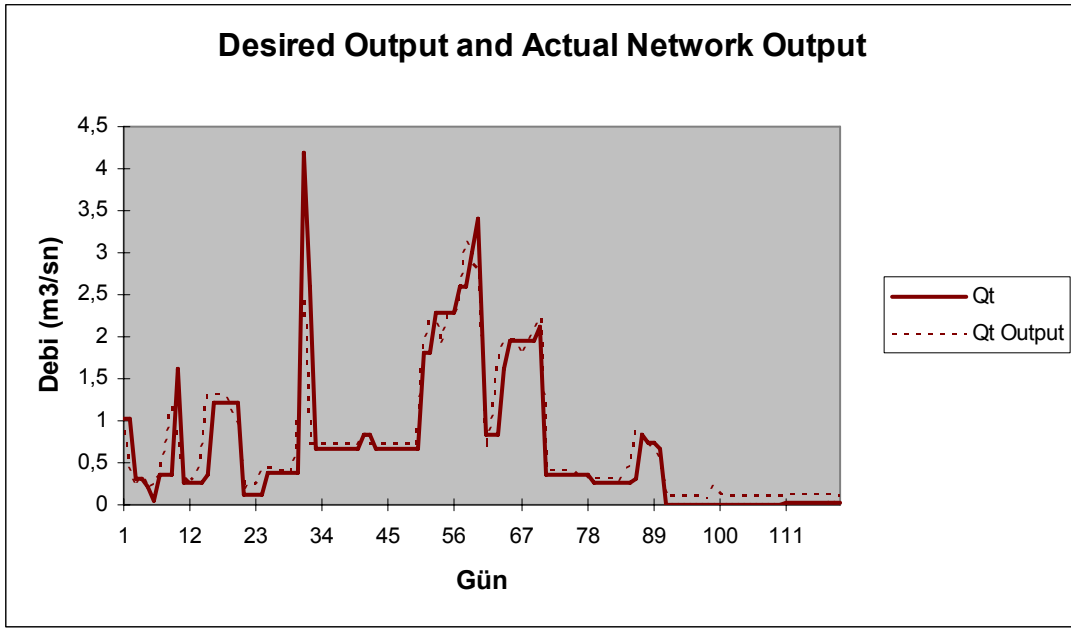
Şekil 5.41. Kurtköy deresi ÇDRA için eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması



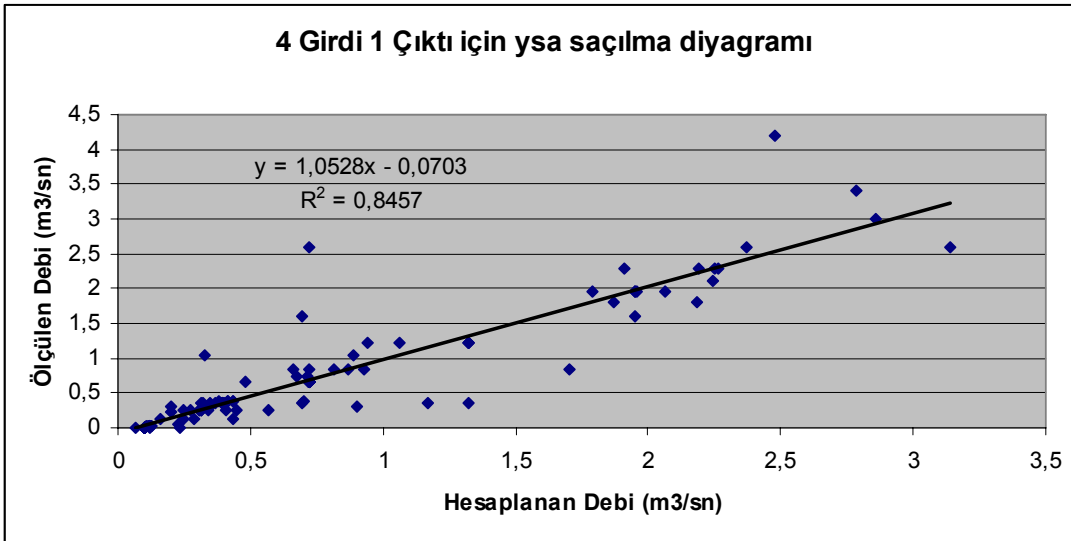
Şekil 5.42. Kurtköy deresi ÇDRA ölçülen debi ve hesaplanan debi için saçılma diyagramı



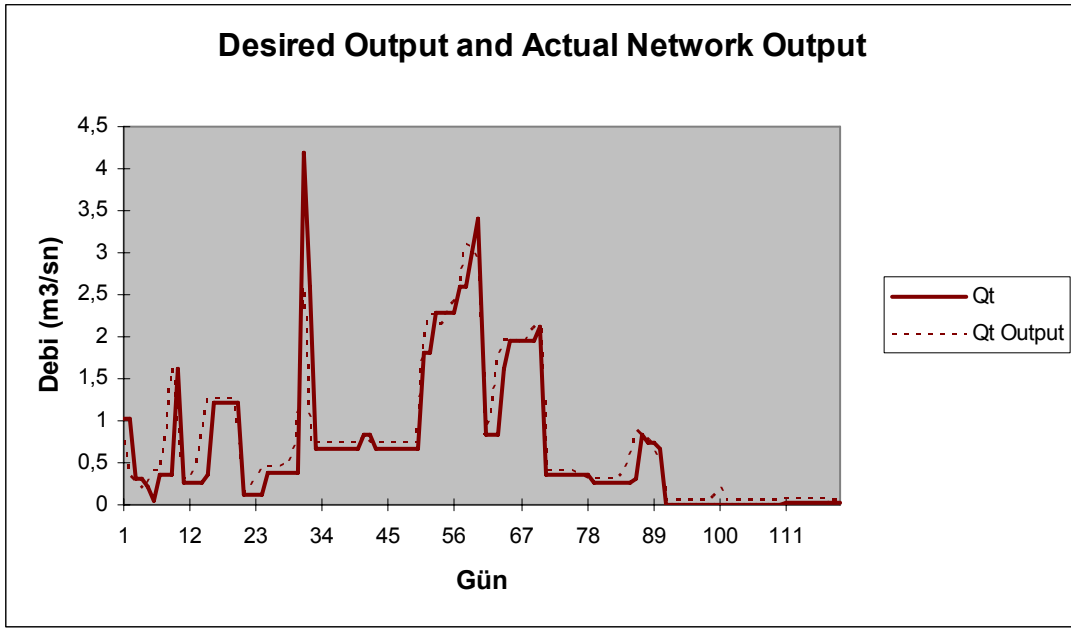
Şekil 5.43. Kurtköy deresi ÇDRA hesaplanan ve ölçülen debi değerlerinin karşılaştırılması



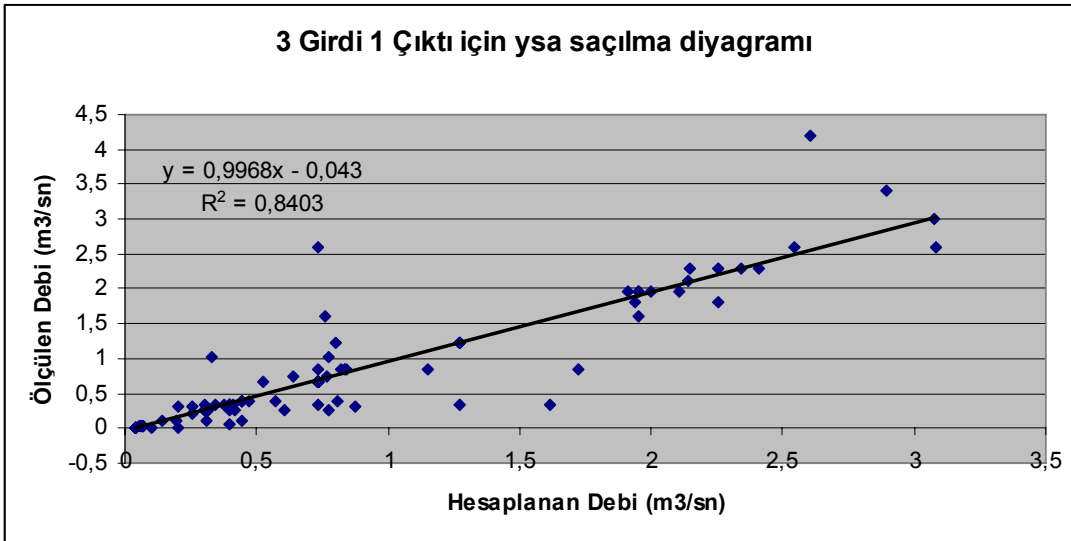
Şekil 5.44. 4 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,108193633 – R = 0,919598221)



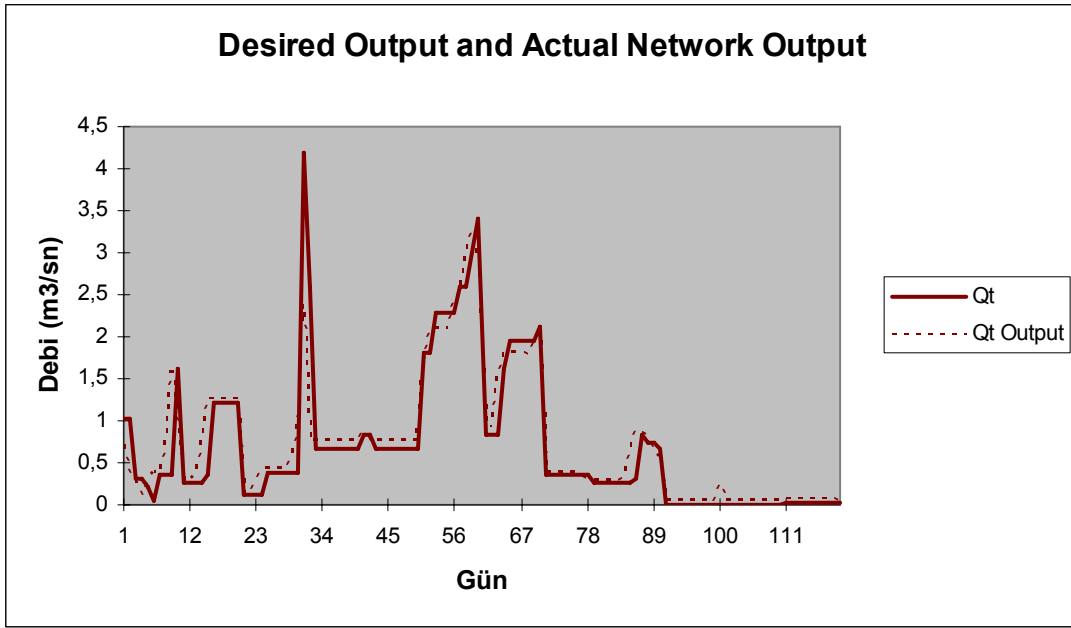
Şekil 5.45. 4 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



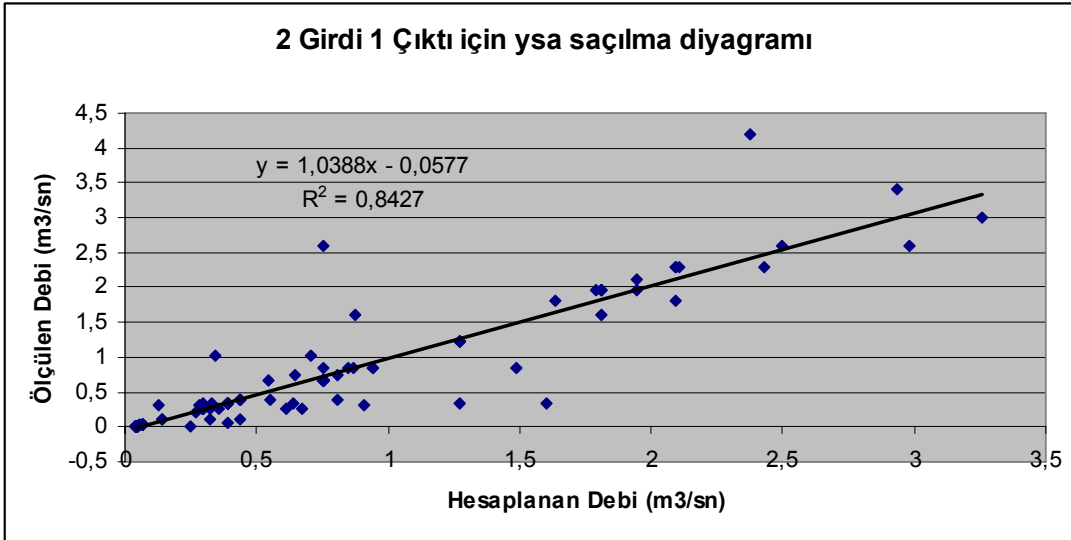
Şekil 5.46. 3 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,111458655 – R= 0,916678309)



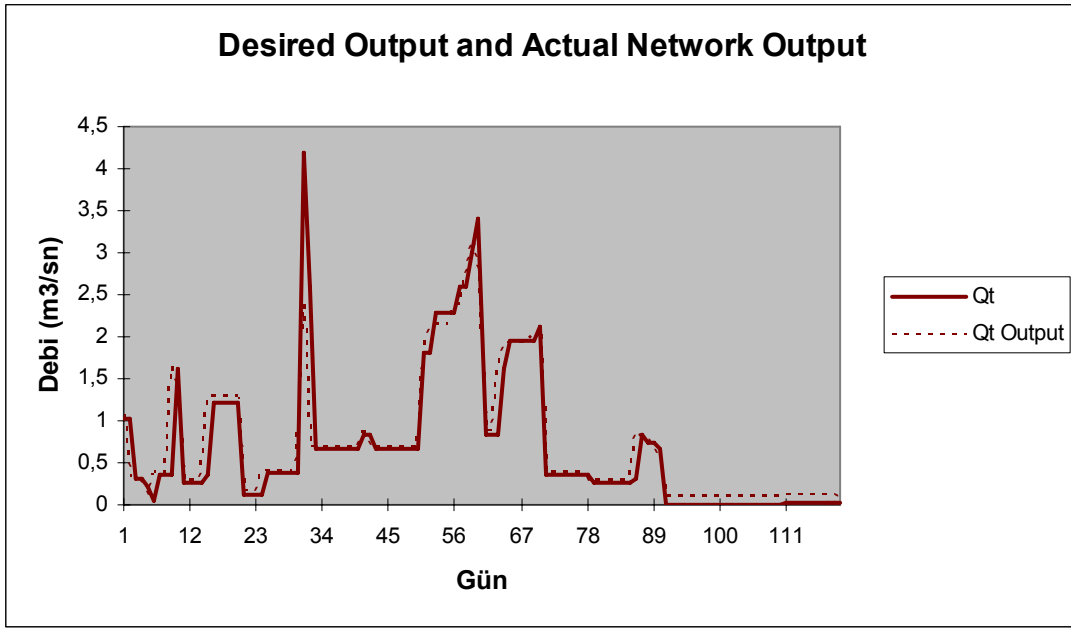
Şekil 5.47. 3 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



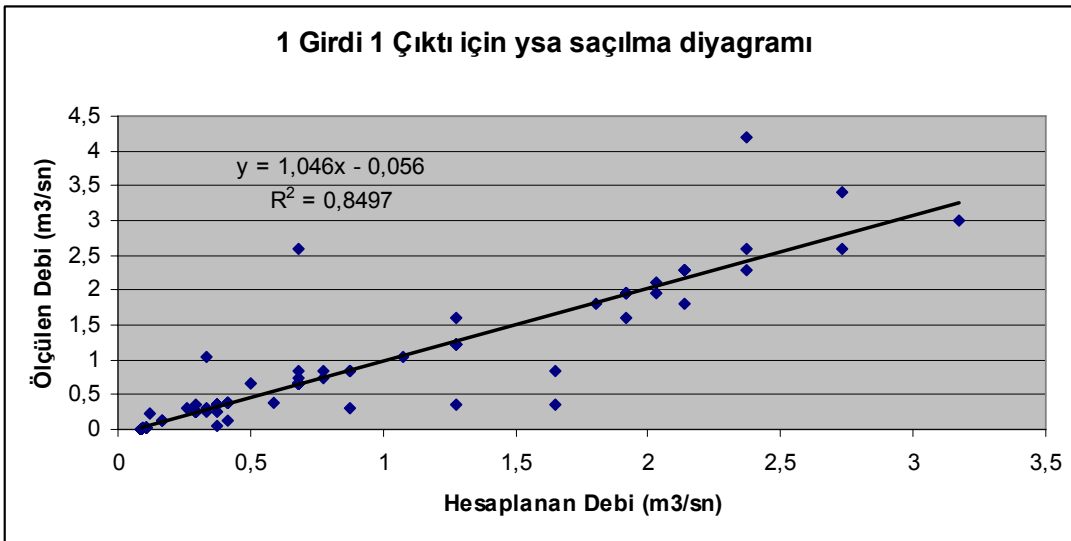
Şekil 5.48. 2 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,109456889 – R = 0,917965076)



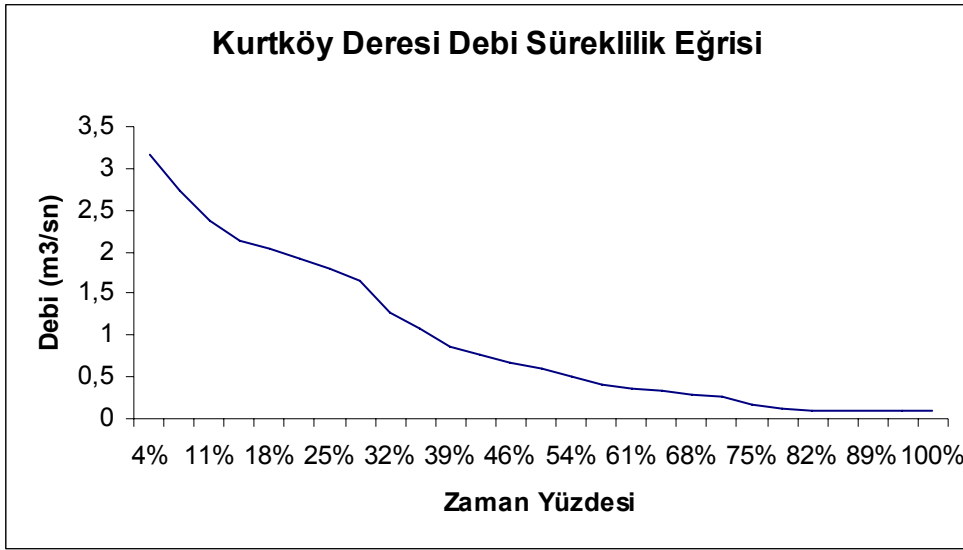
Şekil 5.49. 2 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.50. 1 girdi 1 çıktı için YSA tahmini (OKH= 0,104614376 – R= 0,921784997)



Şekil 5.51. 1 girdi 1 çıktı için oluşturulan YSA modelinin saçılma diyagramı



Şekil 5.52. Kurtköy deresi debi süreklilik eğrisi

Debi gidiş çizgisinde, düşey eksenindeki debilerin büyük değerleri akarsuda taşkın anındaki akımları ifade etmektedir. Dolayısıyla debi gidiş çizgisinden elde edilen debi süreklilik eğrisinin aşılma olasılığının %0 ile %10 arasında bulunan birinci bölgede, rastgelelikleri ve ortalama değer etrafındaki sapmaları fazla olan taşkın debileri etkin rol oynamaktadır.

Değeri yüksek olmasına rağmen yıl içinde görülme ihtimali düşük olan bu debilere göre yapılacak projelendirmede çok büyük kurulu güç ortaya çıkacaktır. Bu şekilde santral kapasitesi gereğinden büyük seçilmiş ve dolayısıyla ilk yatırım maliyeti yüksek, rantabl olmayan bir tesis inşa edilmiş olacaktır.

Bu sebeple, doğal akışlı hidroelektrik santral planlamasında debi süreklilik eğrisinin bu bölümünde kalan debiler proje debisi olarak seçilmemektedir. Debi süreklilik eğrisinin aşılma olasılığı %10 ile %90 arasında bulunan ikinci bölgesi, akımın birinci bölgeye göre daha kararlı olduğu durumları yansıtmaktadır. Günümüzde, doğal akışlı hidroelektrik santralin kurulu gücünün hesabında kullanılan proje debisi, debi süreklilik eğrisinin genellikle aşılma olasılığı %30 ile %100 arasında kalan bölümünde kalacak şekilde seçilmelidir [26].

Tablo 5.5’de ileri beslemeli geriye yayılım sinir ağıları metoduyla farklı girdi ve gizli tabaka hücre sayıları kullanılarak elde edilen ortalama kare hatası ve belirlilik katsayıları sonuçları verilmiştir. En iyi ortalama kare hatası (OKH=) ve belirlilik katsayısı (R=) değerleri çark suyu ve karakaya deresi için $Q(t-4)$, $Q(t-3)$, $Q(t-2)$ ve $Q(t-1)$ anındaki akım değerlerinin girdi olarak alınıp Q_t anındaki akımın kestirildiği alternatifte elde edilmiştir. Bu alternatifte girdi tabakasındaki hücre sayısı 4, gizli tabakadaki hücre sayısı 2 ve çıktı tabakasındaki hücre sayısı 1dir. Transfer fonksiyonu olarak tanjant ve 1000 epoch (iterasyon sayısı) için oluşturulan modelde elde edildi.

Papaz deresi için en iyi ortalama kare hatası (OKH=) ve belirlilik katsayısı (R=) değerleri $Q(t-3)$, $Q(t-2)$ ve $Q(t-1)$ anındaki akım değerlerinin girdi olarak alınıp Q_t anındaki akımın kestirildiği alternatifte elde edilmiştir. Bu alternatifte girdi tabakasındaki hücre sayısı 3, gizli tabakadaki hücre sayısı 2 ve çıktı tabakasındaki hücre sayısı 1dir. Transfer fonksiyonu olarak tanjant ve 2000 epoch (iterasyon sayısı) için oluşturulan modelde elde edildi.

Kurtköy deresi için en iyi ortalama kare hatası (OKH=) ve belirlilik katsayısı (R=) değerleri $Q(t-1)$ anındaki akım değerlerinin girdi olarak alınıp Q_t anındaki akımın kestirildiği alternatifte elde edilmiştir. Bu alternatifte girdi tabakasındaki hücre sayısı 1, gizli tabakadaki hücre sayısı 2 ve çıktı tabakasındaki hücre sayısı 1dir. Transfer fonksiyonu olarak tanjant ve 2000 epoch (iterasyon sayısı) için oluşturulan modelde elde edildi.

Tablo 5.5. İBGY Metoduyla elde edilen sonuçlar

			Gizli Tabakadaki Hücre Sayısı
Papaz Deresi	OKH	R	
Q(t-1),Qt	0,07177	0,97576	2
Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,08401	0,97594	2
Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,05414	0,97617	2
Q(t-4),Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,07171	0,97543	2
Çark Suyu Regülatör Çıkışı	OKH	R	
Q(t-1),Qt	0,35962	0,99713	2
Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,10287	0,99729	2
Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,14949	0,99614	2
Q(t-4),Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,04883	0,99869	2
Karakaya Deresi	OKH	R	
Q(t-1),Qt	0,01296	0,97278	2
Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,01313	0,97122	2
Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,01425	0,9705	2
Q(t-4),Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,00578	0,988	2
Kurtköy Deresi	OKH	R	
Q(t-1),Qt	0,10461	0,92178	2
Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,10946	0,91797	2
Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,11146	0,91668	2
Q(t-4),Q(t-3),Q(t-2),Q(t-1),Qt	0,10819	0,9196	2

5.3. Yapay sinir ağları ile önceki akım verileri kullanılarak gelecekteki akım değerlerinin tahmini

Bu bölümde Devlet Su İşleri (DSİ) Kurumu'nun 2000 Akım Yıllığı kitabında yayınlamış olduğu 12 nolu Sakarya havzası üzerinde bulunan dört dereye ait Papaz Deresi, Çark Suyu regülatör çıkışı, Karakaya Deresi, Kurtköy Deresi ait yağış değerleri kullanılarak nehir akımları tahmin edilmiştir. Oluşturulan yapay sinir ağları mimarisinde dört gün önceye kadar olan yağış verileri girdi olarak alınmış, ileri beslemeli geriye yayılım metodunda farklı gizli hücre tabaka sayıları, genelleştirilmiş regresyon sinir ağlarında ise en iyi çözümü veren düzeltme parametreleri ile çıktı tabakasındaki akım değerleri hesaplanmıştır.

Girdi tabakasına değerlerine ek olarak önceki akım verisi de alındığında sonuçlarda olumlu gelişmeler olmuştur. (Qt-4), (Qt-3), (Qt-2), (Qt-1) t anlarındaki akım değerinin girdi olarak alınmasıyla OKH değeri düşerken R^2 değeri yükselmiştir. Yapay sinir ağları sonucuna ait hidrograf ve saçılma diyagramı ve regresyon analizi neticeleri grafikler üzerinde incelendiğinde özellikle küçük akış değerlerinin tahmininde yapay sinir ağlarının regresyona nazaran daha başarılı olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, Aşağı Sakarya Havzasındaki dört dereye ait Papaz Deresi, Çark Suyu regülatör çıkışı, Karakaya Deresi, Kurtköy Deresi üzerindeki istasyonlara ait ötelenmiş günlük akım verileri kullanılarak t anındaki akım tahminleri yapılmaya çalışılmıştır. Akım tahmin metotları olarak YSA ve ÇDRA metotları kullanılmıştır.

Çalışma da kullanılan 1999-2000 yılları arasında akarsularda gözlenen 1448 adet ötelenmiş günlük debi verisinin 968' i eğitim için geri kalan 480 adet veri ise test için kullanıldı. Yapay sinir ağları yöntemi ile elde edilen verilerin gelecek yıllardaki akımları tahminde tutarlı olduğu gözlemlendi. Elde edilen tahmin verileri ışığında inceleme yapılan havzanın küçük HES potansiyelinin belirlenmesi için uygun olduğu sonucuna varıldı.

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Ülkemiz Türkiye, petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olmamakla birlikte hidroelektrik enerjisi bakımından önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu sebeple Türkiye gelecekteki enerji stratejisini, bu potansiyelin tamamını kullanmaya dayandırmak durumundadır. Diğer taraftan doğal gaz ile kaliteli kömürün hemen, hemen tamamını ithal eden Türkiye, enerji kaynakları ve bu kaynaklara ayrılan para için dışa bağımlılıktan kurtulmak için temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları keşfetmek zorundadır. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları içinde en önemli enerji kaynağı ise “Hidroelektrik Enerji”dir.

Hidroelektrik enerji; temiz, çevre ile uyumlu, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olduğundan, Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de artık hidroelektrik

enerjiye doğru bir yönelme ve rağbet vardır. Ancak ülkemizin su kaynakları potansiyeli ve buna karşın boşa akıp giden sularımız ile ülkemizdeki enerji açığı dikkate alındığında, bu yönelme ve taleplerin daha da arttırılması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Ülkemizin elektrik enerjisi ihtiyacı ve potansiyeli göz önüne alındığında, ekonomik olarak fizibil olan potansiyelin, Türkiye'nin 2020 yılındaki ihtiyacının % 33 ile % 46'sını karşılayabileceği görülmektedir. Onlarca TWh olduğu tahmin edilen ve bu hesaplarda dikkate alınmayan küçük hidroelektrik potansiyelin de değerlendirilmesi sonucu, Ülkenin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin önemli bir kısmının kendi iç kaynaklarından sağlanabileceği açıktır.

Elektrik enerjisi üretiminde önemli bir yeri olan hidroelektrik üretimi, Türkiye'de 26 ana havzada gerçekleştirilmektedir. Bu havzalardan birisi olan "Sakarya Havzası" Türkiye'nin çok önemli bir noktasında bulunmakta olup özellikle su kaynakları başta olmak üzere gerek yeraltı ve gerekse yerüstü kaynakları bakımından önemli bir zenginliğe sahiptir.

Bölgenin sanayi yapısı da göz önüne alındığında, bu bölgede enerjiye olan ihtiyacın çok fazla olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle Sakarya havzasında yapılan HES çalışmaları arttırılmalı ve bu çalışmalar desteklenmelidir.

Ancak bu destek; Sakarya Nehri'nin ana kollarındaki HES potansiyelinin tamamına yakın bir bölümünün kullanıldığı dikkate alındığında, yan kollara ve küçük akarsulara doğru kaydırılmalıdır.

Yan kollar ve küçük akarsular üzerinde kurulacak olan Küçük Hidroelektrik Santrallerle elde edilecek olan hidroelektrik enerji, çok büyük değerlerde olmasa da, ülke ve özellikle de bölge ekonomisine önemli bir katkı sağlayacağı kesin olarak bilinmektedir. Bu sebeple bu tip küçük hidroelektrik santrallerin sayılarının arttırılması kaçınılmaz bir durumdur.

Küçük hidroelektrik tesisler, özellikle meteorolojik ve topoğrafik şartları sebebiyle büyük bir potansiyele sahip olan ve bu potansiyeli ise ekonomik olarak kolaylıkla

geliştirilebilecek olan Sakarya Havzasında oldukça kıymetli bir kaynaktır. Bu potansiyelin kullanılmasıyla, çoğu işsiz ve fakir olan kırsal kesimde yaşayan insanların ekonomik durumu önemli ölçüde iyileştirilmiş olacaktır.

Küçük akarsuların üzerlerinde kurulan küçük, mini ve mikro hidroelektrik santraller, büyük barajların ve rezervuarların yapılmasına gerek duymadıklarından pek çok ülkenin kırsal elektrik ihtiyacının karşılanmasında anahtar bir rol üstlenmektedirler. Ülkemizde de küçük akarsuların potansiyellerinin değerlendirilmesine verilecek önemle kırsal kalkınmaya çok büyük faydalar sağlanabilecektir.

Bu amaçla, gerek EİE ve gerekse DSİ tarafından yapılan çalışmaların yanı sıra, bu konuda özel firmaların yaptığı çalışmalar da en üst düzeyde mutlaka desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] BAYAZIT, M., Hidrolojik Modeller, İ.T.Ü. rektörlüğü, İstanbul,1998.
- [2] TOLUK, T., Akarsu Akımlarının Yapay Sinir Ağı Metotları Kullanılarak Modellenmesi, Y. Lisans Tez, SAÜ, Ocak, 2006.
- [3] KARABÖRK, M., KAHYA E., Sakarya Havzasındaki Aylık Akımların Çok Değişkenli Stokastik Modellenmesi, Tr Journal of Engineering and Environmental Science, 23, 133-147, 1998.
- [4] AYDIN, A., Keban Barajına Giren Akımların Modellenmesi, İMO Teknik Dergi, , Yazı 236, 3561-3579, 2005.
- [5] CIGIZOĞLU, H., Incorporation of ARMA Models Into Flow Forecasting by Artificial Neural Networks, Wiley InterScience, Volume14, Issue4, 2003.
- [6] KUMAR, D., RAJU, K., and SATHISH T., River Flow Forecasting Using Recurrent Neural Networks, Water Resources Management, Kluwer Academic Publishers, 18, 143-161, 2004.
- [7] KİŞİ, Ö., River Flow Modelling Using Artificial Neural Networks, Journal of Hydrologic Engineering, Vol 9, No.1, 60-63,january/february, 2004.
- [8] ZEALAND, C., BURN D., SIMONOVIC S., Shortterm Streamflow Forecasting Using Artificial Neural Networks, Journal of Hydrology, 214, 32-48, 1999.
- [9] FIRAT, M., GÜNGÖR, M., Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, İMO Teknik Dergi, Yazı, 219- 3267-3282, 2004.
- [10] IŞIK, S., TOLUK, T., DOĞAN, E., Akarsu Akımlarının Yapay Sinir Ağı Metotları Kullanılarak Modellenmesi, Yedinci Uluslar Arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, YTÜ, İstanbul,11-13 Ekim 2006.
- [11] OĞUL, E., TOMBUL, M., Yağış – Akış İlişkisinin Radyal Tabanlı Sinir Ağı ve İBGY Metodu ile Modellenmesi, Yedinci Uluslar Arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, YTÜ, İstanbul,11-13 Ekim 2006.

- [12] CAN, İ., Karasu'nun Aylık Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Zaman Serisi Modeli, Yedinci Uluslar Arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, YTÜ, İstanbul, 11-13 Ekim 2006.
- [13] DEMİRPENÇE, H., Köprüçay Akımlarının Mevsimlere Göre Değişiminin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2006, Isparta, 25 – 27 Mayıs 2006.
- [14] ALP, M., CIĞIZOĞLU, H.K., Farklı Yapay Sinir Ağı Metotları ile Yağış Akış İlişkisinin Modellenmesi, İTÜ Dergisi/d Mühendislik, Cilt:3, sayı:1, 80-88, İstanbul, Şubat 2004.
- [15] ARMAN, F.A., Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Sorunları, http://www.hesiad.org.tr/hid_pot.htm, Nisan 2008.
- [16] TEİAŞ, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, www.teias.gov.tr, Şubat 2008.
- [17] SERENCAM, U., Doğu Karadeniz Bölgesindeki Küçük Akarsuların Hidroelektrik Potansiyellerinin Analizi, Y.Lisans Tez, SAÜ., Mayıs, 2007.
- [18] TUFAN, M., Özetle Baraj Nedir, DSİ, Ankara, 29,1988.
- [19] EİE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, www.eie.gov.tr, Aralık 2007.
- [20] AKDOĞAR, M., Enerji kaynakları ve Doğu Karadeniz'in hidroelektrik potansiyel dengesi etüdü, Yüksek Lisans Tez, Mayıs, 86, 2006.
- [21] YÜKSEL, İ., Küçük ve Orta Düşülü Hidroelektrik Santrallerinin Projelendirilmesi İçin Sakarya Havzasındaki Akarsuların Hidrolik ve Hidrolojik Özelliklerinin Etüt Edilmesi, BAPK, SAÜ, 2005/5, Sakarya, 2007.
- [22] YURTOĞLU, H., Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, Uzmanlık Tez, DPT, Şubat 2005.
- [23] ŞEN Z., Yapay Sinir Ağı İlkeleri, Su vakfı, İstanbul, 2004.
- [24] ÖZTEMEL E., Yapay Sinir Ağları Papatya yayıncılık, İstanbul, 2003.
- [25] ALP, M., Akarsulardaki Askı Maddesi Miktarının Kara Kutu Modeliyle Belirlenmesi, Doktora Tez, İTÜ, Haziran, 2003.
- [26] YANIK, B., “Doğal Akışlı Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesinde Bölgesel Analiz Yaklaşımı”, Doktora Tez, İTÜ, Ağustos, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Batmanda doğan Meriç ÖNCÜL ilk ve orta öğrenimini Batman'da tamamlayarak 1994 yılında Dicle Üniversitesi Batman M.Y.O elektrik bölümünü kazandı. Bu bölümden 1996 yılında mezun oldu. SEDAŞ ta bir yıl süre ile çalıştıktan sonra, 2001 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği bölümünü kazandı. Bu bölümden 2005 yılında mezun olarak aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi E.A.B.D de yüksek lisans eğitimine başlayan ÖNCÜL, inşaat sektörünün önde gelen firmalarından Alacalı Prefabrik A.Ş' de çalışmaya başladı. Daha sonra elektrik sektöründe üretim yapan özel bir firma ya geçerek iş hayatına burada devam etmektedir. İleri düzeyde bilgisayar ve orta düzeyde İngilizce bilen ÖNCÜL, evli ve bir çocuk babasıdır.