

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNLÜK AKIŞLARDAKİ BOŞLUKLARIN  
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK  
TAMAMLANMASI**

**Mutlu YAŞAR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**DENİZLİ-2004**

**GÜNLÜK AKIŞLARDAKİ BOŞLUKLARIN  
YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK  
TAMAMLANMASI**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarafından Kabul Edilen  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Mutlu YAŞAR**

**Tez Savunma Sınavı Tarihi: 29.07.2004**

**DENİZLİ-2004**

# TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

---

**Prof. Dr. N. Orhan BAYKAN**  
(Yönetici)

---

**Prof. Dr. Ferhat TÜRKMAN**  
(Jüri Üyesi)

---

**Yrd. Doç.Dr. Y.Şazi MURAT**  
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

---

**Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL**  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

# TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasındaki yardım ve katkıları nedeniyle çalışmayı yöneten danışmanım Prof. Dr. N.Orhan BAYKAN'a, ayrıca tez süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen Dr. Betül SAF' a, Yrd. Doç. Dr. Y. Şazi MURAT'a, Yrd. Doç. Dr. Serdar İPLİKÇİ'ye, Yrd. Doç. Dr. Halim CEYLAN'a ve jüri üyeliğiyle beni onurlandıran Prof. Dr. Ferhat TÜRKMAN'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tezin yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı İnş. Müh. Nurcan ULUDAĞ'a, İnş. Yük. Müh. Özgür BAŐKAN'a ve Çev. Yük. Müh. Meltem BİLİCİ'ye, teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca gösterdikleri destek için de Aileme (özellikle babam Seyfullah YAŞAR ve annem Nevin YAŞAR'a) ve müstakbel eşim Canan'a en içten duygularla teşekkür ederim.

**Mutlu YAŞAR**

# ÖZET

Su kaynaklarının planlanmasına yönelik bir çok çalışmada, çevresel kirliliğin, iklimsel değişikliğin ve nüfusun hızla artışının etkisiyle optimum işletim sisteminin oluşturulması gün geçtikçe daha önemli olmaktadır. Planlama ve tasarım aşamasında, mevcut hidrolojik ve meteorolojik verilerin yeterliliği ve güvenilirliği değerlendirilmeli, yeterli veri yoksa, çeşitli kestirim yöntemleri ile bu veriler oluşturulmalıdır.

Mevcut veriyle, hem su kaynakları sistemlerinin davranışlarını tanımlamak hem de ek veri üreterek ileriye dönük kestirimler yapabilmek amacıyla, pek çok model geliştirilmiştir. Bu amaçla 1920'lerden günümüze değin yapılan çok sayıdaki çalışmayla çeşitli yağış akış modelleri oluşturulmuştur. Bu yöntemlerin en yenilerinden birisi sayılabilecek olan Yapay Sinir Ağları yöntemi, yağış-akış modellemesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Hidroelektrik santral tasarımında da akarsu debisinin yıl içindeki değişimini belirlemek için, uzun dönemli veriye ve yağış-akış ilişkisinin oluşturulmasına gereksinim duyulmaktadır. Ancak ülkemizde bu ölçümlerin sürekli olarak yapıldığı akarsular sadece büyük akarsulardır. Küçük debili akarsuların, küçük hidroelektrik santrallerde değerlendirilmesi için çoğu kez boşluklu olan (müteferrik) akışların tamamlanması çok yararlı olmaktadır.

Bu çalışmada, YSA yöntemiyle, Adıyaman Meteoroloji İstasyonu ve Ziyaret Çayı'na ait 1985-1988 yılları arasındaki, akım, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak, yağış-akış ilişkisi oluşturulmuştur. Model çalışmasında sıcaklık ve yağış verileri girdi, akış verileri çıktı olarak gözönüne alınmıştır. Yağışların özgün değerlerinin yerine kübköklerinin kullanılması ile rastgele girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki güçlendirilmiştir. Eğitim aşamasında, 1435 adet verinin 1312'si ile modelleme yapılmıştır. Ağın eğitilmesinden sonra, 123 adetlik veri takımları ile ağ test edildiğinde, gerçek akım değerleriyle benzetim akım değerlerinin arasında % 90 gibi bir uyumluluk olduğu görülmüştür.

# ABSTRACT

The importance of establishing the optimum operating system gradually increases for many of the studies for planning water resources because of the impacts such as environmental pollution, climatic changes and pollution growth. In planning and design stage, the assessment of available information for hydrological and meteorological data should be obtained, and if there are some lacks on the data these can be filled up with the help of some estimation methods.

Up to now, several models have been developed for identifying the behaviour of water resource systems and, generating synthetic data for making future estimates. For this aim, since 1920s, many rainfall-runoff models have been developed. Neural networks for rainfall-runoff modeling, which is the newest one, is used frequently in many fields of hydrology.

Hydroelectric power plant planning requires long-term data and rainfall-runoff relation for determining the annual variations in the discharge of the stream. But in our country, these data are available only for relatively large rivers. For the evaluation of low-discharge rivers with the mini hydroelectric power plants, completing the data of lacking runoff is very essential.

In this study, by using the flow, temperature, and rainfall and flow for Adıyaman Meteorological Station and Ziyaret Creek respectively between the years of 1985-1988, the multiple relation between cited variables has been developed. In the training phase, 1312 of 1435 data have been used for modeling. After the network has been trained, it was tested by data sets with 123 values, and it was seen that, the actual runoff values and simulated runoff values are in consonance very closely about in 90%.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Tez Sınav Sonuç Formu.....	III
Teşekkür.....	IV
Özet.....	V
Yabancı Dilde Özet.....	VI
İçindekiler.....	VII
Şekiller Dizini.....	XI
Çizelgeler Dizini.....	XIII
Simgeler Dizini.....	XIV

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1.1 Genel.....	1
1.2 Amaç.....	2
1.3 Kapsam.....	2
1.4 Önceki Çalışmalar.....	4

## İKİNCİ BÖLÜM

### HİDROELEKTRİK ENERJİ

2.1 Genel.....	9
2.2 Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Hidroelektrik Santrallerin Yararları.....	10
2.2.1 Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli.....	10
2.2.2 Hidroelektrik Santrallerin Yararları.....	12
2.3 Hidroelektrik Sistemlerin Sınıflandırılması.....	14
2.4 Hidroelektrik Sistemlerin Tasarımı.....	19
2.5 Akım Hesapları – Debi Süreklilik Eğrisi.....	20
2.5.1 Genel.....	20
2.5.2 Debi Sürek Eğrisi.....	20

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

# YAĞIŞ – AKIŞ İLİŞKİLERİ

Sayfa

3.1	Yağışın Akışa Dönüşümü.....	27
3.2	Yağış-Akış İlişkileri.....	29
3.3	Yağış-Akış Modellerinin Gelişimi.....	29
3.4	Modelleme İlkeleri.....	34
3.5	Yağış-Akış Model Tipleri.....	35
3.6	Yapay Sinir Ağları Kullanımı.....	37

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

4.1	Giriş.....	41
4.2	Yapay Sinir Ağlarının Tanımı.....	42
4.3	Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları.....	44
4.4	YSA'ların Üstünlükleri.....	45
4.4.1	Doğrusal Olmama.....	45
4.4.2	Öğrenme.....	45
4.4.3	Genelleme Yapma.....	45
4.4.4	Uyarlama.....	46
4.4.5	Veri İşleme.....	46
4.4.6	Yanılıgı ve Gürültüye Karşı Duyarlık ve Hoşgörü.....	46
4.4.7	Donanım.....	47
4.5	Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	47
4.5.1	Genel.....	47
4.5.2	İleri Beslemeli Ağlar.....	47
4.5.3	Geri Beslemeli Ağlar.....	48
4.5.4	Öğrenme Dereceleri.....	49
4.6	Yapay Sinir Ağlarının Başlıca Öğeleri.....	49
4.6.1	Genel.....	49
4.6.2	Ağırlıklandırma Faktörleri.....	50
4.6.3	Toplam İşlevi.....	50
4.6.4	Transfer (Aktivasyon) İşlevi.....	50
4.6.5	Çıkış İşlevi.....	51



4.6.6	Hata İşlevi ve Geriye Yayıma Değeri.....	51
4.6.7	Öğrenme İşlevi.....	51
4.7	Sinir Sistemleri.....	51
4.7.1	Genel.....	51
4.7.2	Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	53
4.7.3	Matematiksel Sinir Yapısı (Nöronun Matematik Modeli).....	54
4.7.3.1	Nöron Dinamiği.....	54
4.7.3.2	Yapay Nöronların Elektronik Çalışması.....	56
4.7.4	Aktivasyon İşlevleri.....	58
4.7.5	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları.....	60
4.7.5.1	Genel.....	60
4.7.5.2	Geri Yayımlı Öğrenme Algoritması.....	61
4.7.5.3	Levenberg- Marquardt Algoritması.....	64

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### VERİLER

5.1	Genel .....	67
5.2	Yağış.....	67
5.3	Sıcaklık.....	68
5.4	Akış.....	69

## ALTINCI BÖLÜM

### GÜNLÜK AKIŞLARDAKİ EKSİK VERİLERİN YSA

### YÖNTEMİYLE TAMAMLANMASI

Sayfa

6.1	Yöntemin Uygulanması.....	71
6.2	Kullanılan Model Yapısı.....	71
6.3	Yapay Sinir Ağına İlişkin Bir Örnek Çözüm.....	76

## **YEDİNCİ BÖLÜM**

### **SONUÇ ve ÖNERİLER**

7.1	Sonuçlar.....	83
7.2	Öneriler.....	85
	Kaynaklar.....	87
	Özgeçmiş.....	97

# ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Hidrolojik çevrim.....	1
Şekil 2.1	Hidroelektrik sistemlerin çalışması-Düşü.....	9
Şekil 2.2	Bir hidroelektrik santralde toplam güç çıkışı ve kayıplar.....	16
Şekil 2.3	Biriktirmeli hidroelektrik güç sistemi.....	17
Şekil 2.4	Biriktirmeli bir hidroelektrik santralın bölümleri.....	17
Şekil 2.5	Biriktirmesiz hidroelektrik güç sistemi.....	18
Şekil 2.6	Biriktirmesiz bir hidroelektrik santralın bölümleri.....	18
Şekil 2.7	Debi süre eğrisi.....	22
Şekil 2.8	Günlük ve aylık akış süre eğrileri.....	24
Şekil 2.9	Akım süre eğrisini aylıktan günlüğe dönüştürülmesi.....	24
Şekil 3.1	Yağış- akış sistemi.....	27
Şekil 4.1	İleri beslemeli ağ.....	48
Şekil 4.2	Geri beslemeli ağ.....	49
Şekil 4.3	Basit bir sinir hücresi.....	52
Şekil 4.4	Sinir sisteminde bilgi akışı.....	53
Şekil 4.5	Temel yapay sinir ağı hücresi.....	54
Şekil 4.6	Nöronun matematik modeli.....	56
Şekil 4.7	İşlem elemanının modeli.....	57
Şekil 4.8	Eşik aktivasyon işlevi.....	58
Şekil 4.9	Doğrusal aktivasyon işlevi.....	58
Şekil 4.10	Logaritma Sigmoid aktivasyon işlevi.....	59
Şekil 4.11	İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı.....	61
Şekil 5.1	Yağış değerleri.....	68
Şekil 5.2	Sıcaklık değerleri.....	69
Şekil 5.3	Akış değerleri.....	70
Şekil 6.1	Model parametreleri.....	71
Şekil 6.2	Matlab programına veri girişi.....	74
Şekil 6.3	Test girdisi değerlerinin test çıktı değerleri ile karşılaştırılması.....	75

Şekil 6.4	Gerçek benzetim kıyaslaması.....	75
Şekil 6.5	Örnek için sinir ağ mimarisi.....	76
Şekil 6.6	YSA' da örnek bir iterasyon için işlem sırası.....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Birim yatırım maliyetleri.....	11
Çizelge 5.1	Adıyaman bölgesi gün, sıcaklık, yağış, akım verisine ait istatistik parametre değerleri.....	67
Çizelge 6.1	01.Ekim.1988-25.Ekim.1988 arasındaki tamamlanan eksik veriler....	82

# SİMGELER DİZİNİ

$\theta$	: Eşik değeri
$\mu$	: Momentum katsayısı
$\eta$	: Öğrenme derecesi
$\sigma$	: varyans
$\nabla_w$	: Ağırlık matrisine göre kısmi türev
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
BE	: Bileşik Eğitim Metodu
c	: Gauss merkezci taban fonksiyonlu sinir ağında merkez
$c_{sx}$	: Çarpıklık katsayısı
$d_i$	: Arzu edilen çıkış değeri
DMİ	: Devlet Meteoroloji İstasyonları
DSİ	: Devlet Su İşleri
e	: Hata ölçütü
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GGYSA	: Geçici Geri Yayımlı Sinir Ağı
GRSA	: Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GYA	: Geri Yayımlı Algoritması
GZYÖA	: Gerçek Zamanlı Yinelemeli Öğrenme Algoritması
İBGY	: İleri Beslemeli Geriye Yayımlı Metodu
İE	: İşlemci Elemanlar
$J_r$	: Maliyet fonksiyonu
KÜHES	: Küçük Düşülü Hidroelektrik Santral
LM	: Levenberg-Manquardt
MLP	: Multilayered Perceptrons
$n_k$	: Nöron sayısı
$o_i$	: Sinir ağının üretmiş olduğu çıkış değeri
$o_p$	: Geri beslemeli sinir ağında (p) adet gecikmiş çıkış değeri

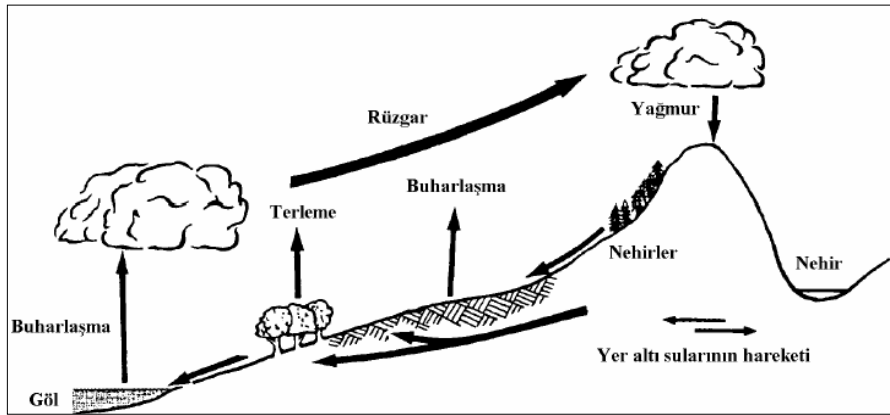
Q	: Debi
S	: Toplam fonksiyonu
SCS	: Soil Conservation Service
SGYA	: Standart Geri Yayınım Algoritması
SHE	: System Hydrologique European
$S_x$	: Standart sapma
$u_i$	: Giriş fonksiyonu
$w_i$	: Ağırlıklandırma faktörü
YSA	: Yapay Sinir Ağları
$\psi(S)$	: Aktivasyon fonksiyonu
$\psi'(S)$	: Aktivasyon fonksiyonunun türevi
$\Phi$	: Maliyet fonksiyonu

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1 Genel

Enerji kaynaklarının neredeyse tümü, güneş ışınımının maddeler üstündeki fiziksel ve kimyasal etkisinin bir sonucudur. Hidrolik enerji de güneş ışınımından, hidrolojik çevrim aracılığıyla dolaylı olarak oluşan bir enerji kaynağıdır. Deniz, göl veya akarsulardaki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgarın etkisiyle de sürüklenerek dağların yamaçlarında yağmur yada kar biçiminde yeryüzüne ulaşmakta ve akarsuları beslemektedir. Bunun yanı sıra, yeraltına sızan suyun bir kısmı da yeraltı suyunu oluşturmakta ve yüzeysel suyu beslemektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Hidrolojik çevrim (kimyamuhendisi.com)

Hayatın başlangıcından bu yana insanlık, suya duyulan gereksinim nedeniyle, suyu kullanmak ve kontrol altına alma kapsamında, “su” kavramı ile ilgilenmiş; suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten yasaları saptamaya, sudan yararlanmanın değişik yollarını belirlemeye ve yaratabileceği olası zararlardan korunmaya çalışmıştır. Günümüzde hızla artan nüfus ve gittikçe zorlaşan çevre koşullarına bağlı olarak suyun korunması ve optimum şekilde işletilmesi, gün geçtikçe daha büyük önem kazanmaktadır.

Suyun miktarı ve özellikleri ile ilgili verileri sağlamak Hidroloji biliminin alanı içine girer. Hidrolojik çalışmaların güçlülüğü raslansal özellikteki yağış olaylarındaki belirsizlikten



kaynaklanmaktadır. Suyun zamansal ve konumsal açıdan homojen olmaması nedeniyle önceden kestirilmesi güç olan belirsizlikler içermektedir. Bundan ötürü, “su” beklenmeyen zararlar verebileceği gibi, denetim altına alınabildiği takdirde, ekonomik ve toplumsal açıdan sürekli olarak artan ölçülerde yararlar sağlayabilecektir.

## **1.2 Amaç**

Bu tez çalışmasının temel amacı, Küçük Düşülü Hidroelektrik Santrallerin (KÜHES) tasarımında temel girdiyi oluşturan akış değerlerindeki boşlukları, yeni bir yöntem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle doldurmaktır.

Su yapılarının projelendirilmesi aşamasında ilk adım; gelmesi beklenen suyun kestirilmesidir. Bu kestirim yapılırken önceki dönemlere ait akışın mevcut olması, elde edilecek tahminlerin doğru ve güvenilir olması açısından oldukça önemlidir. Ancak genellikle ana akarsu kolları ve yan kollar üzerindeki akım gözlem istasyonlarının az sayıda veya hiç olmaması durumuyla sıklıkla karşılaşılır. Bu durum küçük düşülü hidroelektrik santral tasarımında da önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Bu sorun ancak uzun dönemli ölçüm sonuçlarına sahip Devlet Meteoroloji İstasyonlarına ait hidrolojik ve meteorolojik verilerin sağlanmasıyla çözümlenebilir. Böylelikle KÜHES’lerin tasarımı da güvenilir ve ekonomik çözümlerle yapılabilir.

Suyla ilgili çalışmalar yapılırken bilinen çeşitli bilimsel yöntemlerin kullanılması, doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

## **1.3 Kapsam**

Bu tez çalışması kapsamında yağış akış ilişkisi; yağışın akışa dönüşümü, yağış akış modellerinin gelişimi ve modelleme ilkeleri, ve son dönem yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ile bu dönüşümün ne oranda tespit edilebileceği araştırılmıştır.

YSA içinde yer alan “İleri Beslemeli Sinir Ağında Geriye Yayınım Yöntemi” kullanılarak mevcut yağış, sıcaklık ve anılan zamandan bir önceki günün akış değerinin olması durumunda bir sonraki günün akışı kestirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma yapılırken, öncelikle yağış ve

akış arasındaki ilişki regresyon çözümlemesiyle değerlendirilmiş, yağış ve akış arasındaki bağımlılığın yağışın küpkökünün alınması durumunda daha kuvvetli olduğu sonucu elde edilmiştir.

Su kaynakları tasarımında, yağış-akış ilişkisinin doğadaki gerçek durumu tam olarak yansıtabilecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Yağış-akış ilişkisinin geliştirilmesiyle ilgili çok sayıda araştırmada herhangi bir havza için farklı durum için kümeler oluşturulmaktadır. Bununla beraber bu yöntemler bilinen yağış değerlerinde, akımın hesaplanmasında etkin olan değişkenleri kullanma zorunluluğu gerektirmektedirler.

19. yüzyılın ikinci yarısında kentlerin kanalizasyon tasarımı, drenaj sistemlerinin düzenlenmesi ve dolusavak hazne tasarımlarında gerekli olan tasarım debisinin hesaplanmasına duyulan gereksinim nedeniyle ortaya çıkan yağış-akış modellerinde öncelikle yağış akış arasındaki ilişki basit bir şekilde irdelenmektedir. Daha sonraları sadece tek bir hidrolojik tahmin yerine yağış-akış ilişkisinin tanımlanmasında etkin olan hidrolojik çevrim elemanlarının da değerlendirilmelerinin gerekliliği ve bunun yanısıra matematik ve teknoloji ile ilgili gelişmelerin artmasına paralel olarak gelişmiş yağış-akış modelleri elde edilmiştir.

Yağış-akış modellerin oluşturulmaları sırasında model için gerekli verinin toplanması zordur. Ayrıca, bu tip modeller için verinin kalibrasyonu ve geçerliliğinin sınanması da gerekmektedir. Eskiden beri kullanılagelen yağış-akış modelleri ampirik kara-kutu modelleri, anlık kavramsal modeller ve fiziksel temelli modeller olmak üzere üç gruba ayrılabilirler. Pratikte en çok kullanılan yağış-akış modelleri ilk iki kategorideki modellerdir.

Ampirik kara kutu modelleri, yağışın akışa dönüşümünde yer alan fiziksel süreçleri açık bir şekilde ifade edememektedir. Bu tip modellerin geliştirilmesi ve kalibrasyonunda, çalışılan bölge dışında çok iyi sonuçlar verdiğine inanılmamaktadır. Kavramsal yağış-akış modelleri, hidrolojik çevrimi yöneten giriş alt süreçleri ve fiziksel mekanizmalarla yaklaşık olarak tasarımılandırılmaktadır. Bu modeller genellikle basitleştirilmiş fiziksel kanunlarla lineer olmayan, zamanda değişken ve deterministik havza özellikleri gösteren parametreleri birleştirir. Bu gibi modeller yağış-akış süreçlerinin alansal dağılım, zamanla değişen ve rastlansal özelliklerini yok saymaktadır. Fiziksel tabanlı yağış-akış modellerin araştırması günümüzde sıklıkla daha çok kullanılmaktadırlar. Bu modeller birleşik hidrolojik süreçlerin fiziksel yapılarını anlamaya yöneliktirler. Bu tip modellerde oldukça kapsamlı veriye ihtiyaç

vardır. Ampirik kara kutu ve kavramsal yağış akış modelleri genelde yalnızca yağış akış çalışmalarına yönelik değil aynı zamanda tek bir yağış-akış kavramından çok daha önemli olan erozyon, yüzey üstü ve yüzey altı sularıyla ilgili bilgileri de kullanırlar. Fiziksel modelleri kullanarak belirli bir nehir havzasının akımlarının modellenmesinde ise yeterli doğruluğa sahip uygun verinin elde edilmesi kavramı önem kazanmıştır.

Son yıllarda; akım bilgi süreçlerinin yüksek oranda doğrusal olmayan özellik göstermeleri, zamanla değişim göstermeleri ve konumsal dağılımlı olmalarına bağlı olarak basit modellerle kolaylıkla tanımlanamayacaklarına inanıldığından, sadece temel hidrometeorolojik veri kullanarak modelleme yapabilen yeni bir yöntem, yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. YSA, pek çok farklı sürecin elementlerinden elde edilen, lineer olmayan öğrenme mekanizmasına sahiptir. Yapay sinir ağları, önceden tahmin yapılmasını gerektiren durumlarda uygun bir şekilde sıklıkla kullanılmaktadır.

## 1.4 Önceki Çalışmalar

Ülkemizde akım ölçümleriyle ilgili çalışmalar 1960 larda başlamış ve bu görevi Devlet Su İşleri ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi üstlenmiştir. Bu kurumlar, daha çok büyük akarsuları besleyen ana kollara istasyonlar tesis etmişlerdir. Ancak; çeşitli nedenlerden dolayı yapılan ölçümler süreklilik arz etmemektedir. Örneğin bu tez çalışması kapsamında incelenen 21-189 nolu istasyonda yalnızca 01.12.1983 tarihinden bu yana ölçümler yapılmıştır. Günlük akış verileri son 21 yıllık olmasına rağmen, yalnızca 1985, 1986, 1987, 1988 yıllarındaki kayıtlar tamdır. Diğer yıllarda ise bir yılda okunan sadece birkaç değer bulunmaktadır. Bu ise Hidroelektrik Santral (HES) tasarımı çalışmalarını (İkinci Bölüm'de tasarım aşaması açıklanacaktır) zorlaştırmaktadır. Çünkü planlama aşamasında belirlenmesi gereken ilk bilgi uzun dönemli kayıtları bulunan verilere dayanan akım süreklilik eğrisinin oluşturulmasıdır.

Bir havzada yağıştan akışa geçiş sürecinin fiziksel yönleri ile daha iyi bir şekilde tanımlanabilmesi için parametrik (çok bileşenli, kavramsal) modeller geliştirilmiş ve bilgisayar programları hazırlanmıştır. Bu modellerde, akarsu havzası, biriktirme sistemleri ve bunların arasındaki ilişkiler kurulmaktadır. Biriktirme sistemlerine süreklilik denklemlerinin uygulanması ile model çalıştırılır. Havzaya düşen yağış, kayıplar çıkartıldıktan sonra, yüzeysel biriktirme sistemine girer. Bu sistem, yağışı akarsu ağına ulaştıran havzadaki su

yollarından ve akarsu ağından oluşur. Yüzealtındaki gecikmesiz biriktirme sistemi de bunlara katılır. Bazı modellerde havzadaki kar örtüsünün erimesiyle oluşan akış da göz önüne alınır.

Parametrik modeller, özellikle kapalı kutu modellerinin kullanılmadığı, havza özelliklerinin değiştirilmesi durumunda oluşabilecek etkilerin incelenmesi istenilen durumlarda yararlı olur. Ancak bunun için de modelin parametrelerinin havza üzerindeki değişimini hesaba katmak gerekebilir (yayıllı model). Modelde havza sistemi ne kadar çok sayıda elemana ayrılırsa o ölçüde ayrıntılı bir model geliştirilmiş olur. Ancak böyle bir modelde kalibrasyon için gerekli veri miktarı artacaktır. Kullanılacak modelin ölçeği eldeki verilere bağlı olarak seçilmelidir. Pratikte çoğu zaman parametrelerin havza üzerinde sabit kaldığı kabul edilen toplu modelleri kullanmak gerekir (Bayazit,1997).

Geçmişteki bir zaman serisinden yararlanarak, gelecekte o olayın belirli bir zaman süresince alabileceği tüm olası durumlar benzeşim yolu ile yapılabilir. Bunun için, istatistik özellikleri geçmiş kayıtlardan farklı olmayan sentetik yağış ve akış serilerinin türetilmesi yoluna gidilmiştir. Su kaynakları tasarım çalışmalarında bu tür çalışmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Önceleri modelleme ve benzeşim sırasında, basit Gaussian (normal) dağılımlı bağımsız süreçlerle aritmetik ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayısı gibi basit istatistik parametreler kullanılmıştır. Daha sonra ise, geçmişteki zaman serilerinin bünyelerinde bulunan içsel bağımlılıkları da içeren, değişik mertebelerden regresif veya hareketli ortalamalara sahip Markov ve ARMA gibi modeller kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür süreçlerin başlıca dezavantajları arasında kısa süreli bağımlılığı korumaları, doğrusal olmaları, benzeşim ve modelleme çalışmalarında yağış ve akış serilerinin normal dağılımlı olması gibi durumlar bulunmaktadır. Stokastik süreçlerin bu dezavantajları nedeniyle, çalışılan gözlem dizisinin içsel yapısında bulunan gizli olabilecek periyodiklik, uzun süreli bağımlılık ve özellikle de dağılımın simetriden uzaklaşarak çarpık tipe dönüşme durumlarını sentetik zaman serilerinde korumak ya mümkün olmamakta yada ancak belirli bir yaklaşımla sağlanabilmektedir. Doğrusal stokastik süreçlerin bir eksikliği de Hurst olayı diye bilinen uzun süreli bağımlılığın ifadesi olan katsayı ve baskınlığın yeterince modellenememesidir. Bu durumda, doğrusal stokastik süreçlerle modellenen sentetik zaman serileri, daima daha küçük tahminler vermişlerdir. Kısaca, hangi stokastik süreç olursa olsun mutlaka onun geçerliliği için bazı istatistiksel veya matematiksel kabuller vardır ve bunlar genelde doğal olayın zamansal veya konumsal davranışlarını tam anlamıyla simgeleyemeyebilir. Bu tür

varsayımların hiç olmadığı veya en aza indirgenmiş modelleme tekniklerinin geliştirilerek yapay zaman serileri veya kısa süreli kestirimlerin yapılması istenen ve amaçlanan bir durumdur.

İşte bu noktada, hiç istatistiksel varsayımı bulunmayan ve son zamanlarda yalnızca kontrol mühendisliğinde değil, değişik meteorolojik ve hidrolojik olaylarla ilgili konularda bile kullanılmaya başlanan yapay sinir ağları önem kazanmaktadır.

Yapay sinir ağları (YSA), günümüzde biyolojik sinir sistemi ile ilgili olarak bilinen bazı bulguların ayrıntılarının yok sayılarak teknoloji ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygulanmasından başka bir şey değildir. YSA birbiri ile koşut iletişim içinde bulunan tabakalara sahip olan ve her bir tabakasında yeterli sayıda sinir hücresi bulunan bir sistemden oluşmaktadır. Bu tabakalar ve onların hücreleri arasındaki oldukça karmaşık sayılabilecek iletişimler ise incelenen olayın yapısına göre belirlenen ağırlık katsayıları aracılığıyla sağlanmaktadır. Lippman (1987) tarafından belirtildiği üzere YSA' da modelleme ölçütü olarak genellikle yanılığın geriye yayılması ilkesi kullanılmaktadır. Yukarıdaki tanımı ile YSA'daki tabakalarda her bir tabakadaki hücreler ve bunların bir tabakadan diğerine bilgi ileten bağlantıları sanki bir bilgi ağı meydana getirir. Bu ağdaki koşut tabakalar ile bunları oluşturan hücreler ve aralarındaki ardışık bağlantıları sağlayan iletişim yolları bulunur. Örneğin bu biçimde üç tabakalı bir YSA mimarisi gösterilmiştir. Burada birbirine koşut üç tabaka belli sayılardaki hücreleri içerir ve bu tabakalardan her biri x, y ve z indisleri ile gösterilmiştir. Genel olarak bunlardan x tabakasına "Giriş", y tabakasına "ara", z tabakasına ise "Çıkış" tabakası adı verilir. Burada "kara kutu" modellerine benzetme ile, giriş tabakası, çıkışların oluşmasını sağlayan başlangıç bilgilerini; ara tabaka ise, bunların çıkış bağlantılarını ayarlayan sürecin iç kısımlarını; çıkış ise istenilen bilgiyi,kestirimler biçiminde veya yapay değerler olarak planlayıcıya veren tabaka olarak zihinde canlandırılabilirler.

Buradaki ağda, ardışık tabakalar arasındaki ağırlıklı bağlantılar W ve V ile gösterilmiştir. Böyle bir ağda giriş değerleri ile çıkış değerleri bilinmekle birlikte, YSA'daki ağırlık katsayıları eğitilerek, bu giriş ve çıkışlara uygun olan iç yapı, ardışık yaklaşımlarla geliştirilmektedir. YSA mimarisi tarafından yanılığın enküçük olacak biçimde yapıldıktan sonra, artık eğitilmiş olan ve kestirimlere hazır bulunan mimari ile gelecek değerlerin bulunması yoluna gidilir. Genel olarak kullanılan yöntem Rumelhart ve diğerleri (1986) tarafından geliştirilmiş olan "Genelleştirilmiş Delta Kuralı" ile yapılmaktadır.

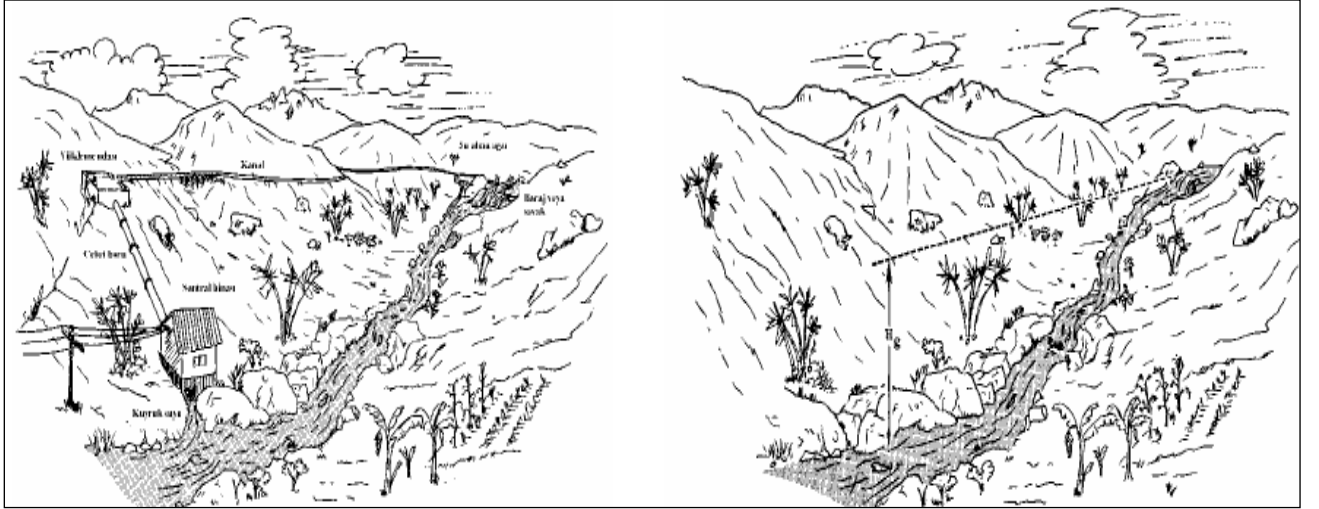
Yapay bir zeka yöntemi olan yapay sinir ağıları (YSA) da son yıllarda sıkça kullanılan bir “kara kutu” modelidir. YSA’ nın, su kaynaklarında sıkça karşılaşılan değişik sorunlara uygulanması ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Doğrusal olmayan YSA yaklaşımının yağış-akış ilişkisini iyi bir biçimde simgelediği gösterilmiştir. (Hsu vd., 1995; Mason vd., 1996; Minns ve Hall, 1996; Fernando ve Jayawerdana, 1998). Tokar ve Johnson (1999) YSA teknolojisini, günlük yağış sıcaklık ve kar erimesi verilerini, günlük akımların; işlevi olarak kestiriminde kullanmışlardır. Campolo ve diğerleri (1999a, b) YSA’ nı sağnak yağış ve düşük akım süreçlerinde kullanmışlardır. YSA aynı zamanda değişik yeraltı suyu sorunlarında da kullanılmıştır (Ranjithan ve diğ., 1993; Rogers ve Dowla, 1994) Raman ve Sunilkumar (1995). YSA’nın hazne tasarımında yapay akım serileri türetilmesinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Boogaard ve diğerleri (1998) otoregresif sinir ağılarını geliştirerek, zaman serilerinin doğrusal olmayan çözümlemesine ve modellenmesine YSA’yı uygulamışlardır. YSA ayrıca birim hidrograf elde edilmesinde (Lange, 1998), bölgesel taşkın sıklık çözümlemesinde (Hall ve Minns, 1998), kanalizasyon akımlarının tahmininde (Djebbar ve Alila, 1998) olumlu sonuçlar vermiştir. Cıgızoğlu (2002a, 2002b) bu yöntemi sürüntü maddesi konsantrasyonu kestirimi sorununa uygulanmıştır. İleri beslemeli geriye yayılım algoritmasının akım serisi kestirimlerinde klasik istatistik ve stokastik modellere oranla daha başarılı olduğu gösterilmiştir (Brikundavyi ve diğ., 2002; Cıgızoğlu 2003a, 2003b).

## İKİNCİ BÖLÜM

# HİDROELEKTRİK ENERJİ

### 2.1 Genel

Hidrolik enerji güneş ışınımından, hidrolojik çevrim aracılığıyla dolaylı olarak oluşan bir enerji kaynağıdır. Hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı biçiminde karşımıza çıkmaktadır. Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır. Hidroelektrik sistemlerde su, bir cebri boru yada kanal yardımıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilmekte; türbinlere bağlı jeneratörlerin dönmesi ile elektrik enerjisi üretilmektedir (Şekil 2.1). Türbinden elde edilen güç, suyun düşü (üst ve alt kotlar arasındaki düşey uzaklık) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Hidroelektrik sistemlerin çalışması-Düşü (kimyamuhendisi.com)

## 2.2 Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Hidroelektrik Santrallerin Yararları

### 2.2.1 Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli

Türkiye'nin yağış rejimi zaman ve yer bakımından oldukça düzensiz ve dengesizdir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak yağış her yıl önemli ölçüde değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak hidroelektrik üretimin de yıllara göre farklılıklar göstermesi kaçınılmazdır. Uzun yılları kapsayan meteorolojik gözlemlere göre yılda ortalama 643 mm olan yağışlar, 501 hm<sup>3</sup> suya karşılık gelmektedir. Bu ortalama değer, ancak 186 hm<sup>3</sup>'nün çeşitli büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere doğru akışa geçtiği varsayılmaktadır. Bugünkü araştırmalara göre, akarsularımızın düzenlenmesi ve en fazla girdinin sağlanabilmesi için 702 adet barajın inşa edilmesi gerekmektedir [TÜBİTAK-TTGV]. Topografyası ve morfolojik yapısı gözönüne alındığında, ülkemiz hem düşü hem de debi açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin mevcut kaynak potansiyeline göz atmadan önce, HES tasarımıyla ilgili teknik ve ekonomik yapılabirlik, brüt ve teknik potansiyel gibi bazı kavramların açıklanması yerinde olacaktır.

1. **Teknik yapılabirlik:** Teknik açıdan söz konusu projenin gerçekleşmesine engel oluşturacak düzeyde herhangi bir mühendislik sorununun olmaması durumudur.
2. **Ekonomik yapılabirlik:** Bir projenin toplam yıllık gelirinin toplam yıllık giderinden fazla olması halidir. Türkiye'deki hidroelektrik kaynak varlığını üç kısımda incelemek gerekir.
3. **Brüt potansiyel:** Ülkemizde mevcut hidroelektrik kaynakların üretim potansiyelinin teknik ve ekonomik yapılabirlik koşulları göz önüne alınmadan, kuramsal olarak mevcut tüm düşü ve ortalama debi kullanılarak hesaplanmasıdır. Türkiye'nin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 430 milyar KWh dolayındadır.
4. **Teknik potansiyel:** Ekonomik olarak yapılabirlik koşulu gözönüne alınmadan, ülkenin hidroelektrik kaynaklarından "Teknik yapılabirlik" olanlarının tümünün değerlendirilmesi durumunda ulaşılabir üretim miktarıdır. Ülkemizin teknik hidroelektrik potansiyeli 215 milyar KWh mertebesindedir.



5. Teknik ve ekonomik potansiyel : Ülkenin brüt hidroelektrik potansiyelinin hem "teknik" hem de "ekonomik" olarak değerlendirilebilir bölümüdür. Yıllık farklılıklar göstermekle birlikte bugün için Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli 124,5 milyar KWh' dir. 1997 yılı başı itibarı ile mevcut duruma bir göz atıldığında, Türkiye'de 124,5 milyar KWh olarak bulunmuş olan teknik ve ekonomik potansiyelin şimdiye kadar yalnızca 36,341 milyar KWh'lık bölümünün kullanıldığı görülmektedir. Gelişmiş olan ülkelerin bir çoğunda bu potansiyelin büyük bir bölümünün değerlendirilmiş olmasına karşın, Türkiye'de işletmeye açılmış tesislerle, söz konusu potansiyelin ancak % 29'luk bölümü hizmete açılmış durumdadır.

Ülkemizde gerçekleşme oranının istenen düzeyde olmamasının başlıca nedeni, hidroelektrik santral projelerinin ilk yatırım maliyetlerinin diğer kaynaklara göre oldukça yüksek olmasıdır. Dünyada hidroelektrik üretim 1925 yılında 78,7 TWh iken, 2000 yılında 4000 TWh'e yaklaşmıştır. 2000 yılında hidroelektrik üretimin toplam enerji üretimi ve birincil enerji üretimindeki payının sırasıyla %14 ve %5,5 olduğu kestirilmiştir. Hidroelektrik enerji için ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve inşaa süresinin uzunluğu olumsuz etmenler olarak ileri sürülmektedir. 1995 yılı sonu itibarı ile tesislerin birim yatırım maliyetleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Birim yatırım maliyetleri

Birim yatırım maliyeti	\$/KW
Doğal gaz santralleri	680 \$/KW
Linyit santralleri	1450 \$/kW
İthal kömür santralleri	1600 \$/kW
Hidrolik santraller	1200 \$/kW
Nükleer santraller	1800-2700 \$/kW

Görüldüğü üzere, yalnızca doğal gaz santralleri hidroelektrik santral maliyetinden daha ucuzdur. Hidroelektrik santrallerin inşaa süreleri uzun olmasına karşılık ekonomik ömürleri termik santrallerden daha uzundur. Kömür yakıtlı santraller ile kombine çevrimli santrallerin ömürleri 25 yıl iken, baraj ve hidroelektrik santrallerin ekonomik hizmet süresi 40-50 yıl dolayındadır. Bu değerler yapılabirlik çalışması değerleridir. Bazı rehabilitasyon çalışmaları

ile hidroelektrik santrallerin ömürleri 75-100 yıla çıkartılabilmektedir. Ayrıca termik santraller doğal kaynakları tüketir. Buna karşılık hidrolik potansiyelin gelişmesi ile barajlarda oluşan yapay göller aracılığıyla ortamda oluşan buharlaşma havzının daha fazla yağış almasına yol açarak kaynak artırıcı olarak işlev görür. Hidroelektrik santrallerin teknik bazda en büyük avantajı diğer santrallere oranla (özellikle zirve saatlerde) çok çabuk devreye girme özelliğidir. Gerçekten bir hidroelektrik santralin ani istem durumunda devreye girmesi için sadece birkaç saniyeye gereksinim varken, bu süre termik santraller için birkaç saati bulmaktadır. Türkiye'nin en fazla kullanılan seçeneysel enerji kaynağı olmasına karşın, potansiyelin ancak %29'luk kısmı devrededir. Türkiye'nin geliştirilen projelere göre öngörülen ekonomik hidroelektrik potansiyeli 125 milyar KWh/yıl dır. Bu potansiyelin 1997 yılına kadar ancak % 29'u (36 milyar kWh/yıl) üretilebilmiştir.

### 2.2.2 Hidroelektrik Santrallerin Yararları

Hidroelektrik santrallerin, ekonomik, çevresel, sosyal ve stratejik olmak üzere üç ana yararı bulunmaktadır. Bunlar aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Ekonomik:

- Yatırım bedelinin büyük bir kısmını (%70-80) yurtiçi harcamalar oluşturur. Bu ulusal ekonomiye ve Gayrisafi Milli Hasılaya (GSMH) anlamlı ve pozitif katkı demektir.
- Yatırımda dışa bağımlılık ve döviz harcaması en alt düzeydedir. Dışalıklı ekipman ve hizmet bedelleri yatırımın çok küçük bir kısmını oluşturur ve hidroelektrik santrallerde diğer tüm santrallerden çok daha az yabancı kaynağa gereksinim vardır.
- Hidroelektrik santrallerin ekonomik ömrü diğer tip santrallerden çok daha uzundur (75 yıl). Bu ilk dönemden sonra, çok küçük bir yatırımla (200-400 \$/kW), elektromekanik ekipman tümüyle değiştirilip ikinci, üçüncü, dördüncü 75 yıllık dönemlerde elektrik üretmeyi sürdürebilmektedir.
- İşletme gideri en düşük santral tipidir ve herhangi bir yakıt gideri yoktur.
- Ucuz elektrik üreterek rekabetçi elektrik piyasasının oluşmasına en büyük katkısı sağlar.
- İşletilmesi kolaydır ve esnekler. Gereksinilen tüm malzeme ve hizmetler yerli piyasadan sağlanabilir.
- Enterkonnekte sistemde yük dengelenmesi ve frekans düzenlemesi gibi yaşamsal önemi olan işlevleri de vardır.

- Yeşil enerji olduğu için AB ülkelerine dışsatımı da kolaydır. Buna ek olarak, barajlardaki biriktirme kapasitesi, elektriğin doruk istem saatlerinde dışsatım olanağı sağlar.

#### Çevresel:

- Hidroelektrik santraller çevre dostudur. Herhangi bir sera gazı emilimi yoktur. Kullandığı bir yakıt olmadığı için başka bir kirliliğe de yol açmazlar. Üretilen her KWh elektrik için kombine çevrim santralleri 0,215 m<sup>3</sup> doğalgaz, ithal kömür santralleri 0,45 kg kömür tüketir. Termik santrallerin ürettiği beher KWh başına atmosfere toplam 1,35 kg dolayında sera gazı (CO<sub>2</sub> ve diğerleri) yaydığı bilinmektedir. Türkiye'nin hidroelektrik kapasitesi olan yıllık 190 milyar KWh elektrik için, dışalım yakıtlı termik santrallerde üretilirse, her yıl 41 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz yada 86 milyon ton dışalım kömür tüketilmesi gerekecektir. Bunun yol açacağı yıllık sera gazı emilimi de yaklaşık 257 milyon ton olacaktır.
- Akarsularda oluşan erozyonun önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Türkiye'de akarsu eğimleri fazla olduğu için, su erozyonu ciddi bir tehlikedir. Hidroelektrik santraller için yapılan barajlar ve bentlerin suyun hızını keserek erozyonun durdurulmasında önemli işlevleri bulunmaktadır.
- Baraj santrallerinin sağladığı bir başka ve çok önemli avantaj da, nehiriçi santralleri, rüzgar santralleri, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha güvenilir biçimde hizmet vermelerini sağlamaktadır. Bu tür akarsu akımlarına, rüzgara yada güneşe bağlı olarak zaman zaman üretimini durdurmak zorunda olan ve bu nedenle güvenilir bulunmayan enerji üretim kaynakları için “dengeleme-tamponlama” veya “yedekleme” görevi yaparak, bir anlamda onlar için enerji biriktirme işlevini üstlenip, daha verimli çalışmalarını sağlar.

#### Sosyal ve Stratejik:

- Enerji biriktirme yeteneği vardır. Mevcut barajlarımızda 6 aylık elektrik üretimini depolayacak kapasite bulunmaktadır.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltır. Hidroelektrik santraller, suyun yalnızca düşüşünü kullanarak elektrik üretirken suyu tüketmez ve dışa bağımlılığı da yoktur.
- Yöre halkına iş olanağı, balıkçılık, sulu tarım, su sporları, taşımacılık, mal ve hizmet satılması gibi sosyal ve ekonomik yararlar sağlar.

## 2.3 Hidroelektrik Sistemlerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik güç sistemleri genel anlamda dört sınıfa ayrılabilir.

**a) Büyük ölçekli hidroelektrik sistemler:** Bu sistemlerinin gücü 50 MW'ın üstündedir. 1 MW'lık bir güç yaklaşık 20.000 elektrik lambasının gereksindiği olan enerjiyi üretir. 1 KW'lık bir güç ise 4 lambalı (50 Watt'lık) 5 evin aydınlanması için gerekli olan enerjiyi verir. 50 MW'lık bir güç 250.000 evin aydınlanma gereksinmesini karşılar.

**b) Küçük ölçekli hidroelektrik sistemler:** Güç bölgeleri 10-50 MW arasındadır.

**c) Mini ölçekli hidroelektrik sistemler:** Bu sistemler ulusal enerji şebekesine daha az katkıda bulunurlar. Bunlar 101 KW ile 10.000 KW arasındaki güç bölgesinde çalışırlar.

**d) Mikro ölçekli hidroelektrik sistemler:** Mikro hidroelektrik sistemler çok daha küçük ölçekte olurlar ve ulusal enerji şebekesine elektrik enerjisi sağlamazlar. Ana yerleşim bölgelerinden uzaktaki alanlarda, yani ulusal enerji şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde kullanılır. Güçleri, genellikle sadece bir yerleşim yeri yada çiftlik için yeterlidir. Güç bölgeleri, 200 Watt'tan başlayarak bir grup evin yada çiftliğin yeterli aydınlanma, pişirme ve ısınma enerjisini sağlayacak biçimde 100 KW'a kadar çıkabilir. Küçük fabrikaların yada balık çiftliklerinin enerji gereksinmesini karşılayacak biçimde ve ulusal enerji sisteminin bir parçası olmaksızın çalışabilir.

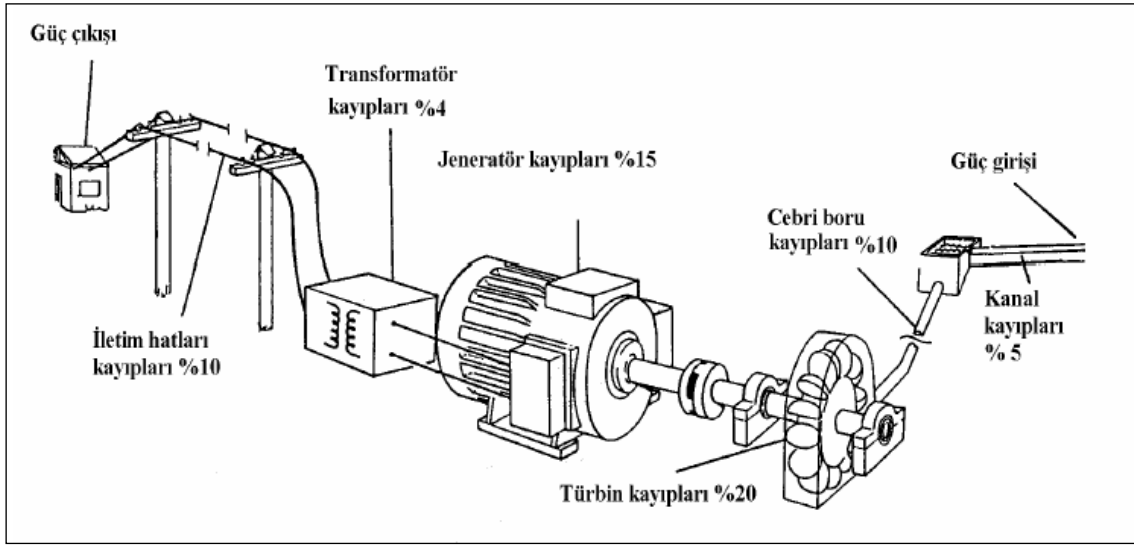
Enerji literatüründe büyük hidroelektrik enerji, klasik yenilenebilir kaynak grubunda ele alınırken; mini ve mikro hidroelektrik enerji yeni ve yenilenebilir kaynaklar grubuna sokulmaktadır. 101 KW-10 MW arasındaki hidroelektrik enerji, mini hidroelektrik enerji olarak varsayılmaktadır.

Mini hidroelektrik sistemler çeşitli biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Düşüye göre yapılan sınıflandırmada; 2-20 m alçak düşü, 20-150 m orta düşü ve 150 m ve yukarısı yüksek düşü olarak kabul edilmekte; genellikle birim maliyetinin düşük olması nedeniyle orta ve yüksek düşü sistemlerin yapılmasına gidilmektedir. Düşü, debi ve güç arasındaki bağıntı aşağıda verilmektedir:

$$P_e = \rho g Q H_0 \eta_{\text{türbin}} \quad (2.1)$$

Burada  $P_e$ , türbin milinden alınan gücü (W),  $\rho$  suyun yoğunluğunu( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  yerçekimi ivmesini,  $H_o$ (m), net düşüyü (giriş ağız ile kuyruk suyu arasındaki kot farkından toplam düşü kayıplarını çıkartarak bulunur),  $Q$ , türbine gelen debiyi,  $\eta_g$ , genel verimi göstermektedir. Bir hidroelektrik güç sisteminde toplam güç çıkışı ve kayıpların oluşumu aşağıda verilmiştir (Şekil 2.2):

$$\text{Güç çıkışı} = \eta_{\text{inşaat}} \times \eta_{\text{cebri boru}} \times \eta_{\text{türbin}} \times \eta_{\text{jeneratör}} \times \eta_{\text{transformatör}} \times \eta_{\text{nakil hattı}} \times \text{Güç girişi} \quad (2.2)$$



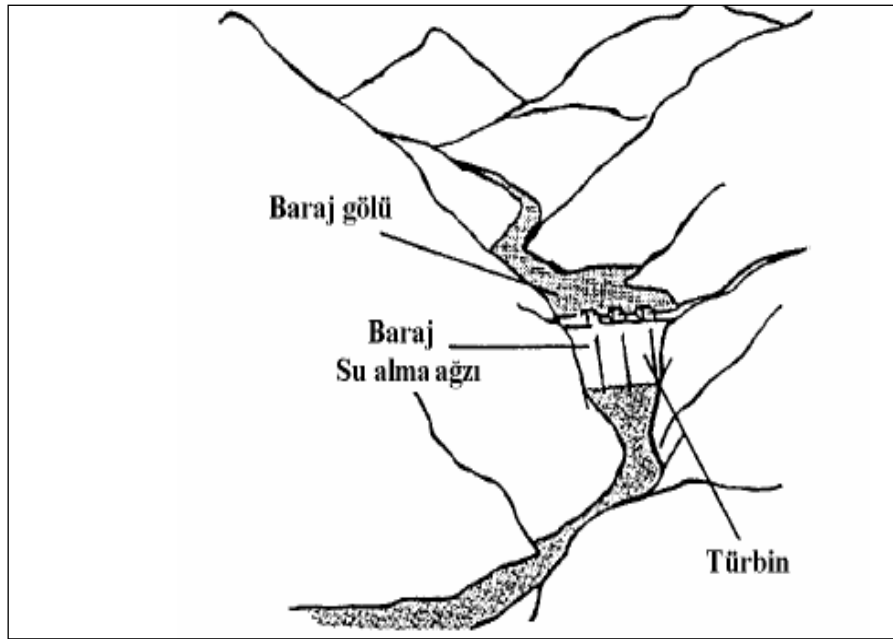
Şekil 2.2: Bir hidroelektrik santralde toplam güç çıkışı ve kayıplar (kimyamuhendisi.com)

Diğer bir sınıflandırma türü suyun biriktirilmesine yöneliktir. Mini hidroelektrik sistemler biriktirmeli yada biriktirmesiz olarak yapılmaktadır. Biriktirmeli santral ve bölümleri Şekil 2.3 ve 2.4'de; biriktirmesiz santral ve bölümleri ise Şekil 2.5 ve 2.6'da verilmiştir.

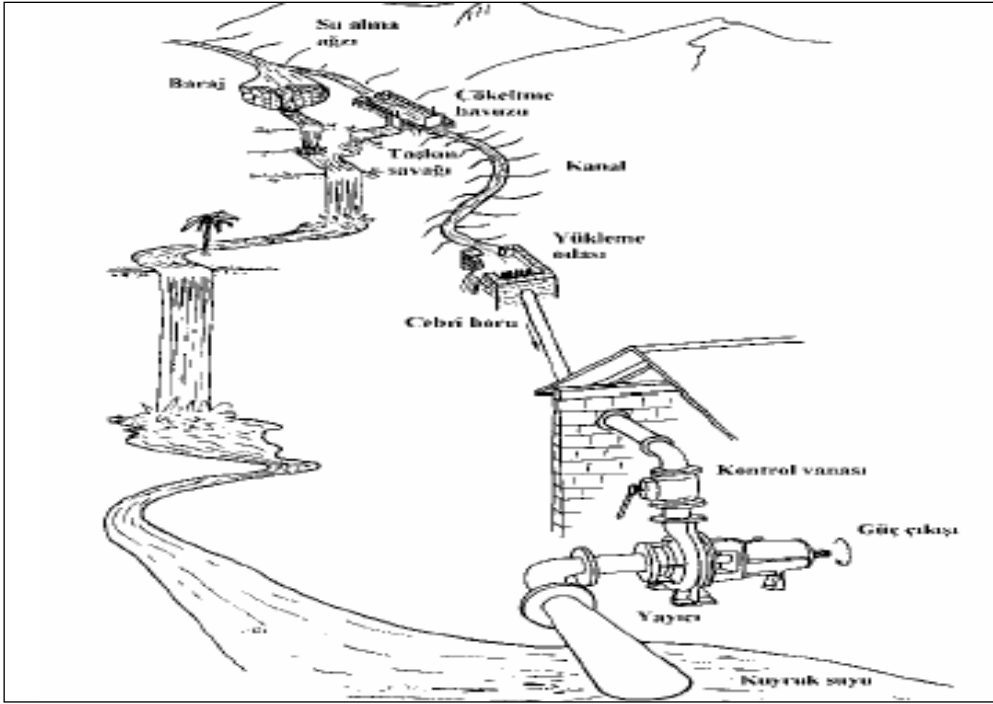
Biriktirmeli sistemde suyun önü bir baraj sistemi ile kapatılmaktadır. Bu sistemin avantajı, yağışlı sezonda suyun barajda tutulması; böylelikle yağışsız ve kuru sezonda da gerekli potansiyel enerjinin sağlanmasıdır.

Biriktirmesiz sistem, 'Nehirçi Santrali' olarak adlandırılmaktadır. Bir bağlama ile derlenen su, su alma ağız aracılığıyla kanala verilmekte, yatay iletimi sağlayan kanal, gerçek düşünün sağlanacağı noktaya kadar getirilmekte; burada yükleme odasına alındıktan sonra, cebri borularla türbine kadar iletilmekte ve hidrolik enerji mekanik enerjiye çevrilmektedir. Yükleme odasındaki fazla su için bir de taşkın savağı bulunmaktadır.

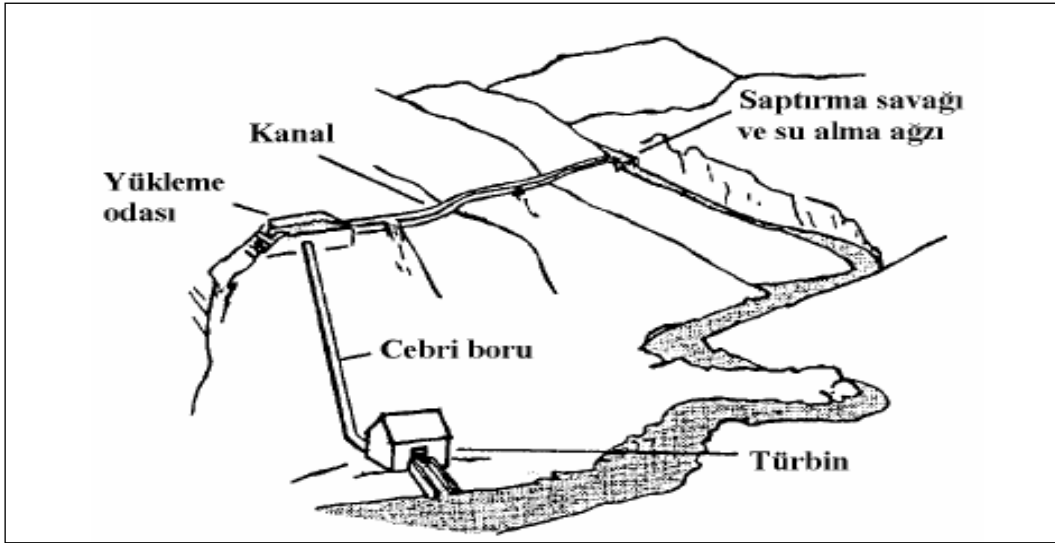
Mikro hidroelektrik sistemler genellikle biriktirmesiz sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı, kurak sezonda türbin için gerekli debiyi verememeleridir. En büyük avantajı ise, lokal olarak çok düşük bir maliyetle yapılabilmeleridir. Bu tip santraller akarsu yatağına en az zararı vermekte; yükleme odasında günlük bazda yapılan ayarlarla da su debisi denetlenebilmektedir. Buna karşılık biriktirmeli sistemler daha karmaşık ve pahalıdır. Zaman içerisinde çeşitli sorunlarla karşılaşılır. Örneğin baraj gölü belirli bir zamandan sonra kum ve kil ile dolmaya başlar. Böyle durumda boşaltılması, hem pahalı hem de çok zordur. Bir süre sonra baraj ömrünü tamamlamaktadır.



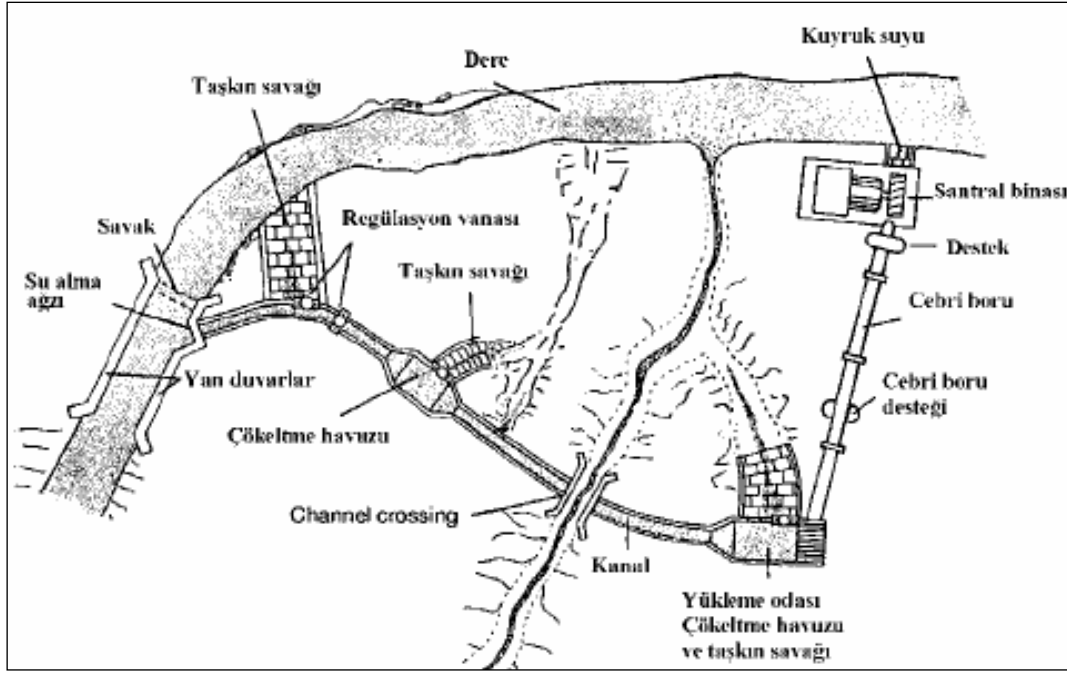
Şekil 2.3: Biriktirmeli hidroelektrik güç sistemi



Şekil 2.4: Biriktirmeli bir hidroelektrik santralin bölümleri



Şekil 2.5: Biriktirmesiz hidroelektrik güç sistemi



Şekil 2.6: Biriktirmesiz bir hidroelektrik santralin bölümleri

Mini hidroelektrik sistemlerin diğer bir sınıflandırma biçimi de enerjinin kullanımına yöneliktir. Burada üretilen elektrik ya merkezi enerji sistemini besler ya da bağımsız olarak küçük yerleşim bölgelerinin enerji gereksinmesini karşılar.

## 2.4 Hidroelektrik Sistemlerin Tasarımı

Bir hidroelektrik sistemin tasarımı 4 aşamada gerçekleşmektedir:

**a) Kapasite ve istem araştırması:** Bir enerjiye talep olduğunda “ne kadarlık bir enerji hangi amaç için isteniyor” sorusunun cevabı doğru olarak belirlenmelidir. Bu aşamada ayrıca kullanıcıların kullanım kapasitelerinin de belirlenmesi önemli olmaktadır. Genelde mikro hidrolik sistemler, insanların çoğunun karmaşık makineleri kullanmadığı kırsal bölgeler için planlanmaktadır. Bu sistemin tasarımı ve yapımı için gerekli paranın büyük bir kısmı o yöre insanları tarafından karşılanacaktır.

**b) Hidrolojik çalışma ve yer araştırması:** Bu aşamada sistemin kurulacağı yerin hidrolik potansiyeli belirlenir. Akarsuyun debisinin yıl boyunca değişimi ortaya konur, su alma ağzının en verimli ve en ucuz olarak alınacağı yer tespit edilir. Ayrıca, dönem dönem ne



kadarlık bir güç sağlanabileceği de tespit edilir. Çalışma suyun farklı kullanılması (örneğin zirai sulama amaçlı) durumunu da dikkate alır.

**c) Ön yapılabilirlik çalışması:** Bu bir hızlı fiyat belirleme çalışmasıdır. Hidrolik sistem tasarımcısı talebi karşılayacak şekilde genellikle 3 veya dört farklı seçenek ortaya koyar. Bunların ilk ikisi iki farklı hidrolik sistemin yerleştirilmesi, üçüncüsü merkezi enerji nakil sisteminin geliştirilmesi ve sonuncusu ise ihtiyacı karşılayacak şekilde bir dizel jeneratör kullanılması olabilir. Ön yapılabilirlik çalışması, bu seçenekleri karşılaştırır ve bunların önemli özelliklerini ortaya koyar. Tüketici, bu seçenekleri ve bunların karşılaştırmalı fiyatlarını bilmek isteyecektir. Ön yapılabilirlik çalışmasında ayrıca, enerji talep çalışmalarının hidrolojik çalışma sonuçları ile karşılaştırması da yapılır. Talep çalışması bize güç değişimleri karşısında talebin nasıl olacağını hidroloji çalışması bize güç değişimlerinin nasıl sağlanacağı hakkında bilgi verir. Ayrıca bu bölümde farklı sorulara da cevaplar verilir.

**d) Tam yapılabilirlik çalışması:** Ön yapılabilirlik çalışmasında hidrolik sistemin uygulanabilir olduğu belirlenirse; mühendislik hesapları, maliyet hesapları detaylı olarak tam yapılabilirlik çalışmasında yapılır. Ayrıca, ekonomik kriterleri kullanarak yapılan parasal çalışmalar, işletme ve bakım masraflarının hesaplanması da önemlidir. Yapılabilirlik çalışmasında temel kural şu şekildedir: çalıştırma ve bakım (O +M) birinci, ekonomi ve tesis faktörü ikinci, mühendislik tasarımı ise üçüncü önceliktedir. Yapılabilirlik çalışmasında ayrıca kontratlarla detaylı olarak kullanma tarifesi de belirtilmelidir. Yani kurulacak sistemden üretilen elektrik enerjisi hem ev elektriğinde ve hem de güç kaynağı olarak sanayide kullanılacaksa bu koşullar kontratta ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Aynı yolla, farklı amaçlı kullanıcılar için öncelik hakları (sulama ve hidrolik güç) ortaya net bir şekilde konmalıdır. Bu durum daha sonra ortaya çıkabilecek zorlukları çözmeye yardımcı olacaktır

## **2.5 Akım Hesapları – Debi-Sürek Eğrisi**

### **2.5.1 Genel**

Bir akımın veya akarsuyun enerjisinin elde edilmesiyle ilgili çalışmalarda öncelikle, ilgili akarsu kesitindeki fiziksel güç yani potansiyel enerjinin belirlenmesi gereklidir. Akarsuya ait fiziksel gücün bilinmesi su kaynaklarıyla ilgili çeşitli amaçlar için kullanılacak su gücünün miktarının tahmin edilmesi açısından oldukça önemlidir

Küçük düşümlü hidroelektrik santrallarda üretilecek enerji miktarı; su çevirme aksındaki suyun, uzun yıllara dayalı olarak belirlenecek akım değerine ve bu akımın zaman içindeki değişkenliğine, sağlanacak düşü miktarına ve santralin kurulu gücüne bağlı olarak belirlenmektedir.

Akarsuların debi değerleri genellikle geniş ölçekte değişim aralığına sahiptir. Akarsuyun su çevrim aksındaki akım değerlerinin bulunmasında, akarsu üzerinde bulunan akım gözlem istasyonlarının (Hidrometri istasyonlarının) akım değerlerinden yararlanılır.

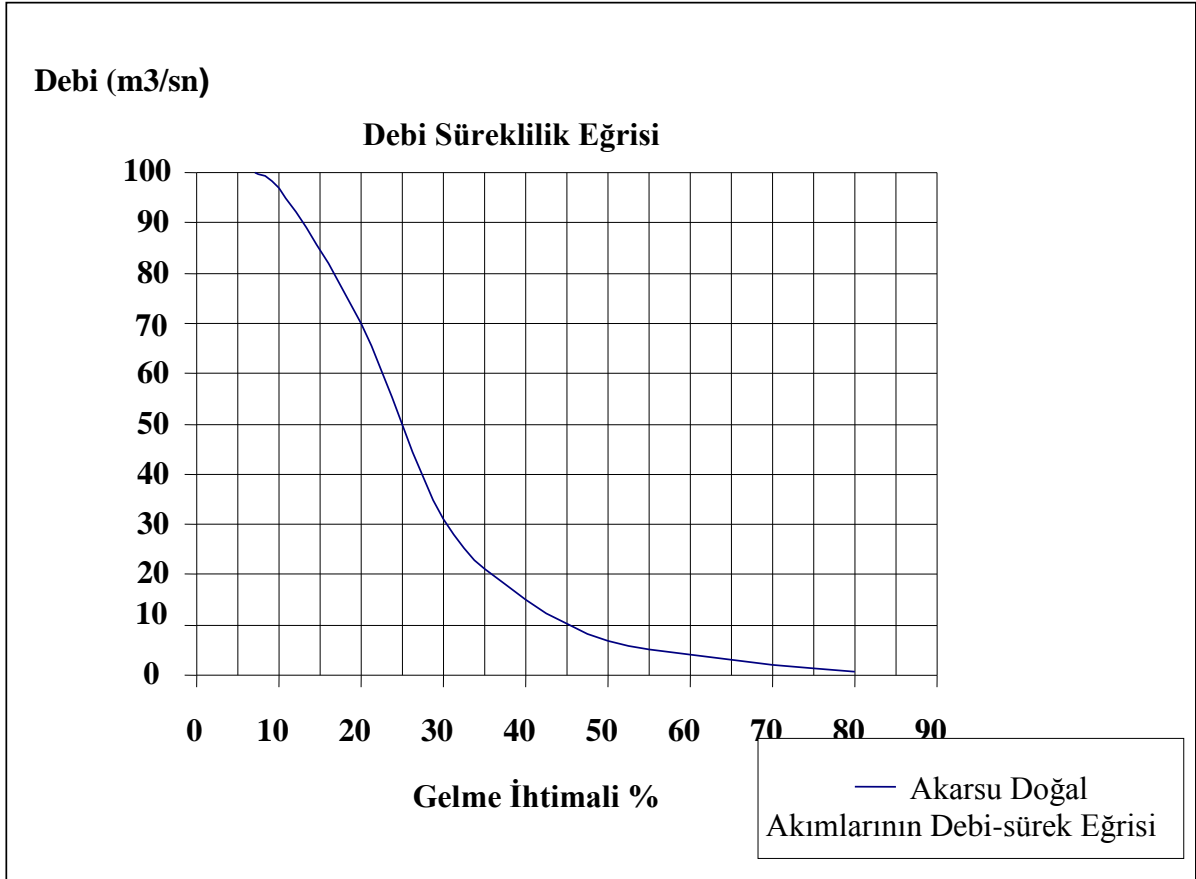
### **2.5.2 Debi Sürek Eğrisi**

Su kaynaklarının tasarımında kullanılan hidrolojik olayların değerleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında, her büyüklük için, bu değeri karşılayan veya geçen zamanın yüzdesi hesaplanabilir. Akım değerlerinin büyüklükleri ordinat ve bu büyüklüklere karşı gelen zaman yüzdeleri absiste gösterildiğinde “Akım Sürek Eğrisi” elde edilmektedir. Süreklilik eğrisini elde ederken mümkün olduğunca uzun süreli debi gidiş çizgisini kullanmak uygun olur. Bu eğrinin eğimi çözümlenmesinde kullanılan gözlem periyoduna (süresine) bağlıdır. Günlük değerlerle bu eğri elde edildiğinde yıllık değerli dizilere göre daha dik eğimli bir eğri elde edilecektir.

Doğal akım süreklilik eğrisi, nehir günlük düzenlenmesinde gereklidir. Daha yüksek tasarım debisi eğilimi gösteren aylık ortalama akım değerlerine göre elde edilen akım süreklilik eğrisi büyük hatalar içermektedir. Çünkü, aylık ortalama debisi değerleri ay içinde değişim göstermektedir. Bu yüzden akım süreklilik eğrisini oluştururken günlük akım değerlerinin kullanılması daha doğru sonuçlar verecektir.

Kanal santrallarında enerji üretimi, su kaynağının rejimi ile çok yakından ilgilidir. Bunun için, günlük akım çözümlenmesi ile su çevrim aksındaki debinin, akım yılları boyunca zaman içinde değişimi gösteren debi-süreklilik eğrisinin (herhangi bir debinin oluşumunu gösteren olasılık eğrisi) hazırlanması gerekir. Bu eğri, uzun dönem periyodu içinde akarsuyun akımını karakterize eden en uygun ve özlü bir eğridir. Su çevrim aksındaki AGİ (Akım Gözlem İstasyonu) varsa bu istasyonun günlük akımları çözümlenmeye tabi tutularak debi süreklilik eğrisi kolaylıkla hazırlanabilir.

Akım değişimini gösteren Debi Süreklilik Eğrisi, uzun rasat yılları boyunca sağlanmış olan günlük ortalama debilerle hazırlanabileceği gibi, aylık toplam akım miktarlarından yararlanılarak da hazırlanabilir. Ancak aylık verilerle elde edilen eğri günlük değerlere göre hazırlanan eğri kadar duyarlı olmayacaktır. Şekil 2.7’de örnek bir debi süreklilik eğrisi verilmektedir.



Şekil 2.7: Debi süreklilik eğrisi

Pekçok nehir havzasında uzun dönemli hidrolojik veri mevcut değildir. Birçok hidrolojik tasarım çalışmalarında genellikle yıllık ortalama akım değerler dikkate alınır. Proje yerinde günlük akım değerlerinin oluşturulabilmesi için öncelikle uzun dönemli gözlemlere sahip, benzer coğrafi koşullar dikkate alınarak bir indeks ölçüm istasyonu seçilir. Seçilen bu istasyonu ait yıllık akış verilerinin tutarlılığı ve bölgeyi temsil etme yeterliliği çözümlenir. Tutarlılık, ölçüm istasyon bölgelerindeki havzaların yağış-akış ilişkilerindeki yıllık değişimlerin tutarlılığı yani birbiriyle ilişkisi şeklinde açıklanabilir.

Bu şekilde indeks ölçüm bölgelerinden elde edilen veriler kullanılarak boyutsuz veya modüler günlük akım süreklilik eğrileri türetilir. Boyutsuz günlük akım, seçilen istasyondaki günlük akımın ortalama yıllık akıma oranıdır. Modüler akım ise, seçilen istasyondaki günlük akımın havza alanına oranıdır.

Tüm indeks ölçüm istasyonlarının süreklilik eğrilerinden, ortalama boyutsuz veya modüler günlük akım süreklilik eğrileri belirlenir. Eğer proje bölgesinin ortalama aylık akım süreklilik eğrisi mevcut ise, indeks bölgelerindeki ortalama günlük akım süreklilik eğrisi ile karşılaştırılarak düzeltmeler yapılabilir. Eğer nehir havzası küçük ve sadece bir indeks ölçüm bölgesi söz konusu ise, onun boyutsuz veya modüler günlük akım süreklilik eğrisi proje bölgesine uygulanır.

1985 yılında Zhejiang eyaletinde bölgelendirilmiş günlük akım süreklilik eğrisi üzerinde çalışılmıştır. 7 indeks ölçüm istasyonunun 20 yıllık kayıtları seçilmiştir. Havza alanları 253 km<sup>2</sup>–830 km<sup>2</sup> arasındadır, boyutsuz ortalama günlük akımlar  $k_i=Q_i/Q_0$  ölçülmüş ve süreklilik oranına (p, yüzde geçen) karşılık gelecek şekilde işaretlenmiştir ve sonuçta  $k_i$  değerlerinin sentetik eğrilerin değerlerine çok yakın olduğu görülmüştür.

Aynı günlük akım verileri, akım modüllerine aşağıdaki şekilde dönüştürülebilir:

$$M_i = Q_i / F \text{ (m}^3\text{/s.km}^2\text{)} \quad (2.3)$$

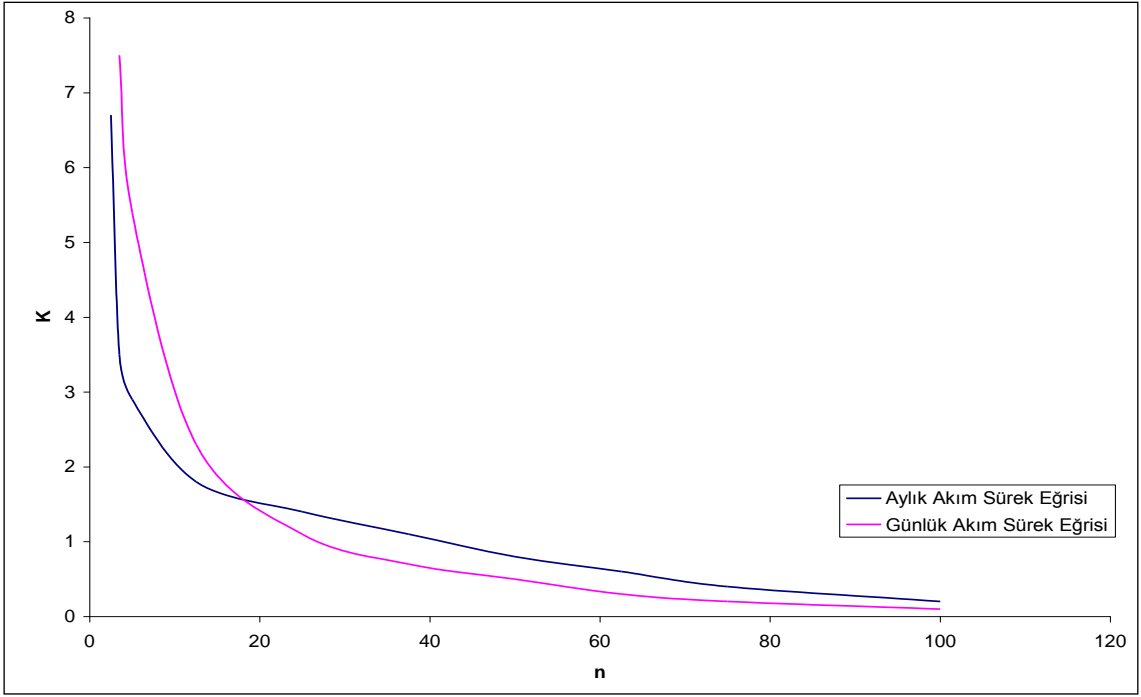
Burada

$M_i$ : i. sıradaki eşçizgi

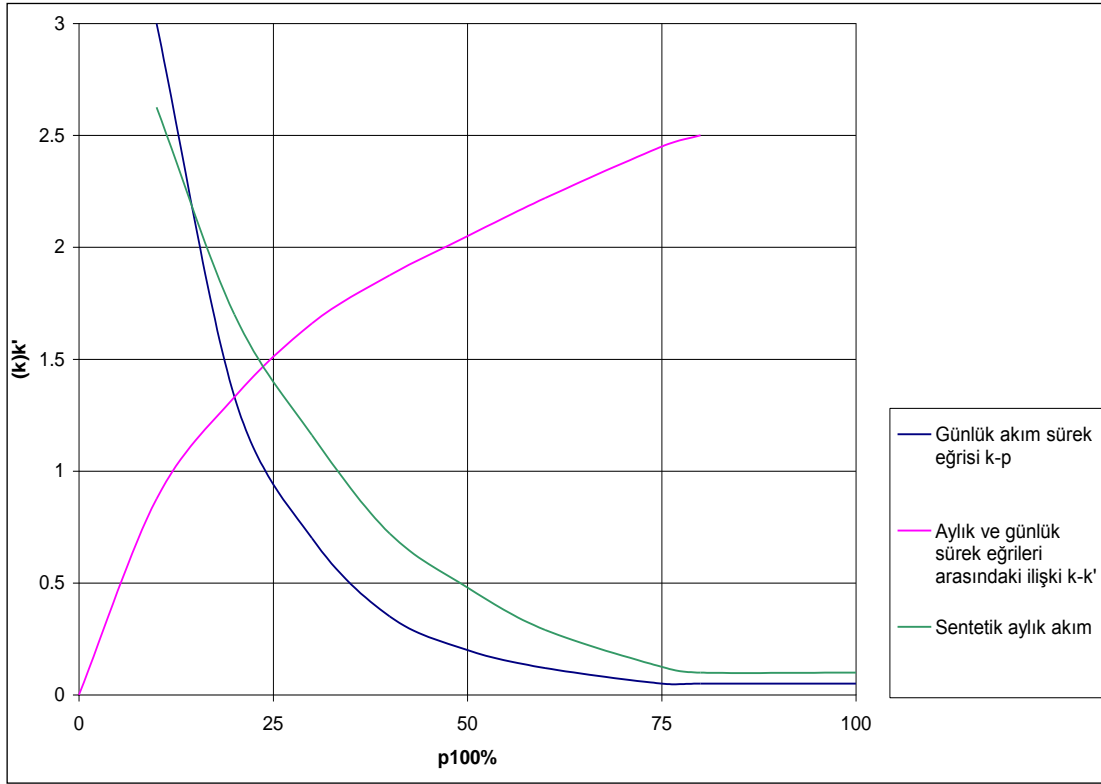
$Q_i$ : i. sıradaki debi değeri(m<sup>3</sup>/sn)

F: Alan(km<sup>2</sup>)

Günlük akım süreklilik eğrisi ile aylık akım süreklilik eğrisi arasındaki ilişki Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Burada ilginç olan bir nokta, n boyutsuz günlük akım k değerlerini k'-p (boyutsuz aylık akım k' –yüzde geçen p) koordinatları üzerinde işaretlersek, aynı p değeri altında, göreceli bir k-k' eğrisi elde edebiliriz. Aylık akım süreklilik eğrisi uzatılarak ve çekilerek günlük akım süreklilik eğrisi elde edilebilir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.8: Günlük ve aylık akış süreklilik eğrileri



Şekil 2.9: Akım süreklilik eğrisini aylıktan günlüğe dönüştürülmesi

HES tasarımında kullanılabilir optimum işletme debisinin belirlenmesiyle ve bu debinin belirlenme kriteri ile ilgili literatürde birçok çalışma vardır.

ERE (2001)'de ülkemizde "HES" lerin üretebileceği güvenilir enerjinin, zamanın % 95'inde geçen debiyle belirlendiğini, belirlenen değerin güvenilir enerji eksiklik yüzdesi olarak tanımlanan bir yüzde ile, % 5 oranında azaldığını " belirtmektedir. Bu yüzden, senenin daha uzun bir süresinde, (>%95 veya >347 gün /yıl), varolan debi ile belirlenebilecek enerjinin güvenilir olarak kabul edildiği görülmektedir. Yani, pratik olarak güvenilir enerji, minimum değerle( $Q_{min}$ ) ile üretilen enerjiye karşılık gelmektedir. Halbuki, dünyadaki eğilim, yılın yalnızca %15-20'sinde mevcut olan debiye göre proje tasarımı yapmak, yani akarsu yatağında su bulunduğu anda, bu debiyle üretilen enerjinin değerlendirilmesi şeklindedir.

Ültanır (2001,D-E, Aralık) potansiyel hesaplamalarında DSI'nin 5Mw'ın (pratik olarak 5 m<sup>3</sup>/sn debiyle 100 m düşü altında veya, 10 m<sup>3</sup>/sn'lik debi ile 50 m düşü altında üretilen güç) altına inmediğini belirtmektedir. Halbuki günümüzde, mini ve mikro olarak adlandırılan küçük güçlü HES'ler sıklıkla kullanılmakta ve küçük derelerin potansiyellerinin sadece "Kw'larla ifade edilen güçlerinin dahi değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Öziş (1991), çalışmasında akarsu debilerinin mevsimlere göre büyük farklar gösterdiğini belirtmektedir. Su kuvveti tesislerinin projelendirilmesine esas debinin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Su kuvveti tesisleri zamanın büyük bir kısmında akarsuda mevcut küçük debilere göre boyutlandırıldığında, akarsuyun su kuvveti potansiyeli yeterince değerlendirilememekte; büyük debilere göre boyutlandırma yapıldığında ise çoğunlukla yeterli debi olmadığından güvenilir potansiyel kurulu güce oranla çok düşük kalmakta ve bu da ekonomik tutarlılığı azaltmaktadır.

Dönmezer (1985), bir akarsuda maksimum değerle debi değerlerinin ardından hemen hemen hiçbir geçiş kısmı olmadan minimum değerle debi değerleri geldiğinde ve maksimum debi değerlerinin görülme (oluşma) zamanı uzun olduğunda yıllık ortalama debinin, ortalama karakteristik debiden büyük olduğunu ifade etmektedir (ortalama karakteristik debi, nehir debisinin 180 gün süresinde daha alt değeri almadığı debi değeridir.). Aksi durumda, maksimum değerli debilerin süresi az olmakla beraber, bir ara debi dönemi varsa, ortalama karakteristik verinin yıllık debiden büyük olabildiğini ifade etmiştir.

Schleiermacher (1967) gözlenmiş minimum akımın, işletme debisi olarak seçilmesini uygun görmüştür. Ancak yine de enerji ihtiyacının mevsimlere göre değişim gösterdiği yerlerde, mevsimlik minimum debilerin işletme debisi olarak seçilebileceğini ifade etmektedir.

Kızılkaya ve arkadaşları (1988), Schleiermacher'a benzer şekilde, akarsuda gözlenen minimum akım değerinin işletme debisi olarak seçilmesini önermektedir ve santralin kurulacağı bölgenin durumuna göre, mevsimsel minimum debilerin de bir çözüm olduğunu düşünmektedir.

Balman V ve Güven Ş., Su Kuvveti Mühendisliği'ne Giriş kitabında (1973), %30'luk sürtünme kaybını ve %80 oranda türbin ve generatör verim kaybını dikkate alarak yine yaklaşık olarak zamanın %56'sında gelen debiyi işletme debisi olarak alınmasını uygun görmekteirler.

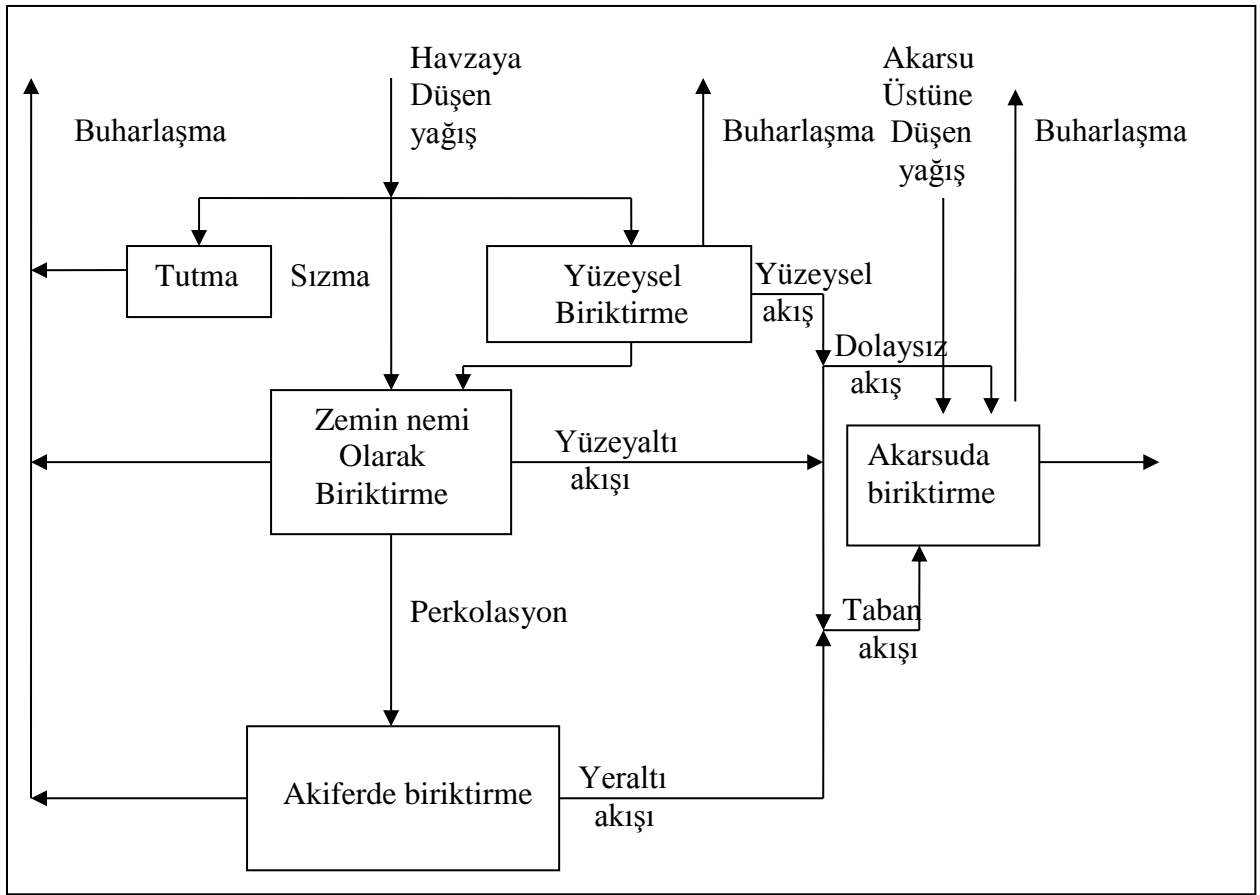
Çeçen, Su Kuvvetleri kitabında (1983), işletme debisi için genellikle zamanın %50'sinde gelen debinin seçilmesini uygun görmektedir. Ancak enerjiye olan gereksinmenin artması ile yılda 125 hatta 90 günlük debilere kadar inilebileceğini düşünmektedir.

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

## YAĞIŞ – AKIŞ İLİŞKİLERİ

### 3.1 Yağışın Akışa Dönüşümü

Herhangi bir havzada, yağıştan akışa geçme işlemi bir sistem olarak düşünülmektedir. Yağışın havzaya düştüğü anda hidrolojik çevrime ilişkin herhangi bir öge bu sistemin bir parçasıdır. Yağışın akışa dönüşümüyle ilgili sistem Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Yağış akış sistemi (Bayazıt, 1998)

Hidrolojik çevrim, sistem kavramıyla değerlendirildiğinde, girdi, çıktı ve kayıplar şeklinde üç kısma ayrılabilir. Girdi ve çıktı sırasıyla yağış ve akışı ifade eder. Kayıplar ise bitkiler



tarafından tutulan su, zemine sızan su ve buharlaşma şeklinde düşünülebilir. Yağışın zemine sızmayan kısmı ise yüzeysel akışı oluşturmaktadır.

Yağış; akım, sızma ve buharlaşma bileşenleri şeklinde ayrılabilir. Yağışın bileşenlerini ve özellikle akımı kestirmek oldukça zordur. Bununla ilgili yöntemlerden birinde gözlenmiş değerlere bağlı olarak yağış akış kayıp yüzdeleri değerlendirilmektedir. Daha karmaşık olarak Soil Conservation Service (SCS, 1972) tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde zemin özellikleri, önceki yağışa ilişkin nem verileri ve yağış miktarlarıyla ilgili bilgi gerekmektedir. Sızma, eğer akım kestirilebilirse ve yağış ölçülmüşse hesaplanabilir.

Yüzeysel akış, yüzeyaltı akışları ve akarsu yüzeyine düşen yağış (buharlaşma kayıpları çıktıktan sonra) akarsu akışını oluşturur. Pratikte, yüzeyaltı akışını, yüzeysel akış ve yeraltı akışından ayırmak oldukça güçtür. Bu yüzden akarsu akışı dolaysız ve taban akışı şeklinde ikiye ayrılır.

Dolaysız akış; yüzeysel akış ile yüzeyaltı akışının gecikmesiz kısmından oluşur ve taşkınların temel kaynağıdır. Taban akışı ise yeraltı akışı ile yüzeyaltı akışının gecikmeli kısmından oluşur. Bu akış değeri; akarsu sistemine yağış olayı gerçekleştikten uzun bir süre sonra ulaşması nedeniyle yağışın olmadığı dönemlerde akarsuyu besleyen akıştır.

Yağış, oluşturduğu akışa bağlı olarak yine iki kısımda incelenebilir. Birincisi, yağışın dolaysız akışı oluşturan bileşenidir ve etkili yağış olarak adlandırılır. Etkili yağış; zemin eğimi, zemin tipi ve yapısı, bitki örtüsü gibi havza özellikleri ile yağış şiddeti ve süresi gibi yağışla ilgili özelliklere bağlıdır. Yağışın ikinci kısmı yağışın taban akışını oluşturan bileşenidir. Zeminde tutulan su, yüzeysel biriktirmedeki buharlaşma gibi diğer kayıplar da yağışın ikinci kısmında düşünülmelidir.

### **3.2 Yağış-Akış İlişkileri**

Hidrolojistler herhangi bir havzada verilen bir yağışın oluşturduğu akımı türetmekle ilgilenmektedirler. Bunun için tarihsel yağış, buharlaşma ve akım verileri istatistiksel yöntemlerle değerlendirilerek gelecekle ilgili kestirimler yapılmaktadır. Akım ölçümleri

olmayan havzalarda, verilen bir yağışa karşı gelecek akış yüksekliğinin kestiriminin yapılmasında, yağış-akış bağıntıları kullanılmaktadır.

Su kaynakları tasarımında, yağış-akış ilişkisinin doğadaki gerçek durumu tam olarak yansıtacak biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Yağış-akış ilişkisinin geliştirilmesiyle ilgili çok sayıda araştırmada, herhangi bir havza için farklı durum kümeleri oluşturulmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemler bilinen yağış değerlerinde, akışın hesaplanmasında etkin olan değişkenleri kullanma zorunluluğu gerektirmektedirler. Köhler ve Linsley (1951), yağış süresi ve geçmiş yağış süresini içeren çok eksenli ilişkileri elde etmişlerdir. Nash (1958), yağış ve akış arasındaki ilişkiyi; sağanak yağış ve bu yağışın neden olduğu akış miktarları arasındaki ilişki, daha karmaşık olarak yağış ve akım dağılımı arasındaki ilişki ve bütün yağış olasılıkları ile akım üreten yağış olasılıklarının arasında ilişki şeklinde üç ana başlık altında değerlendirmiştir.

### **3.3 Yağış-Akış Modellerinin Gelişimi**

Yağış-akış modelleri, 19. yüzyılın ikinci yarısında kentlerin kanalizasyon tasarımı, drenaj sistemlerinin düzenlenmesi ve dolusavak hazne tasarımıyla ilgili üç tip mühendislik sorununa çözüm getirebilmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Karşılaşılan bu sorunlarda tasarım debisinin belirlenmesi temel amaç olmuştur.

19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyıl başlarında birçok mühendis, belirli durumlara uygun olarak üretilmiş görgül formülleri benzer koşullara uygulamışlardır. Bazı mühendisler ise, yağıştan akış kestirimi yapılması sorununa rasyonel bir yaklaşım olarak görülebilecek rasyonel yöntemi kullanmışlardır. Küçük ve dağlık havzalar için türetilen bu yöntemde (toplanma) zamanı temel parametredir. Bu yöntemde verilen yağış şiddetinin neden olduğu maksimum debi değerinin, yağış süresinin toplanma süresinden büyük ya da eşit olduğu durumda gerçekleştiği düşünülmektedir.

1920'li yıllarda, daha büyük havzalar için bir model gereksinmesi duyulmaya başlanmış ve bu yüzden de "rasyonel yöntem" birçok düzenleme yapılarak zamansal ve konumsal ölçekte yağış ve havza özellikleri dikkate alınarak uniform olmayan dağılımlarla çözüm üretilmeye çalışılmıştır.

İzokronlar veya eş hareket süreli eğrileri kavramına dayalı “modifiye rasyonel yöntemi”, ilk temel yağış-akış modeli olarak kabul edilebilir. Bu yöntemin düzenlenmesi ve parametreleri, topografik haritalarla ve farklı hareket sürelerinin Manning Formülü kullanılarak değerlendirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Çözümlemesi gereken sorunlar öncekilerden çok farklı olmadığı halde, hidrolojistler, özellikle yüzeysel akış kavramı bakımından daha gerçekçi ve kesin sonuçları amaçlamışlardır.

1932’de Sherman, yağışın oluşturduğu akışı belirlemek amacıyla süperpozisyon ilkesine dayalı birim hidrograf kavramını oluşturmuştur. Birim hidrograf kavramının tanımlanmasıyla, doruk akış kestirimlerinin yanı sıra daha karmaşık özellik taşıyan sağanakların neden olduğu akım hidrograflarının kestirimleri ile ilgili çalışmalar da hız kazanmıştır. Ancak, birim hidrograf yönteminin yüzeysel akışın, etkili yağışın ve birim hidrografın belirlenmesi gibi bazı dezavantajları bulunmaktaydı. Bu sorunların çözümünün çok yüksek derecede öznelik içermelerine bağlı olarak 1930’ların sonları ve 1940’ lı yıllarda yöntemlerin ve sonuçların nesnellüğünün artırılması amacıyla bazı teknikler önerilmiş ve istatistik çözümler için içine katılmıştır. 1938 yılında Snyder zirve akım değerinin, taban zamanı, doruk akımın %50 ve %75 oranlarındaki genişliği gibi birim hidrografa ait özelliklerle olan ilişkilerini değerlendirmiştir. Snyder’in bu çalışması 1977 yılında Espey, Altman ve Craves tarafından havza parametrelerinin bölgeselleştirilmesiyle geliştirilmiştir. Birim hidrograf kuramına önemli bir katkı Clark (1945) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda Nash (1957), Gama dağılımlı birim hidrografi önermiştir. Farklı yaklaşımlar ve yapılan çalışmalar, Dooge tarafından 1973’de hazırlanan raporda bulunmaktadır.

Akış tahminleriyle ilgili en büyük ve önemli gelişme, 1950’lerde gerçekleşmiştir. Hidrolojistler, karmaşık dinamik sistemlerin çözümlemesinde mühendislik yaklaşımlarının kullanılabileceğinin farkına vararak, birim hidrografın nedensel, doğrusal zamanlı sabit sistem için bir çözüm olabileceği ve Z, Laplace ve Fourier dönüşümlerinin girdi-çıkış verilerinin çözümlemesinde çözüm işlevi elde etmek için kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu süreç, kavramsal modellerin ortaya çıktığı dönemdir. Örneklenen veriden kesikli birim hidrograf elde edilmesinde sorunlar vardır çünkü sistem doğrusal değildir ve girdi-çıkış verilerinde genellikle büyük yanlıgılar söz konusudur.

Bu sorunu çözebilmek amacıyla, hidrolojistler, birim hidrografın biçiminin sadeleştirilmiş diferansiyel denklem çözümüyle elde edilebileceği sonucuna varmışlardır (Nash, 1958, 1960). Birim hidrograf, havza özellikleriyle ilgili parametreler ya da istatistiksel yöntemlerle tanımlanabilir.

1971'de Rao ve Delleur, verideki kalıntı değerlerin Fourier dönüşümleri ile elde edilen değerlerin birim hidrograf üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Wiener (1949) ve Tikhonov'un (1963a, 1963b) kestirim evresinde süreklilik ve düzenleme kısıtları üzerinde çalışmalarından sonra, Eagleson ve diğerleri (1965), Natale ve Todini (1977) daha gerçekçi birim hidrograf tahminleri elde etmişlerdir. Box ve Jenkins (1970), hidrolojistlere birim hidrografın parametrelerle tanımlanabilmesinde seçeneysel bir yöntem oluşturmuşlardır.

Bu gelişmeler, akım kestirim sorununu gerçek dünyanın hidrolojik sorunlarından uzaklaştırarak daha matematiksel ve felsefi bir hale getirmiştir. Bu noktada, bu modellerin gerçeği yansıtmaması tehlikesi ortaya çıkmakta, bir modeli gerçek yağış ve akış değişkenleriyle kontrol edebilmek çok kolay olsa da, sonuçların kalitesinin anlaşılması oldukça zorlaşmaktadır.

1960'larda yağış-akış modellemesi hakkında yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Hidrolojik çevrim bileşenlerinin davranışları ele alınarak, havza ölçeğinde, birbiriyle bağlantılı ve her biri belirli bir alt sisteme karşılık gelecek ögeler kullanarak araştırma yapılması öngörülmektedir. Böyle bir yaklaşıma gereksinim duyulmasının nedenleri şu şekilde belirtilebilir: 1) Maksimum akış ve taban akımının ayrılmasının karmaşıklığından kaçınarak modelin kullanımını uzun süreli kayıtlara doğru ilerletebilmek; 2) Modeli, farklı zemin, bitki örtüsü, karmaşık eğimlere sahip akaçlama havzalarına uygulayabilmek; 3) Modelin, benzer havzalara çok fazla kalibrasyona gereksinim duyulmadan ayarlanabilmesini sağlamak.

1960'ların en başta gelen modelleri, birleştirilmiş altsistemleri simgeleyen modeller olup, bunlar; Dawdy-O'Donnel (1965), Stanford Model IV (Crawford ve Linsley, 1966), Sacramento Nehir (Burnash et al.,1973),U.S. Mühendisler Heyeti (Rocwood ve Nelson, 1966), Tank (WMO,1975) olarak sayılabilir.

Bir çok durumda, modelde, çok sayıda parametre kullanılmakta ve bu parametreler en uygun şekilde kalibre edilmelerine karşın , yanlışlı veriler içermekte, basit modeller arasında

yanılgılara yol açabilmektedirler. Gerçekle model arasında birebir uyumun sağlanamaması hidrolojistlerin konu hakkında birçok araştırma yapmasına yol açmıştır. Bu çalışmalardan birinin sonucu olan SHE (System Hydrologique Europeen), günümüzde, temel bir laboratuvar aracı olarak, havza davranışının iç ve dış etkilerinin benzetimi için kullanılmaktadır (Abbot ve diğ., 1986a, b)

1970'ler erozyon ve zemin bozulması sorunlarının, kirliliğin yayılması, insan kaynaklı çevresel etkiler ve arazi kullanım değişimlerinin hızla fark edilip ilgilenildiği bir dönemdir.

1970'lerin sonları, 1980'lerin başında ise, yeni bir yağış-akış modeli gerçekleştirilmiştir. Bu, gerçek zamanlı kestirim modeli olup, taşkın eğilim uyarısı gösteren alanlar için bir yanıt, hazne veya hidrolik yapı yönetimi için bir araç olarak geliştirilmiştir.

Güncelleme ve tekniklerin sürekli kalibrasyonuna dayalı olarak (Kalman, 1960; Kalman ve Bucy, 1961; Wood ve O'Connell, 1985) ve otomatik veri toplama, veri değerlendirme, kestirim yöntemleri ve kestirimlerin yayılımına sahip olması gereken gerçek zamanlı kestirim sistemleri (Nemec, 1986; Bacchi et al., 1986) ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Birçok yağış-akış modeli, gerçek zamanlı kestirim modeli olarak kurulmuş olsa da, tüm model parametrelerinin gerçek zamanlı olarak kalibrasyonunun yapılmasının avantajları ve dezavantajları net olarak bilinmemektedir.

İnsan etkinliklerinin çevresel etkilerinin daha çok farkına varıldığı ve dikkate alındığı günümüzde, taşkın, kuraklık, çevresel kirlenme gibi kritik durumlar, belirli gerçek zamanlı kestirim modellerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Asit yağmurları, toprak kayıpları, gübrelerin yayılımı, ve genel kirlenme gibi olağandışı doğa olayları yalnızca dinamik, fiziksel tabanlı, modellerle çalışılarak, kimyasal ve biyolojik koruma denklemlerinin eklenmesini de gerektirmektedir. Bilgisayar ortamındaki haritalar ve teknolojik gelişmeler, gelişmiş ve büyük veri banka olanaklarını sağlamakta; bilgisayarlar, diferansiyel denklem çözümlerini duyarlılıkla ve hızlı bir biçimde yapabilmektedir.

Diğer yandan, su dengesi ve su kaynakları işletme çalışmaları için kümelenmiş sade modellere olan gereksinim, kümelemenin etkilerinin de değerlendirilmesini gerektirecektir.

Zhao (1977), Moore ve Clark(1981), Beven (1975) alt havza ölçeğinde sadeleştirilmiş model çalışmaları yapmıştır.

Özellikle, gerçek zamanlı kestirim modelleri, bu sadeleştirilmiş modelleri stokastik modellerle birleştirerek güncelleme sağlayabilmektedir.

Yağış-akış matematik modellerinin tarihi gelişimi incelendiğinde kullanılan hidrolojik modellerin gereksinimleri arasındaki etkileşimin anlaşılabilmesine ve hidrolojicilerin mevcut bilgilerine ve teknolojik koşullara dayanarak çözüm önerebileceklerine dikkat çekilmektedir.

Günümüzde, sorunlar ve eğilimler doğrultusunda gelecekte kullanılacak üç model tipi belirlenmiştir. 1) Diferansiyel Dağılım Modelleri; 2) Diferansiyel Dağılım Modellerinin birleştirilmesiyle oluşturulan Dağılım veya Kümelenmiş İntegral Modelleri; 3) Dağılım veya Kümelenmiş İntegral Modelleri artı gerçek zaman güncellemesi için stokastik bileşen.

Uydu ve radar teknolojilerine dayalı yeni bilgi sistemleri, verilerin toplanmasında kullanılarak, bilgisayarlar yardımıyla da geniş dağılımlı diferansiyel sistemlerin çözümü gerçekleştirilebilecektir. Mikro ve mini bilgisayarlar kullanılarak günlük yağış akış modellemesi ile gerçek zamanlı kestirim sistemleri ve modelleri çok düşük maliyetlerle gündeme gelebilecektir.

### **3.4 Modelleme İlkeleri**

Hidrolojik modellemede bazı temel ilkeler vardır. Öncelikle modelin basit olması gerekir. Doğadaki olay kavramsallaştırılıp düzenek tanımlanırken çok fazla karmaşık hale getirilirse modellemeden uzaklaşmış olunur. Ayrıca, hiçbir veriyle doğruluğunu kanıtlanamayan parametrelerin modellenmesi yapılmamalıdır. Yani modelin veriye uyum derecesi önemlidir.

Zaman içinde hidrolojik modellerin gelişimine bakıldığında; modeller, yağış, buharlaşma, sızma, yüzeysel akış gibi hidrolojik süreçleri tekil olarak inceleyen süreç modelleri ve hepsinin bir bütün olarak ele alındığı, her süreçle entegrasyonun gerçekleştirildiği parametrik havza modelleri biçiminde sınıflandırılabilir.

Süreç veya havzalar için hidrolojik model seçilirken, öncelikle, hangi kabuller ve sınır koşulları için modelin geçerli olduğu tanımlanmalıdır. Model uygulamalarında yapılan en temel yanlış, kullanılan model kabullerinin ve sınır koşullarının modellenen süreç ve/veya havzanın özelliklerine uygun olmamasıdır. Örneğin büyük havzalarda taşkın çözümlemesi yapılırken, bütün havzayı simgeleyen bir birim hidrograf yönteminin kullanılması yanıltıcı sonuçlar verebilir.

Model seçiminde diğer bir nokta, ilgilenilen sürecin özelliğidir. Seçilen model, sürecin karakteristik özelliklerini ayrıntılı bir biçimde açıklayabilmeli, sürecin etken parametreleri model içinde kapsamlı biçimde tanımlı olmalıdır.

Yağış-akış modelleri, herhangi bir havzada bir veya daha fazla akımı benzetmek amacıyla kullanılırlar. Bu modellerin kullanımı sırasında, meteorolojik verinin, önceki koşulların ve havza özelliklerinin mevcut olması gereklidir.

Akım, hidrolojik benzetimler ve su dengesi modellerinin geliştirilmesinde kullanılan birincil etmenlerden biridir. Bu modeller çeşitli fiziksel koşullar altında verilen yağış girdilerine bağlı olarak kestirmekte kullanılırlar. Fiziksel sistem içindeki kavramsal sürecin benzeşimi yapılarak, girdideki karmaşıklığın etkileri benzetilmiş akımlara iletilmektedir.

Bir akım hidrografının biçimi ve zamanı, yağışın geçici ve alansal değişimine, zemine ilişkin sızma kapasitesine ve bitki örtüsüne bağlıdır. Havza üzerindeki yağış ve bu yağışın oluşturduğu akış arasındaki karmaşık ilişkinin elde edilmesi, hidrolojinin uzun zamandan beri ilgilendiği ana sorundur. Günümüzde hidrolojistler, verilen bir yağıştan akış kestirimi yapabilmek için dikkate değer gelişmeler kaydetmişlerdir. Ancak yağış ve akış arasındaki ilişki tanımlanırken oldukça önemli bazı dezavantajlar vardır. Bu dezavantajlar, havzaların çok karmaşık doğrusal sistemler olmaları ve bu havzaların hidroloji açısından davranışlarını kontrol eden süreçlerin zamana ve konuma göre değişkenlik göstermeleri şeklinde kısaca özetlenebilir.

Hidrolojistler su dengesi, birim hidrograf ve bilgisayar benzetimini içeren üç temel yaklaşımla hidrograf bileşenlerini karakterize etmeye çalışmışlardır. Sherman (1932) hidrografın bileşenlerini karakterize eden birim hidrograf kavramını geliştirmiştir.

### 3.5. Yağış- Akış Model Tipleri

Su kaynakları sisteminin planlamasında sistemin davranışını tanımlamak, veri üretme ve ileriye dönük kestirimler yapmak gereklidir. Bu nedenle çeşitli modeller geliştirilmiştir. Hangi tip modelin kullanılacağı incelenecek olaya bağlıdır. Örneğin yağış akışa göre çok daha bağımsız değerler alan bir değişkendir. Akışlarda ise bağımlılık unsuru çok kuvvetlidir. Bunun nedeni havzanın zemin özellikleri; bitki örtüsü gibi fiziksel özellikleridir.

Eskiden beri kullanılan geleneksel yağış-akış modelleri görgül kara-kutu modelleri, anlık kavramsal modeller ve fiziksel temelli modeller olmak üzere üç gruba ayrılabilirler. Pratikte en çok kullanılan yağış-akış modelleri ilk iki kategorideki modellerdir.

Görgül kara-kutu modelleri, yağışın akışa dönüşümünde yer alan fiziksel süreçleri açık bir şekilde ifade edememektedir. Kara kutu modelleri, Sherman'ın (1932) birim hidrograf kuramına dayanmaktadır. Bu modeller, parametre kestirimleri yapabilmek için yağış ve debi gözlemlerine gereksinim duyar. Bu tip modellerin geliştirilmesi ve kalibrasyonunda, çalışılan bölge dışında çok iyi sonuçlar verdiği inandırılmamaktadır.

Kavramsal yağış-akış modelleri, hidrolojik çevrimi yöneten giriş alt süreçleri ve fiziksel mekanizmalarla yaklaşık olarak tasarımılandırılmaktadır. Bu modeller genellikle basitleştirilmiş fiziksel yasalarla doğrusal olmayan, zamanda değişken ve deterministik havza özellikleri gösteren parametreleri birleştirir. Bu gibi modeller yağış-akış süreçlerinin alansal dağılım, zamanla değişen ve stokastik özelliklerini yok saymaktadır. Bu modeller basit olmalarına karşın, mevcut ölçülmüş hidrografları göstermekte oldukça başarılıdırlar. Bunun yanısıra, bu gibi modellerin uygulamasında ve kalibrasyonunda, karmaşık matematiksel ifadelerin olması kalibrasyonu için gerekli verinin fazla olma gereği ve modelin tanımlanması ve kullanılmasında deneyimin önemli olması gibi zorunluluklar vardır.

Görgül kara-kutu ve kavramsal yağış-akış modellerinin tersine, fiziksel tabanlı yağış-akış modellerin araştırması günümüzde sıklıkla daha çok kullanılmaktadırlar. Bu modeller birleşik hidrolojik süreçlerin fiziksel yapılarını anlamaya yöneliktirler. Bu tip modellerde oldukça kapsamlı veriye gereksinim vardır. Görgül kara-kutu ve kavramsal yağış-akış modelleri, genelde yalnızca yağış-akış çalışmalarına yönelik değil, aynı zamanda tek bir yağış-akış



kavramından çok daha önemli olan aşınım, yüzeyüstü ve yüzeyaltı sularıyla ilgili bilgileri de kullanırlar. Fiziksel modelleri kullanarak belirli bir akarsu havzasının akımlarının modellenmesinde ise yeterli doğruluğa sahip uygun verinin elde edilmesi kavramı önem kazanmıştır. Pek çok durumda model için gerekli verinin toplanması zordur. Bunun ötesinde, bu tip modeller için verinin kalibrasyonu ve geçerliliğinin sınanması gerekir.

Bu durumda, yalnızca temel hidrometeorolojik veriyi kullanarak modelleme yapabilen yeni bir yöntem, yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. YSA, pek çok farklı sürecin öğelerinden elde edilen, doğrusal olmayan öğrenme düzeneğine sahiptir (Pincipe ve diğ., 2000). Farklı süreç elementlerinden her biri diğerleriyle ve kendileriyle birleştirilirler. YSA'ların temel avantajı, verilerin istatistiksel dağılımlarıyla ilgili hiçbir kabul yapılmaksızın etkin ve güçlü kestirimler yapabilmeyi sağlamasıdır. Böylelikle bu yöntemde optimum performans sağlanabilmektedir.

Akım bilgi süreçlerinin yüksek oranda doğrusal olmayan özellik göstermeleri, zamanla değişen ve konumsal dağılımlı olmalarına bağlı olarak basit modellerle kolaylıkla tanımlanamayacaklarına inanılmaktadır. Akım süreçlerinin modellenmesinde çok fazla zaman ve enerji harcanmaktadır. Bu modeller genellikle yağış-akış modelleri olarak bilinirler. Bu modellerin tümünde verilerin kalibrasyonu ve geçerliliğinin sınanması gerekmektedir. Pek çok durumda model için gerekli uygun verinin sağlanması zordur. Yapay sinir ağları mevcut hidrometeorolojik veriyle akış modellemesinde kullanılabilir.

### **3.6 Yapay Sinir Ağları Kullanımı**

Literatürde yapay sinir ağları kullanılarak yapılan birçok çalışma vardır. Yapay sinir ağları klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, yapay nöronların doğrusal olmamaları, doğadaki her türlü soruna uygulanabilmeleri, öğrenme algoritmasının oluşturulmasında sağladığı kolaylıklar ve eğitim aşamasında eksik parametrelerle uygulanan sistem girişine karşılık, en uygun sistem çıktısını üretebilmeleri gibi pek çok üstünlükleri vardır.

Kiş (2001, 2003), yaptığı çalışmada, Yapay Sinir Ağları kullanarak akış kestirimi yapmıştır. Ölçülmüş aylık toplam akış verilerinin bir kısmını yapay sinir ağlarında eğitmiş, bir kısmı ile de sınımıştır. Aylık toplam akarsu akışlarını kestirmek için eğitim azaltma algoritması

ile yapay geri yayımlı sinir ağı kullanılmıştır. Geçmiş ayın verileri kullanılarak, içinde bulunulan ayın verileri elde edilmeye çalışılmıştır. Üç tabakalı YSA'nın aylık toplam akışları etkin bir şekilde kestirildiği sonucuna varmıştır.

Öztopal ve diğ., (2003) yaptıkları çalışmada, yağış ve buharlaşma girdilerinden yararlanarak, akış kestirimi yapabilmek için YSA yardımıyla bir akış modeli oluşturmuşlardır. 1971-1991 yılları arasında Büyükçekmece'nin aylık yağış, buharlaşma ve akış ölçümleri kullanılmıştır. Toplam 224 verinin 112'si, kurulan YSA modelini eğitmek, 112 veri ise kestirim için kullanılmıştır. Eğitime işleminde geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Modelleme sonucunda, eğitim aşamasında korelasyon değeri, 0,82; kestirim aşamasında ise 0,81 olarak bulunmuştur.

Chiang ve diğ., (2004) yaptıkları bu çalışmada, yapay sinir ağlarının iki temel tipi olan, statik ve dinamik sinir ağlarının sistematik bir karşılaştırmasını yapmışlardır. Statik sinir ağları için, iki tane geri yayımlı öğrenme algoritması, standart geri yayımlı algoritması (SGYA) ve bileşik eğim (BE) algoritması kullanılmış; dinamik-geri besleme ağı için gerçek zamanlı, yinelemeli öğrenme algoritması (GZYÖA) kullanılmıştır. Taiwan'daki Lan-Yang Akarsuyu'na ait 23 sağanak olayı ve 1632 yağış-akış veri kümesi kullanılarak, 1 saat öncesinde akım kestirimi için yapay sinir ağlarının verimliliği ve uygulanabilirliğini gösterilmiştir. Statik bir ağ için, kurulu bir ağın verimliliği bakımından, BE yönteminin standart SGYA yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. BE algoritması kullanan statik yapay sinir ağı ile GZYÖA kullanan dinamik yapay sinir ağı karşılaştırıldığında ise, statik-ileri besleme sinir ağlarının, yalnızca uygun ve elverişli bir eğitim veri seti olması durumunda yeterli sonuçlar verdiği, dinamik sinir ağlarının statik sinir ağlarına oranla daha iyi ve daha istikrarlı sonuçlar verdiği, öğrenme bakımından GZYÖA algoritmasının dinamik ağın sürekli olarak güncellenmesinde kullanıldığı sonuçlarına varılmıştır.

Sajikumar ve Thandaveswara (1999), yaptıkları çalışmada, çok fazla veri kullanılmadan başarıyla kalibre edilebilecek bir yağış-akış modelinin başta veri sıkıntısı çekilen gelişmekte olan ülke havzaları olmak üzere genel olarak her havza için gerekli olduğunu ifade etmişlerdir. Bir yapay sinir ağı modeli olan, Geçici Geri Yayınımı Sinir Ağı (GGYSA), aylık yağış-akış modeli olarak uygulanmıştır. Modelin performansı, Lee ve Thuthapuzha akarsularının verileri kullanılarak, eksik veri senaryosunda İndirgenmiş Volterra-tipi İşlevsel Seri Modelleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, 6 yıl gibi kısa bir kalibrasyon süresi için, test

edilen GGYSA modelinin, kara-kutu modelleri arasındaki en verimli model olduğunu göstermiştir.

Alp ve Cıgızoğlu (2004), yaptıkları çalışmada eldeki meteorolojik verilerin yardımıyla akış kestirimi yapabilmek için su kaynakları uygulamalarında sıkça kullanılan ileri beslemeli geriye yayılım yöntemi (İBGY) ile geliştirilmiş regresyon sinir ağı (GRSA) yöntemini kullanmışlar ve sonuçları seçilen performans ölçütleri cinsinden karşılaştırmışlar ve İleri Beslemeli Geriye Yayılım Yönteminin (İBGY) geliştirilmiş regresyon sinir ağı (GRSA) yöntemine oranla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Çalışmada, belli bir YSA mimarisi ile en iyi İBGY sonuçlarını elde etmek için çok sayıda benzetim yapılması gerekliliği belirtilmiştir. Ayrıca, YSA uygulaması öncesi yapılan oto-korelasyon ve çapraz-korelasyon çözümlemesinin YSA mimarisindeki girdi sayısı hakkında önemli bir ipucu verdiği sonucuna varılmıştır. YSA uygulaması öncesinde yapılacak bir istatistik çözümlemenin, yapay sinir ağları çalışmalarındaki süreyi azaltacağı ve GRSA modelinin su kaynakları problemlerinde rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Şen ve Sönmez (1998), çalışmalarında yapay sinir ağı mimarisi ile yağışın iki zaman önceki geçmiş değerler ile buharlaşmanın bir zaman önceki değerini esas alarak, akış kestirimi yapmışlardır. 1974-1990 yılları arasında gözlenen akış, yağış ve buharlaşma verilerinin aylık toplam, yağış ve buharlaşma değerlerinden yararlanarak, akış kestirimini yapmışlardır. 200 aylık verinin yarısının eğitim, yarısının ise test amacıyla kullanıldığı bu çalışmada, eğitim için geriye yayılma algoritması kullanılarak 16000 iterasyon yapılmıştır.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

# YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

### 4.1 Giriş

Yapay sinir ağları, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturma yaklaşımına dayanır. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. Beynin işleyiş kuralları bir çok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmış, beyin işlevlerini taklit edebilen YSA modelleri üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının öğrenme özelliği, bu yaklaşımın cazibesini daha da artırmıştır.

Günümüzde, yapay sinir ağları, mühendislik alanında, imalat sanayide, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımında, tıp alanında, askeri alanda ve buna benzer birçok alanda uygulama sahası bulabilmektedir. YSA., bir sisteme ilişkin olarak tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal olması zorunlu değildir. Yapay sinir ağları çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlarda üretebilirler.

Yapay sinir ağları üzerine oluşturulan ilk makale, 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından yayınlanan “Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap” konulu makaledir ancak bu tarihten önce de konuyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Söz konusu çalışma aynı zamanda sayısal bilgisayarların geliştirilmesi konusunda Van Neumann’a esin kaynağı olmuştur. Yapay sinir ağlarının gerçek bir problemin çözümünde ilk kullanımı, Widrow tarafından geliştirilen ses sinyallerinden gürültülerin ayıklama uygulamasıdır.

### 4.2 Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

Yapay sinir ağları basit bir anlatımla birçok basit işlemci elemandan oluşan yapılardır. Bu elemanlar farklı formlarda ifade edilebilen nümerik verileri taşıyan bağlantılar ve ağırlıklar ile

birbirlerine bağılıdır. Yapay sinir ağlarındaki gelişmelerin ana kaynağı, insan beyninin rutin olarak gerçekleştirdiği karmaşık hesapları yapabilen yapay sistemlerin yapılabileceği ümididir. Literatürdeki yapay sinir ağları tanımlarına bakıldığında zaman, YSA'nın herkes tarafından kabul edilmiş genel bir tanımı bulunmamakla birlikte, yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş bazı tanımlar şunlardır;

Haykin (1999) Sinir Ağlarına Detaylı Bir Bakış (Neural Networks:A Comprehensive Foundation), isimli kitabında yapay sinir ağını, "Bir sinir ağı, bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit birimlerden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemcidir." olarak tanımlar.

Zurada(1992) Yapay Sinir Sistemlerine Giriş (Introduction to Artificial Neural Systems), adlı kitabında YSA'nı "yapay sinir sistemleri veya sinir ağları deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemlerdir." şeklinde tanımlamaktadır.

Kang (1992) ise yapay sinir ağını, insan beyni gibi biyolojik sinir sisteminden ilham edilen bir bilgi işlem paradigması olarak; bu paradigmanın anahtar elemanını ise bilgi işlem sisteminin yapısı olarak tanımlamıştır.

Yapay sinir ağlarının çok farklı problemlerin çözümünde kolaylıkla kullanılabilmesinin anlaşılmasıyla konuya olan ilgi artmıştır ve çok farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak matematiksel modelleri oluşturulamayan veya çok zor tanımlanabilen problemlerin çözümü için kullanılır (Sağıroğlu ve diğ., 2003).

Yapay sinir ağları kavramını çekici kılan özellikler aşağıda sıralanmıştır.

1. Sistemde paralellik vardır ve toplamsal işlev yapısal olarak dağılmıştır. Başka bir deyişle, bir çok nöron eşzamanlı olarak çalışır ve karmaşık bir işlev çok sayıda küçük nöron aktivitesinin bir araya gelmesinden oluşur. Bu da, zaman içerisinde herhangi bir nöronun işlev dışı kalması durumunda ağ başarımının dikkate değer ölçüde etkilenmeyeceği anlamına gelir.

2. Ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri çıkarsaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de anlamlı yanıtlar üretebilmesini sağlayan genelleme özelliğine sahiptir.
3. Ağ işlevi doğrusal değildir.. Yapı üzerinde dağılmış belli tipteki doğrusal olmayan alt birimler, özellikle, istenen eşleştirmenin denetim yada tanımlama işlemlerinde ve doğrusal olmama durumunda işlevin doğru biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak olası kılar. Burada işlevin doğru biçimde gerçekleştirilebilmesi için yapısal bir esneklik gerekliliği bulunmaktadır.

Günümüzde bir çok alanda yapay sinir ağları uygulamalarına rastlamak mümkündür. Özellikle örtü tanıma, işaretleme, sistem tanımlama ve doğrusal olmayan denetim alanlarında yapay sinir ağlarının değişik modelleri ve değişik öğrenme stratejileri başarı ile kullanılmıştır. Burada, her bir problemin çözümü için, yapay sinir ağları yaklaşımı ile önerilebilecek çözümler, tasarımcıya bazı seçenekler sunar.

Bunların bazıları kimi zaman problemin doğası gereği seçenek olmaktan çok zorunluluk haline de gelebilir. Bu nedenle, tasarımcıların bu seçenekleri doğru değerlendirmeleri gibi bir zorunluluk, her yaklaşımda olduğu gibi yapay sinir ağları alanında da söz konusudur.

Ele alınan bir problemin yapay sinir ağları yaklaşımı ile çözümünde tasarımcının önüne çeşitli seçenekler çıkar. İlk seçenek öğrenme mekanizması üzerinedir. Literatürde iki tip öğrenme stratejisinden bahsedilmektedir. Bunlar, öğreticili (denetimli) öğrenme ve öğreticisiz (denetimsiz) öğrenme olarak isimlendirilirler. Bu iki yaklaşım arasındaki temel fark, istenen çıkış değerlerinin mevcut olup olmamasıdır. Eğer bir eğitici, sistem çıkışlarının istenilen değerlerini temin ediyorsa bu tip öğrenme öğreticili öğrenme grubuna girer. Tasarım şartları, istenilen değerlerin temin edilmesine imkan sağlamıyorsa bu tip öğrenme, öğreticisiz öğrenme adını alır.

Öğreticisiz öğrenme algoritmaları daha çok, sistemin geçmişte karşı karşıya kaldığı veri kümesinin içerdiği istatistiksel bilgilerin çıkarsamasını amaçlar. Böylelikle çok elemanlı veri kümeleri içerisinde deneyim yoluyla bilgi genelleştirilmesi yapılabilir.

Tasarımda ikinci seçenек mimari üzerinedir ve iki alt başlıkta değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi verinin akış yönüdür. Eğer ağ üzerinde bilgi akışı sürekli ileri doğru ise bu ağ yapısı “ileri sürümlü (beslemeli)” olarak bilinir. Ağ yapısında geri besleme bağlantıları varsa bu tipteki sistemlere “geri beslemeli” denir

Tasarımcının sunduğu üçüncü seçenек öğrenme algoritmalarıdır. Literatürde bir çok öğrenme algoritmasından bahsedilmektedir ve bunlar öğrenme denem olguyu, matematiğin kuralları ile ölçülebilir büyüklüklere dönüştürerek, bir başarıml ölçütünün oluşturulmasına, ölçütün zaman içerisinde arttırılmasına yada bir maliyet ölçütünün oluşturulmasına ve ölçütün zaman içerisinde azaltılmasını sağlayacak parametre değışikliklerinin hesaplanmasına dayanırlar. Burada parametre güncelleme işlemi için türetilen bilginin hangi yöntemlerle oluşturulduğu, tasarım esnekliğinin ana temasıdır (Efe ve diğ., 2000).

### **4.3 Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları**

Son yıllarda yapay sinir ağları, günümüze kadar çözümünü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. Yapay sinir ağları, numune tanımda en iyi olduğu için önceden bildirme yada tahmin gerektiren durumlarda uygun bir şekilde kullanılır.

Satış tahmini, endüstri işlem kontrolü, tüketici araştırmaları, veri tahmini, risk yönetimi, pazarlama alanlarının yanında; haberleşmede konuşma tanımda, tıp alanında karaciğer iltihabının teşhisi, su altında maden tespit etme, üç boyutlu nesne tanıma, yapı çözümlemesi, el yazısı sözcük tanıma ve yüz tanımda da kullanılmaktadır.

### **4.4 YSA'ların Üstünlükleri**

#### **4.4.1 Doğrusal Olmama**

Yapay sinir ağlarının klasik yöntemlere göre sağladıkları üstünlükler aşağıda açıklanmıştır.

Yapay nöronların lineer olmama özelliği yapay sinir ağlarının doğadaki hemen her probleme uygulanabilmesini sağlamaktadır. Bu özellik, ağ yapısı içerisinde kullanılan lineer olmayan transfer işlevlerinden kaynaklanmaktadır.

#### **4.4.2 Öğrenme**

YSA'ları diğer yaklaşımlardan ayıran temel özelliktir. YSA'nın bir problemi öğrenmesi için problemin giriş verilerine karşılık gelen çıkış verilerinin veya sadece giriş verilerinin sağlanması gerekir. Giriş ve çıkış verileri ile tanımlanan öğrenme kümesi yeteri sayıda örnek içermelidir. Öğrenme süreci, sistem girişleri ve sistem çıkışı arasındaki ilişkiyi veya giriş verileri arasındaki ilişkilendirmeyi tanımlayan ağırlık verilerinin elde edilme süreci olarak da tanımlanabilir. YSA'na bu özellik öğrenme algoritması kullanılarak kazandırılır.

#### **4.4.3 Genelleme Yapma**

Eğitim sürecinin ardından YSA eğitim kümesi dışındaki veriler için de çıkışlar üretilebilir. YSA'nın ürettiği çıkışların kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı, test verilerinin bilinen sistem çıkışı ile YSA'nın çıkış değerleri karşılaştırılarak anlaşılabilir. Bu uygulama, genellenmenin testi olarak bilinir. Karşılaştırmada elde edilen hata değeri kabul edilebilir sınırlar içerisinde ise YSA çıkışlarının kabul edilebilir değerler olduğu farz edilir. YSA, eğitim aşamasından sonra sisteme çıkış üretmek için giriş verilerinin tüm parametrelerine ihtiyaç duymaz. Bu YSA'nın paralel yapısının sağladığı bir üstünlüktür. Eksik parametrelerle uygulanan sistem girişine karşılık en uygun sistem çıkış değeri üretilebilir. YSA'da ağırlıklar, biyolojik sistemlerdeki hafızaya karşılık gelir. Bu özellik sayesinde, deneysel verilerin elde edilmesinde ihtiyaç duyulabilecek yüksek maliyet ve zamandan tasarruf sağlanabilir.

#### **4.4.4 Uyarılama**

Yapay sinir ağları parametreleri değişen probleme veya sisteme uygun çözümler sağlamak için tekrar tekrar eğitilebilir. Eğitim gerçek zamanda da gerçekleştirilebilir. Bu özellik yapay sinir ağlarının hedef tanıma, uyarlamalı örnek tanıma, sınıflandırma, işaret işleme, otomatik kontrol ve sistem kimliklendirme ile modelleme gibi alanlarda kullanımını sağlamıştır.

#### **4.4.5 Veri İşleme**

Biyolojik sistemlerde veri, dağınık yapıda saklanır. Yapay sinir ağlarında ise, ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmış şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve işlenmektedir. Ağırlıklar herhangi bir anda YSA'nın problemle ilgili olarak sahip bulunduğu bilgiyi ifade



eder. Yapay sinir ağlarında veri dağıtılmış birleşik hafıza yapısı kullanılır ve bilgi farklı formlara dđnüřtürölerek işlenebilir.

#### **4.4.6 Yanılığı ve Gürültüye Karşı Duyarlılık ve Hoşgörü**

YSA'nın genelleme yeteneği gerçekteştirilen testlerle sınanır. Genelleme yeterli seviyede ise, giriş vektörünü tanımlayan parametrelerden bazılarının verilmemesi veya sağlanmaması durumunda yada ağırlıklarından bazılarının bozulması veya kullanılamaz duruma gelmesi halinde de, giriş vektörünü karşılayan çıkış verileri, YSA tarafından kabul edilebilir doğrulukta üretilebilmektedir. YSA giriş vektöründen veya kendi yapısından kaynaklanabilen hataları yok edebilir. Gürültü balansı özelliği, YSA'nın klasik hesaplama yöntemlerine göre bir üstünlüğüdür. YSA'larda, çok sayıda bulunan işlemci eleman paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki tüm bağlantılara dağılmıştır. Giriş veri kümesinde bulunabilecek herhangi bir gürültü, bütün ağırlıklar üzerine dağıtıldığından, gürültü etkisi tolere edilebilir. Geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri daha fazladır.

#### **4.4.7 Donanım**

YSA'lar, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçektelebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini ve örnek tanıma, işaret işleme, sistem kimliklendirme ve denetim gibi gerçekte zaman uygulamalarında kullanımını artırır. YSA donanımlarının bugün kolaylıkla elde edilebilmesi ve genel olarak farklı çalışmalarda kullanılabilmesi, en ilgi çekici özellikleri arasında olup gerçekte zamanlı uygulamalarda çok önemlidir.

### **4.5 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması**

#### **4.5.1 Genel**

Yapay sinir ağları genel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerden veya diğer bir ifade ile nöronlardan oluşurlar. Nöronlar arasındaki bağlantıların yapısı ağın yapısını belirler. İstenilen hedefe ulaşmak için bağlantılarda yapılacak değiştirmeler, öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde, ağın ağırlıkları değiştirilir.

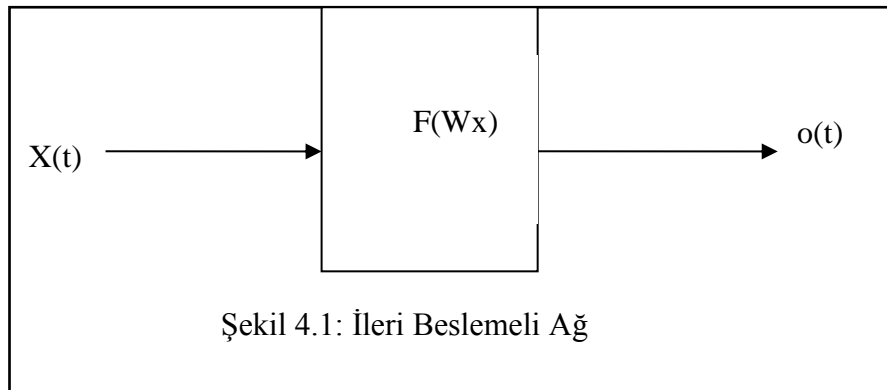
YSA'lar yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılırlar. Yapay sinir ağları, yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir.

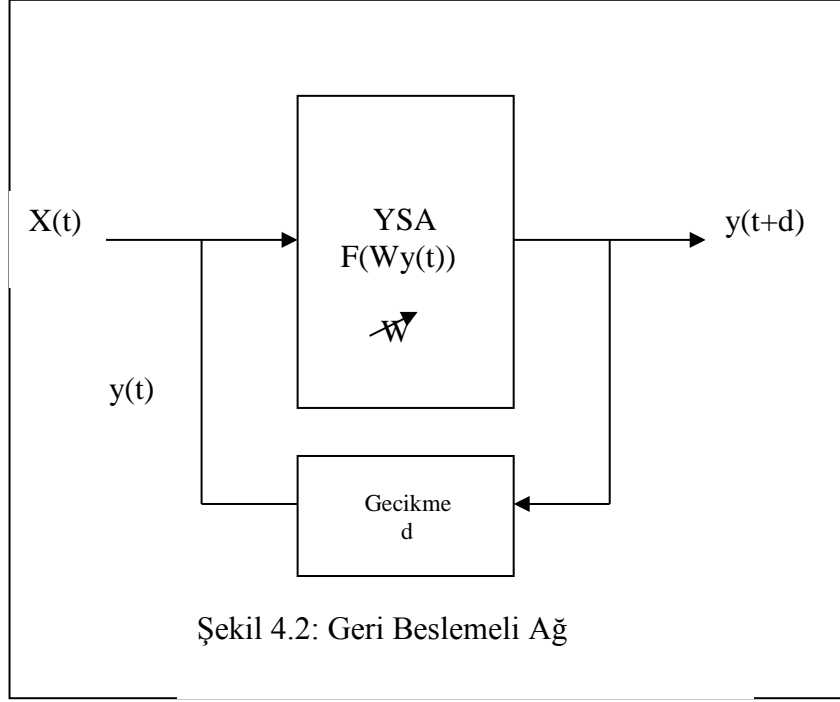
#### 4.5.2 İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar (İE) genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlar fakat aynı katman içerisinde bağlantılar bulunmaz. Şekil 4.1'de ileri beslemeli ağ blok diyagramı gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perceptronlar (multilayered perceptrons-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir. Bu ağlar statik ağlar olarak da bilinirler.

#### 4.5.3 Geri Beslemeli Ağlar

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katman çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler, hem ileri hem de geri yönde aktarılmış olur. Şekil 4.1'de bir geri beslemeli ağ yapısı görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir.





#### 4.5.4 Öğrenme Dereceleri

Yapay sinir ağlarının öğrenmesindeki derece kontrol edilebilir birkaç faktöre bağlıdır. Düşük dereceli öğrenmede, bir sistemin eğitimini uygun bir şekilde yerine getirmek için eğitimi başarmada oldukça fazla zaman harcanır. Ağın boyutu, paradigma seçimi, mimarisi, çalışma yada öğrenme kuralının tipi ve arzu edilen doğruluk gibi faktörler, bir ağın eğitiminin ne kadar uzun süreceğinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Öğrenme işlevlerinde öğrenme derecesi 0~1 arasında seçilebilir.

### 4.6 Yapay Sinir Ağlarının Başlıca Öğeleri

#### 4.6.1 Genel

Yapay bir nöronun temel öğeleri; nöronun giriş, çıkış yada gizli tabakalarından birinde kullanımında geçerlidir.

Bu öğeleri şu şekilde açıklayabiliriz;

#### 4.6.2 Ağırlıklandırma Faktörleri

Bir nöron, genellikle girişleri eş zamanlı olarak kabul eder. Her bir giriş, işlem elemanın toplam işlevi üzerinde etki yapan kendisi ile ilgili giriş ağırlığına sahiptir.

Ağırlıklar, yapay bir nöron tarafından listelenmiş girişlerin sinyallerinin şiddetini belirlemek için ağ içerisinde uyarlayıcı katsayılardır. Bunlar, girişlerin bağlantı kuvvetlerinin bir ölçümüdür. Bu kuvvetler, ağın özgül topolojisine göre yada öğrenme kuralları ile bir çok eğitim seti içerisinde değiştirilebilir. Ağırlıklandırma faktörleri, genellikle, rastgele seçilir ve yakınsama durumuna göre kesinlik kazanır.

#### 4.6.3 Toplam İşlevi

Bütün girişlerin ağırlıklandırılmış toplamını hesaplamak, işlem elemanın işlemesi için ilk adımdır. Girişler ve ağırlıklar matematiksel olarak,  $(I_1, I_2, \dots)$  ve  $(w_1, w_2, \dots)$  şeklinde gösterilebilirler. Toplam işlevi, her bir giriş elemanı ile bu elemana karşı gelen ağırlık bileşeni tarafından artırılması ile oluşturulur. ( giriş1 =  $I_1 * w_1$ , giriş2 =  $I_2 * w_2$  vb..toplam= giriş1+giriş2 )

Bu işlemler, bütün tabakalarda benzerdir. Bir önceki nörondaki çıkışlar bir sonraki nöronun giriş değeri olmaktadır. Toplam işlevi basit giriş ve ağırlıktan daha karmaşık olabilir. Giriş ve ağırlık değerleri transfer işlevi üzerine geçmeden önce farklı yollarda birleştirilebilir. Basit bir çarpımının toplanmasında toplam işlevi, minimum, maksimum, çarpım veya birkaç normalleşme algoritması seçilebilir. Sinir ağlarının birleştirilmesi için kesin algoritmaya ağırlık mimarisi ile karar verilir.

#### 4.6.4 Transfer (Aktivasyon) İşlevi

Ağırlıklandırılmış toplamın sonucu, transfer olarak bilinen bir işlem algoritması içerisinde bir çıkış işlemi olarak geçirilir. Transfer işlevi içerisinde sinir çıkışını elde etmek için, toplam değeri bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Eğer bu toplam eşik değerinden büyük ise bu durumda işlem elemanı bir sinyal oluşturur.

Eğer giriş ve ağırlık çarpımının toplamı eşik değerinden küçük ise bir sinyal oluşturmaz. Eşik ve transfer işlevi genellikle non lineerdir. Lineer işlevler, çıkış değerleri girişlerle orantılı

olduğu için sınırlıdır. Transfer işlevleriyle ilgili daha detaylı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir.

#### **4.6.5 Çıkış İşlevi**

Her bir işlem elemanı bir çıkış sinyali verir. Biyolojik nöronlardaki gibi, bir çok girişin olduğu bir yerde sadece bir çıkış sinyali olabilir. Normalde çıkış sinyali, transfer işlevinin direk sonucudur. Bununla birlikte, birçok ağ topolojisinde komşu işlem elemanları arasındaki yarışmayı birleştirmek için transfer işlevi değişir.

#### **4.6.6 Hata İşlevi ve Geriye Yayma Değeri**

Bir çok öğrenme ağında, arzu edilen çıkış değeri ile ağın elde ettiği değer arasındaki fark hesaplanır. Bu ham hata değeri, belirli ağ mimarisi içerisinde karşılaştırmak için hata işlevi tarafından değiştirilir. Bu hata, bir önceki tabakaya geriye doğru yayılır. Bu geriye yayılan değer ya geçerli hata ölçümü (transfer işlevinin türevi ile ölçülerek) yada, ağ tipi üzerine bağlı arzu edilen değer olabilir.

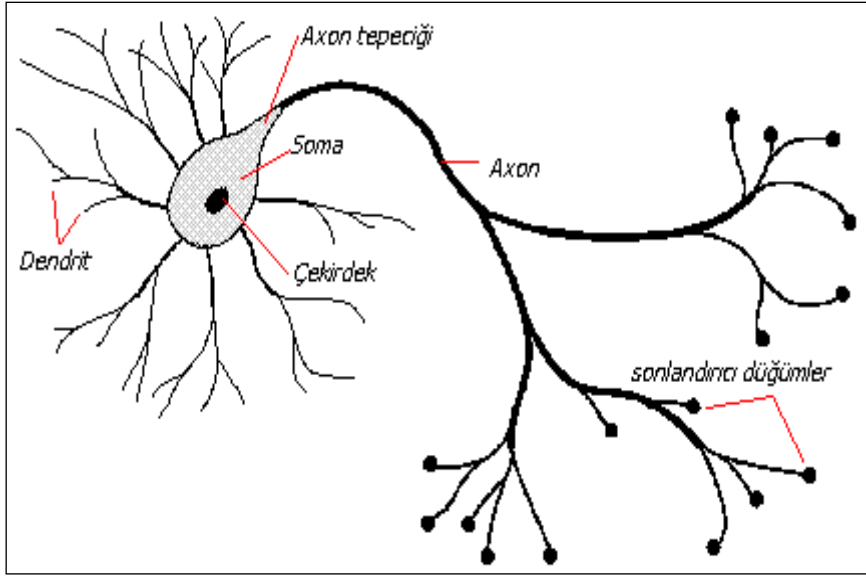
#### **4.6.7 Öğrenme İşlevi**

Öğrenme işlevinin amacı, nöron tabanlı algoritmaya göre her bir işlem elemanının girişleri üzerindeki değişebilir bağlantı ağırlıklarını değiştirmektir. İki tip öğrenme vardır, bunlar; öğreticili ve öğreticisiz öğrenmedir.

### **4.7 Sinir Sistemleri**

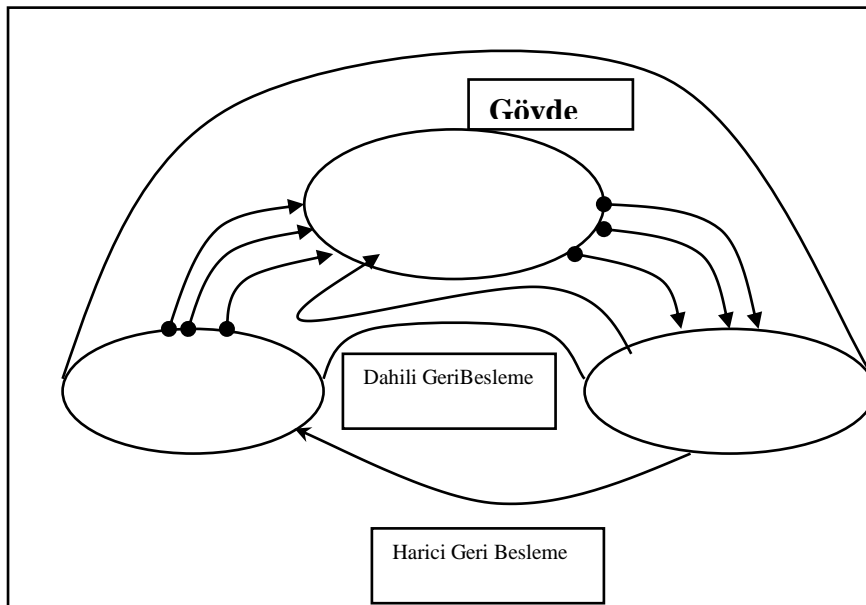
#### **4.7.1 Genel**

Biyolojik sinir ağının temel inşa bloğu olan, basit sinir hücresi nöron olarak adlandırılır. Şekil 4.3'de şematik diyagramı gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşur. Soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritlerden oluşur. Dendritler üzerinden girişler alınır, soma tarafından girişler işlenir. Nörondaki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson dendrit bağlantısı ise synapse olarak adlandırılır. Synapse nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.



Şekil 4.3: Basit bir sinir hücresi

Bir hipoteze göre, nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca, nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyin, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebilir. Çok büyük bir sinir ağı, çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla birbirine bağlıdır. Ağa giriş, duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarım elektriksel sinyaller biçimindedir. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu efektörler kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir. yukarıda belirtildiği gibi sinir sisteminde bilgi akışı üç ana kısımdan oluşmaktadır; reseptörler, sinir ağı ve efektörler.

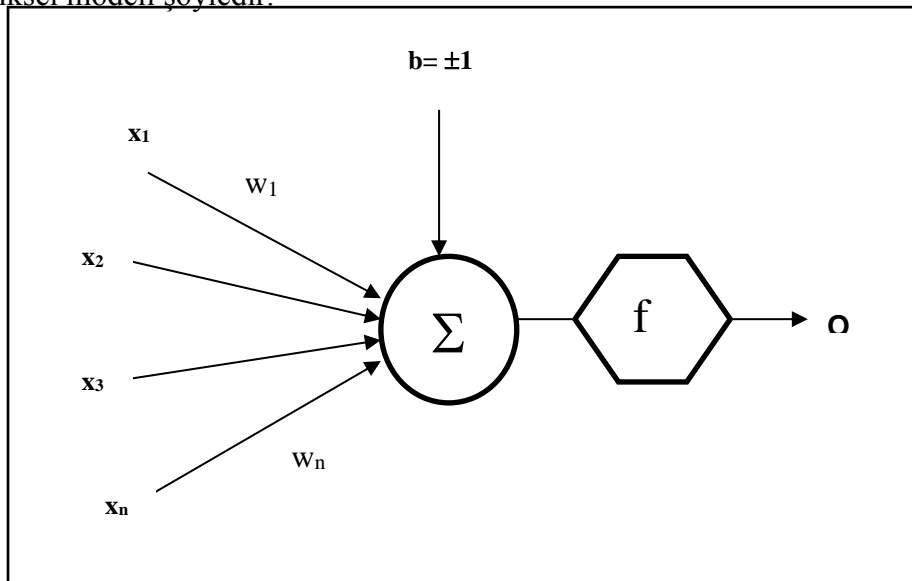


Şekil 4.4: Sinir sisteminde bilgi akışı

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi bilgi işlenmekte, değerlendirilmekte ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırılmaktadır. Gerekli olduğunda komutlar o yerde üretilir ve motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini yönetir ve denetlerler. İç ve dış geri beslemeli kontrolün ikisi de komutlarla gerçekleştirilir. Görüldüğü tüm sinir sisteminin yapısı kapalı-çevrim bir kontrol sistemini andırmaktadır.

#### 4.7.2 Yapay Sinir Ağı Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli Şekil 4.3’de görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama işlevi, aktivasyon işlevi ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri, ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam işlevi ise net girişi hesaplar. Net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon işlevi işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon işlevi doğrusal olmayan bir işlevdir. Şekil 4.5’de görülen “b” bir sabittir, bias veya aktivasyon işlevinin eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir.



Şekil 4.5: Temel yapay sinir ağı hücresi.

Çıkış,  $o = f(W.X + b)$  şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \quad (4.1)$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Formülize edilirse;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(net) \quad (4.3)$$

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \text{ şeklinde de yazılabilir.} \quad (4.4)$$

Yukarıdaki formülde görülen f aktivasyon işlevidir. Genelde nonlinear olan aktivasyon işlevinin çeşitli tipleri vardır.

### 4.7.3 Matematiksel Sinir Yapısı (Nöronun Matematik Modeli)

#### 4.7.3.1 Nöron Dinamiği

Nöronlar sinir ağlarını oluşturan, tek başlarına ele alındıklarında çok basit bir işleve sahip işlemcilerdir. Bir nöron yapısı içerisinde üç ana bölüm bulunur. Bunlar sırasıyla sinapslar, toplayıcı ve aktivasyon işlevidir. Şekil 4.6'da bir nöronun matematiksel modeli gösterilmektedir.

Şekil 4.6'da görüleceği gibi, nöron girdileri sinaptik bağıntılar üzerindeki ağırlıklar ile çarpılarak bir toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam, nöronun aktivasyon işlevinden geçirilerek çıkışlar hesaplanmaktadır. Denklem 4.3 ağırlıklı toplamın oluşturulması, Denklem 4.4 ise nöron çıkışının hesaplanmasını ifade etmektedir.(Efe ve diğ.,2000).

$$S = w_1.u_1 + w_2.u_2 + w_3.u_3 + \dots + w_n.u_n - \theta = \sum_{i=1}^n w_i.u_i \quad (4.5)$$

$$o = \psi(S) \quad (4.6)$$

S = Toplam işlev



$u_i$  = Giriş değerleri

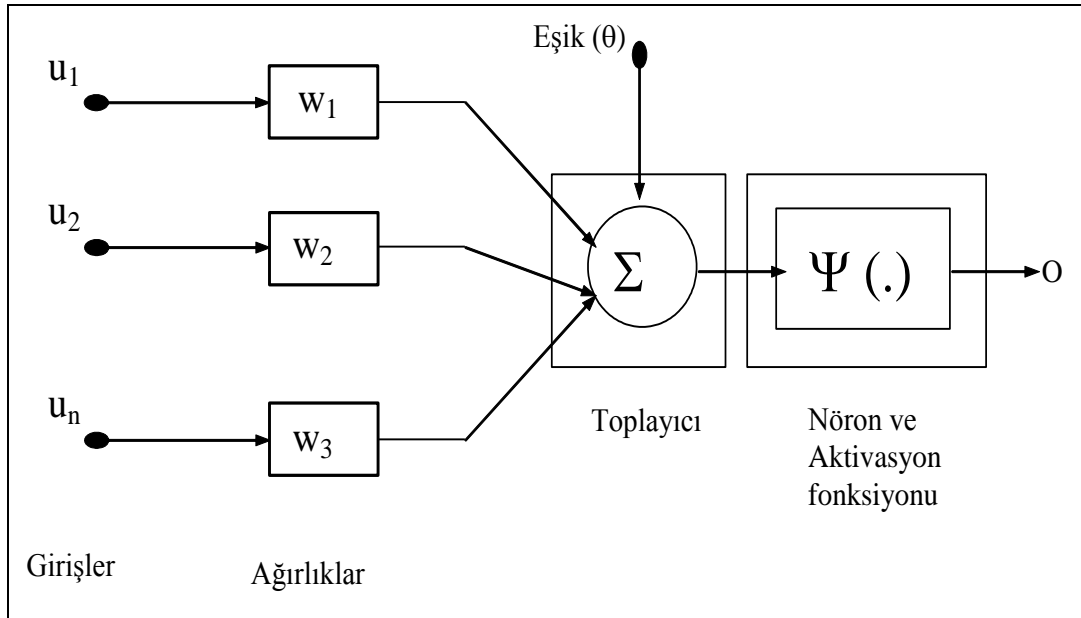
$w_i$  = Ağırlık değeri

$o$  = Çıkış değeri

$\theta$  = Eşik

$\Psi(S)$  = Transfer (Aktivasyon) işlevi

Her bir girdideki değişim, nöron çıkışında belirli bir değişime neden olmakta ve bu değişimin genliği, girdinin etki derecesini belirleyen bağlantı kazançlarına, toplayıcının eşik değerine ve nöron aktivasyon işlevinin tipine bağlıdır. Eşik değerinin kullanımı, pratikte (-1) ya da (+1) değerine sahip sabit bir girdinin ( $\theta$ ) ağırlığına sahip bir bağlantı ile toplayıcıya girmesi şeklindedir.

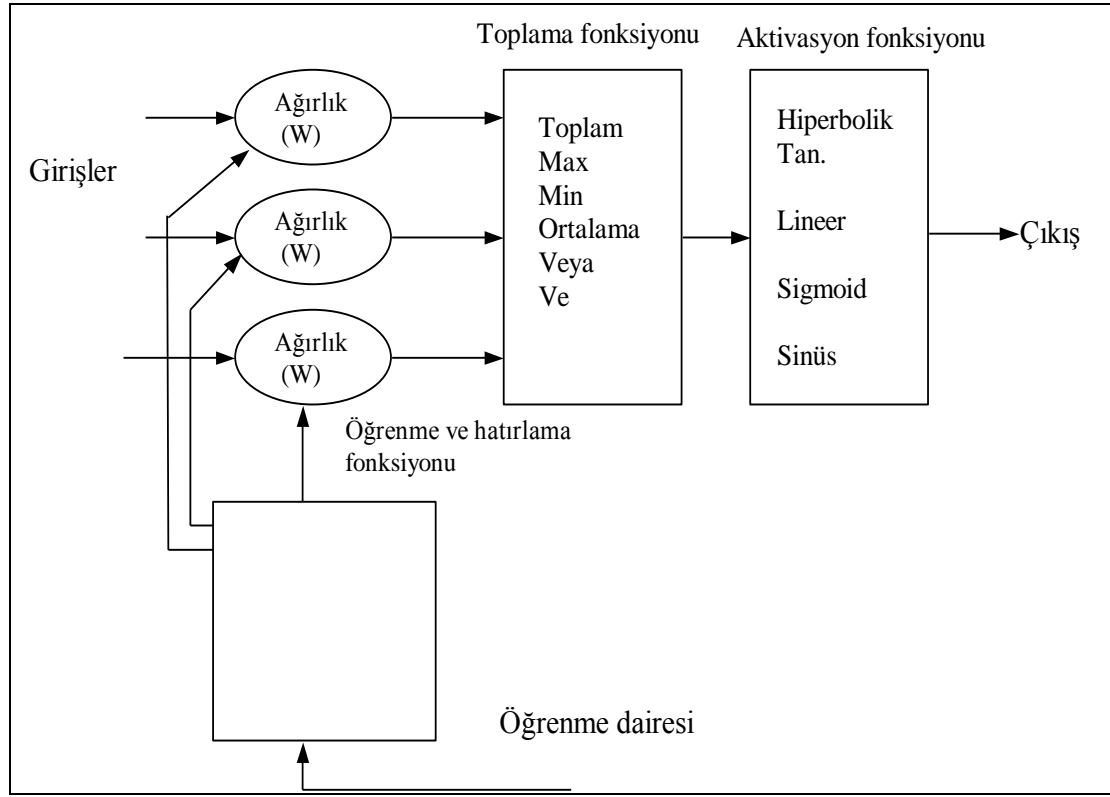


Şekil 4.6: Nöronun matematik modeli

Her nöron, gelen sinyalin seviyesine göre açık yada kapalı duruma geçerek basit bir tetikleyici görev üstlenir. Bu işlemleri yaparken nöronlar giriş bilgilerini ağırlandırarak bunları lineer toplar ve bir eşik, doğrusal veya doğrusal olmayan bir işlevde işleyerek çıktısını verir. Bu çıktıyı hücreye bağlantısı olan diğer nöronlar giriş bilgileri olarak alırlar.

#### 4.7.3.2 Yapay Nöronların Elektronik Çalışması

Günümüzde yapay nöronların “işlem elemanları” diye adlandırılan ve basit yapay nörondan daha fazla çalışma yeteneğine sahip olan geçerli yazılım paketleri vardır. Şekil 4.7’de basitleştirilmiş nöronun sistematığı görülmektedir.



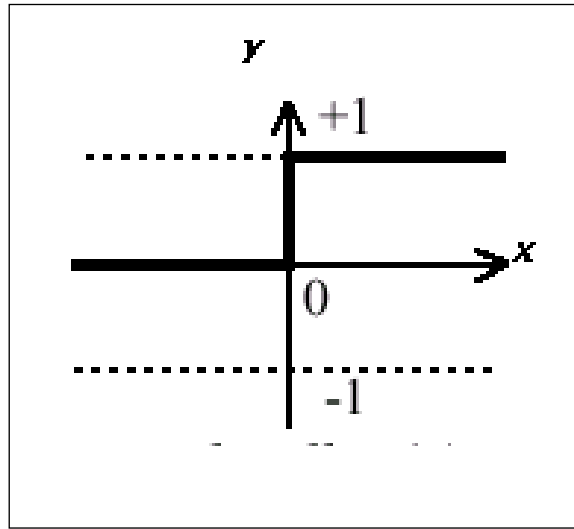
Şekil 4.7: İşlem elemanının modeli

Bu şekilde, sol üst kısımdan işlem elemanına giriş değerleri girer. Bu işlem, ağırlık faktörü ile artırılmış her bir giriş için ilk adımdır. Daha sonra ağırlıklarla değişmiş olan bu girişler toplama işlevinin içine girerler ve mutlak değer olarak toplanır. Burada bir çok farklı işletme tipi seçilebilir. Bu işlemler, ortalama değerler, en büyük, en küçük gibi ileri çoğalan bir çok değerler üretebilir. Bazen toplam işlev, aktivasyon işlevinin ilavesi ile daha karmaşık olmaktadır.

Diğer bir durum, transfer işlevinin içine gönderilen toplam işlevinin çıkışıdır. Transfer işlevleri genellikle Sigmoid, Sinüs ve tanjant hiperbolik işlevi ile desteklenir. Bu transfer işlevi çıkışı için bir ölçek yada kontrol olabilir. Transfer işlevinin sonucu genellikle işlem elemanının direkt çıkışı olmaktadır. Sonunda işlem elemanı transfer işlevinin sonucunu okur. Bu çıkış diğer işlem elemanlarının (kendisinden sonra gelen ) giriş değeri olmaktadır.

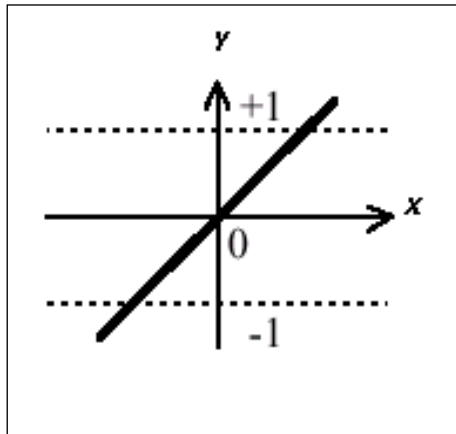
#### 4.7.4 Aktivasyon İşlevleri

Şekil 4.8’de eşik aktivasyon işlevinin grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon işlevi, net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değerini verir. Eşik aktivasyon işlevinin  $-1$  ile  $+1$  arasında değişeni ise signum aktivasyon işlevi olarak adlandırılır. Signum aktivasyon işlevi, net giriş değeri sıfırdan büyükse  $+1$ , sıfırdan küçükse  $-1$ , sıfıra eşitse  $0$  değerini verir.



Şekil 4.8: Eşik aktivasyon işlevi.

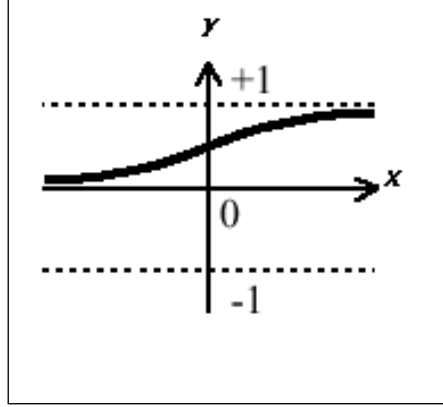
Şekil 4.9’da doğrusal aktivasyon işlevi görülmektedir. Lineer aktivasyon işlevinin çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon işlevinin lineer aktivasyon işlevi olabildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.9: Doğrusal aktivasyon işlevi

$f(x) = x$  şeklinde ifade edilir.

Şekil 4.10'da logaritma sigmoid transfer işlevi görülmektedir. Lojistik işlev olarak da adlandırılan bu işlevinin lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir böylece daha sonraki bölümlerde görülecek olan geri yayınlımlı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 4.10: Logaritma Sigmoid aktivasyon işlevi.

Lojistik işlevi,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki  $\beta$  eğim sabiti olup genellikle değeri 1 olarak seçilmektedir.

Diğer bir aktivasyon işlevi olan hiperbolik tanjant aktivasyon işlevi de lineer olmayan türevi alınabilir bir işlevdir. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu işlev lojistik işleve benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4.8)$$

Bu aktivasyon işlevlerinden başka işlevler de vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon işlevinin kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen işlevler en genel aktivasyon işlevleridir.

#### 4.7.5 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

#### 4.7.5.1 Genel

1990'lı yıllardan başlayarak günümüze kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları üç grupta toplanmaktadır. Eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

Eğitici öğrenmede, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin arzu edilen cevabı  $y$  eğitici tarafından sağlanır. Arzu edilen çıkış;  $y$  ile sinir ağı çıkışı;  $o$  arasındaki fark hata ölçüsüdür ve ağı parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi sürecinde, eğitici ödüllendirme-cezalandırma şemasını ağı uygulayarak hatayı azaltır. Bu öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi "eğitim kümesi" olarak adlandırılır.

Eğitici öğrenmede, eğitici öğrenmedeki gibi arzu edilen  $y$  çıkışları bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini ağı davranışını değiştirmekte kullanmak mümkün değildir. Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için, öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır.

Takviyeli öğrenmede, ağı davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir.

Birçok öğrenme algoritması bulunmakta olup, bunların en yaygın olarak kullanılanları; Geri Yayınım Algoritması ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmalarıdır.

#### 4.7.5.2 Geri Yayınım Öğrenme Algoritması

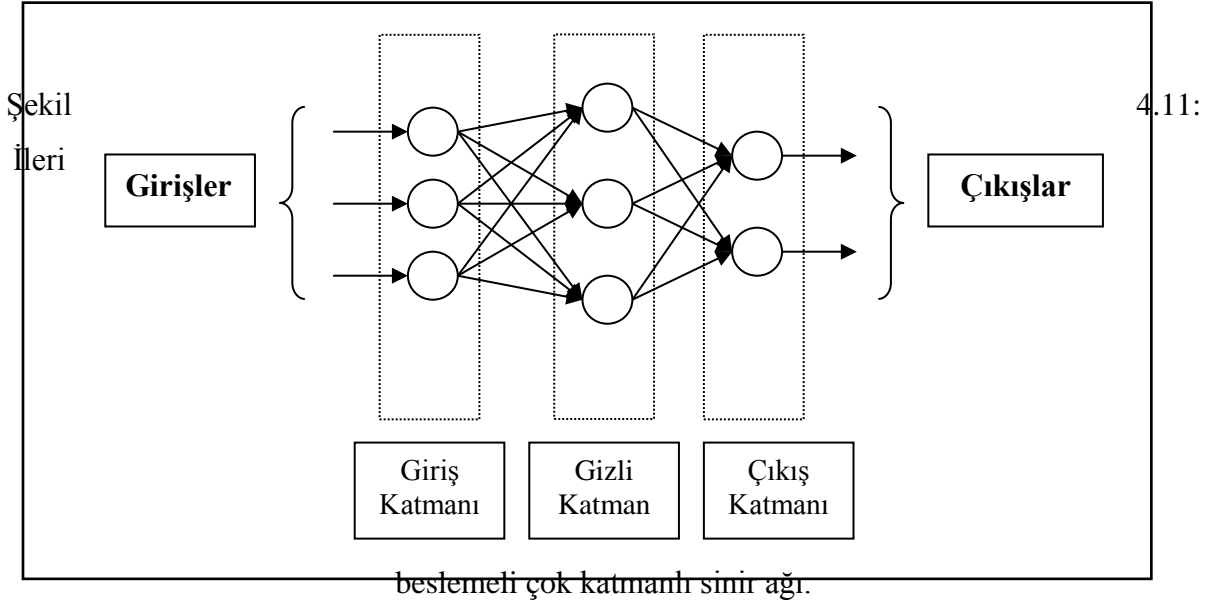
Geri yayınım algoritması, sinir ağının eğitici sınıfına giren genel bir algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır.

Girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmektedir. Hata;  $e(k)$ , arzu edilen çıkış (gerçek çıkış- $y(k)$ ) ile sinir ağının çıkışı ( $o(k)$ ) arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k)$$

(4.9)

Şekil 4.11’de birçok sinir hücresinin bir birine bağlandığı ileri yönlü çok katmanlı bir yapay sinir ağı görülmektedir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katman veya katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Sinir ağlarında kaç tane gizli katman kullanılacağı ve her bir gizli katmanda kaç nöron olacağı bugüne kadar belirlenememiştir, probleme göre değişen bu nitelikler deneme-yanılma yoluyla bulunur.



Şekil 4.11’deki çok katmanlı ağı düşünersek;

$k+1$ . katmanda  $i$ . birime net giriş;

$$n^{k+1}(i) = \sum_{j=1}^{S_k} w^{k+1}(i, j)o^k(j) + b^{k+1}(i) \quad (4.10)$$

Birim  $i$ 'nin çıkışı şöyle olacaktır;

$$o^{k+1}(i) = f^{k+1}(n^{k+1}(i)) \quad (4.11)$$

$M$  katmanlı bir ağ matris biçiminde ifade edilirse;

$$o^0 = x \quad (4.12)$$

$$o^{k+1} = f^{k+1}(W^{k+1}a^k + b^{k+1}) \quad (4.13)$$

$k = 0, 1, \dots, M-1$

Ağın temel görevi giriş-çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmektir.

$$\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_Q, y_Q)\}$$

Ağın performansı şöyledir;

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (y_q - o_q^M)^T (y_q - o_q^M) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q e_q^T e_q \quad (4.14)$$

Buradaki  $o_q^M$ , q. giriş ( $x_q$ ) olduğunda ağın çıkışıdır,  $e_q = y_q - o_q^M$  ise q.girişin hatasıdır.

Standart geri yayılım algoritması için yaklaşık adım düşümü algoritmasını kullanır. Performans indeksiyle şöyle yaklaşılır;

$$E = \frac{1}{2} e_q^T e_q \quad (4.15)$$

Burada toplam karelerin toplamı tek giriş-çıkış çifti için karesel hatayla yer değiştirilir.

Yaklaşık adım (eğim) düşümü algoritması ise;

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} \quad (4.16)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} \quad (4.17)$$

burada  $\alpha$  öğrenme oranı olup;

$$\delta^k(i) \equiv \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \quad (4.18)$$

performans indeksinin duyarlılığı k.katmanda i. birimin net girişinde değiştirilir. Burada (4.16), ve (4.18) kullanılarak,

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial w^k(i, j)} = \delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b^k(i)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial b^k(i)} = \delta^k(i) \quad (4.20)$$

Hassaslık yeterliliği aşağıdaki yinelemeli ilişkiyle de gösterilebilir.

$$\delta^k = F^k(n^k) W^{k+1} \delta^{k+1} \quad (4.21)$$

Burada;

$$\dot{F}^k(\underline{n}^k) = \begin{bmatrix} \dot{f}^k(n^k(1)) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dot{f}^k(n^k(2)) & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & \dot{f}^k(n^k(Sk)) \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

ve

$$\dot{f}^k(n) = \frac{df^k(n)}{dn} \quad (4.23)$$

$$\underline{\delta}^M = -\dot{F}^M(\underline{n}^M)(\underline{y}_q - \underline{o}_q) \quad (4.24)$$

Tüm öğrenme algoritmalarında şu adımlar izlenir. İlk önce (4.12), (4.13) kullanılarak giriş ileri yönde yayılır, sonra (4.24) ve (4.21) kullanılarak geri yayılır ve son olarak ağırlıklar ve denge (4.16), (4.17), (4.19) ve (4.20) kullanılarak güncellenir.

#### 4.7.5.3. Levenberg- Marquardt Algoritması

Geri yayılım algoritması (GYA) çok kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları bulunmaktadır. GYA sonuca çok yavaş olarak yaklaşmaktadır. Ayrıca lokal minimuma yakalanma riski de vardır. Geri yayılım, bir adım düşme algoritmasıdır, Levenberg - Marquardt (LM) algoritması ise, Newton metoduna bir yaklaşımdır. LM algoritması, Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir.

LM öğrenme algoritması minimumu araştırma metodlarının ikincisidir. Her bir iterasyon adımında, hata yüzeyine parabolik yaklaşımla yaklaşılr ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur.  $E(x)$  işlevi ile  $u$  ve  $x$  parametresine göre minimize etmek, Newton metodunda aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\underline{\Delta x} = -[\nabla^2 E(\underline{x})]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (4.25)$$

burada  $\nabla^2 E(\underline{x})$  ifadesi Hessian matrisidir ve  $\nabla E(\underline{x})$  ise eğimdir.  $E(\underline{x})$ 'in karelerin toplamı işlevi olduğunu farz edelim.



$$E(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i^2(\underline{x}) \quad (4.26)$$

bundan sonra şöyle gösterilebilir.

$$\nabla E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (4.27)$$

$$\nabla^2 E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + S(\underline{x}) \quad (4.28)$$

burada  $J(\underline{x})$  Jacobian matristir.

$$J(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

ve;

$$S(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i(\underline{x}) \nabla^2 e_i(\underline{x}) \quad (4.30)$$

Gauss-Newton metodu için  $S(\underline{x}) \approx 0$  kabul edilir ve (4.25) güncellenerek şu hale gelir.

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x})]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (4.31)$$

Levenberg-Marquardt modifikasyonu ile Gauss-Newton metodu şöyle olur.

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + \mu I]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x}) \quad (4.32)$$

$\mu$  parametresi, bir adımda  $E(\underline{x})$  artımı sonucunda bir faktörle ( $\beta$ ) ile çarpılır, bir adım  $E(\underline{x})$  azaltışında,  $\mu$  parametresi  $\beta$ 'ya bölünür.  $\mu$  büyükse algoritma adım düşümü ( $1/\mu$  adımı ile) olur, küçük  $\mu$  parametresi için algoritma Gauss-Newton olur.

Bu algoritmadaki anahtar adım, Jacobian matrisinin hesaplanmasıdır. Yapay sinir ağı tasarım probleminde Jacobian matrisindeki terimler, geri yayılım algoritmasının basitçe değiştirilmesiyle hesaplanabilir. Bu, (4.19)'daki eşitlikte kolayca görülebilir. Burada  $\underline{x} = [w^1(1,1)w^1(1,2)...w^1(S1,R)b^1(S1)w^2(1,1)...b^M(SM)]^T$  ve  $N=Q \times SM$ . standart geri yayılım algoritması terimleri şöyle hesaplanır;

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial \sum_{m=1}^{SM} e_q^2(m)}{\partial w^k(i, j)} \quad (4.33)$$

Levenberg-Marquardt algoritması için Jacobian matrisin elemanları şöyle hesaplanabilir.

$$\frac{\partial e_q(m)}{\partial w^k(i, j)} \quad (4.34)$$

bu terimler standart geri yayılım algoritması kullanılarak son katmanda bir değişiklik ile hesaplanabilir.

$$\Delta^M = -\dot{F}^M(n^M) \quad (4.35)$$

4.30'daki matrisin her bir kolonu bir vektördür, Jacobianın bir satırını üretmek için ağ geri yayınılmalıdır.

Sonuç olarak Levenberg-Marquardt algoritması çok hızlı olarak çözüme ulaşmasına rağmen çok fazla bellek gerektirmektedir. Geri yayılım algoritması ise sonuca yavaş ulaşmakta ve daha az bellek gerektirmektedir([google.com](http://google.com)).

# BEŞİNCİ BÖLÜM

## VERİLER

### 5.1 Genel

Bu çalışmada kullanılan veriler, Adıyaman bölgesine ait 1 Ekim 1985 ile 30 Eylül 1988 tarihleri arasındaki 1435'er adet sıcaklık, yağış ve akış dizisinden oluşmaktadır. Bu verilere ait ortalama,  $x_{ort}$ , standart sapma,  $s_x$ , çarpıklık katsayısı,  $c_{sx}$ , minimum ve maksimum değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

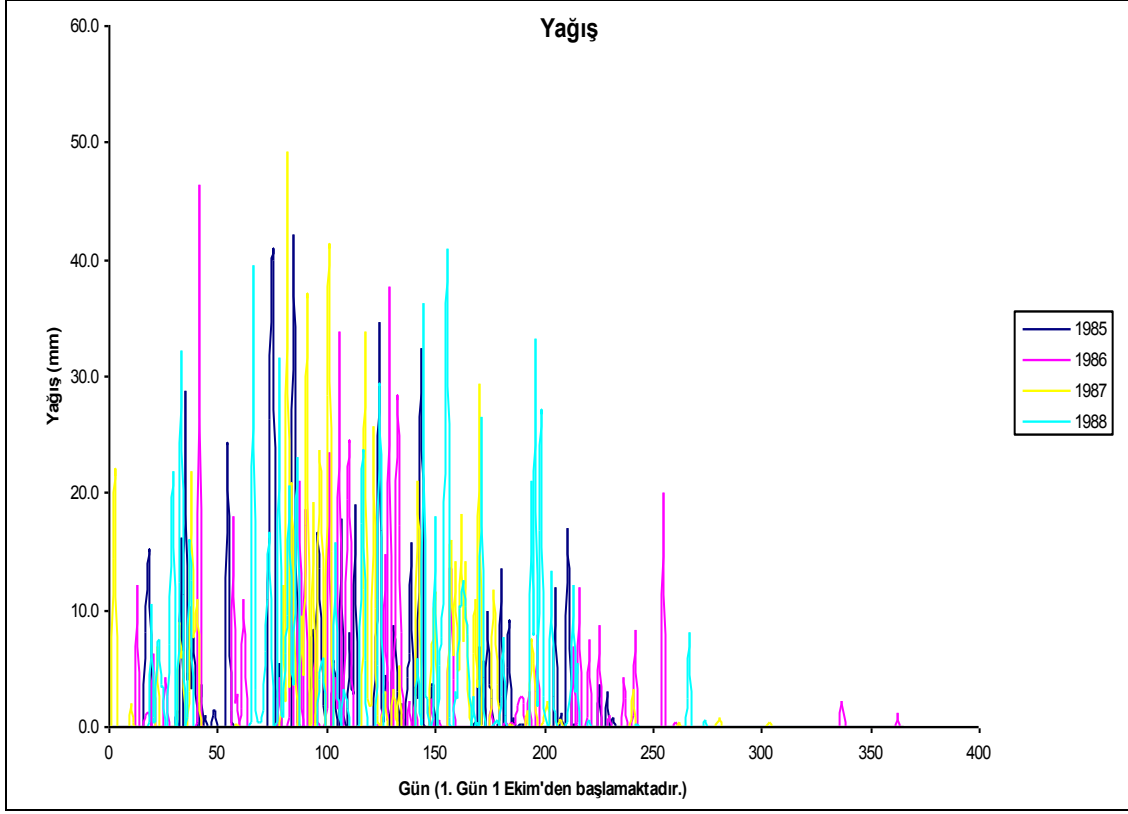
Çizelge 5.1: Adıyaman bölgesi gün, sıcaklık, yağış, akım verisine ait istatistik parametre değerleri

	Gün	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Akış(m <sup>3</sup> /s)
$x_{ort}$	183	17,12	1,93	1,84
$s_x$	105,51	10,01	5,85	2,13
$c_{sx}$	0	0,07	4,24	2,24
$x_{min}$	1	-6,2	0	0
$x_{max}$	365	36,8	3,6642	19,367

Çizelge 5.1'den de anlaşılacağı üzere, akım kestirimi yapılmaya çalışılan gün için, girdi olarak o güne ait sıcaklık ve yağış değerleri ve bir gün öncesine ait akış değeri kullanılmıştır. Bu yüzden yağış, sıcaklık, ve bir gün öncenin akış değeri “kestirim yaptıran”, akış ise “kestirim yapılan” olarak düşünülmüştür.

### 5.2 Yağış

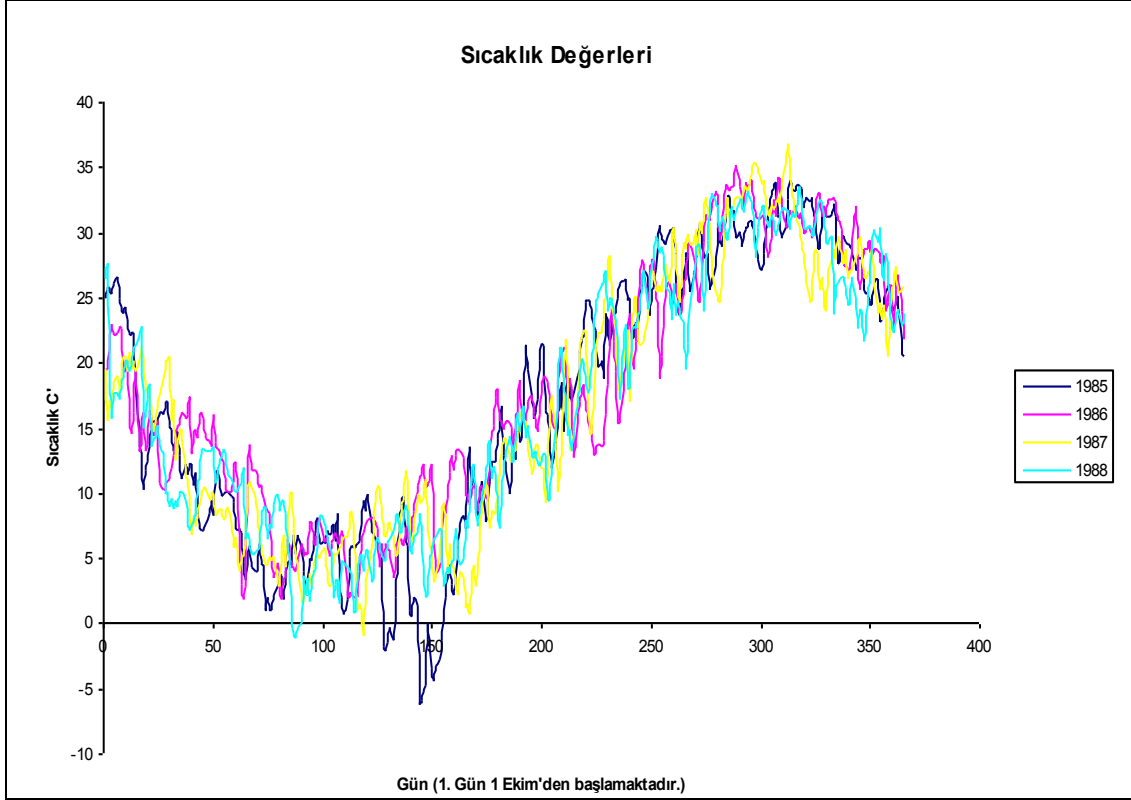
Adıyaman iline ait yağış değerlerinin, gün biriminde zamana bağlı değişimleri Şekil 5.1'de verilmektedir. Yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adıyaman Şube Müdürlüğünden sağlanmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, 1985-1988 yılları arasındaki ortalama yağış değerleri düzensiz olarak dağılım göstermektedirler.



Şekil 5.1: Yağış değerleri

### 5.3 Sıcaklık

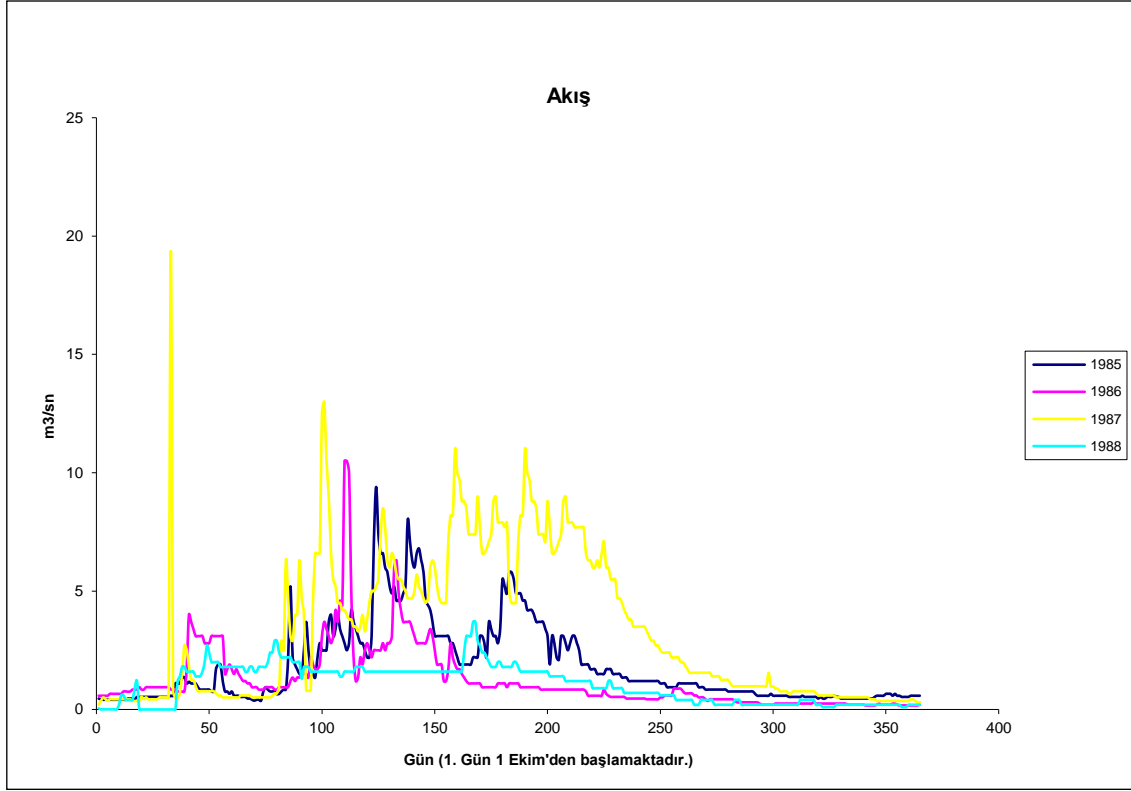
Adıyaman iline ait sıcaklık değerlerinin, zamansal dağılımları Şekil 5.2’de verilmektedir. Yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adıyaman Şube Müdürlüğünden sağlanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere, 1985-1988 yılları arasındaki sıcaklık değerleri belirgin bir periyodikliğe sahiptirler.



#### 5.4 Akış

Adıyaman iline ait akış değerlerinin, zamansal dağılımları Şekil 5.3'de verilmektedir. Akış verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün 21-189 nolu akım gözlem istasyonundan alınmıştır.

Yağış değerlerine benzer biçimde, 1985-1988 yılları arasındaki akış değerleri de düzensiz bir dağılım göstermektedirler.



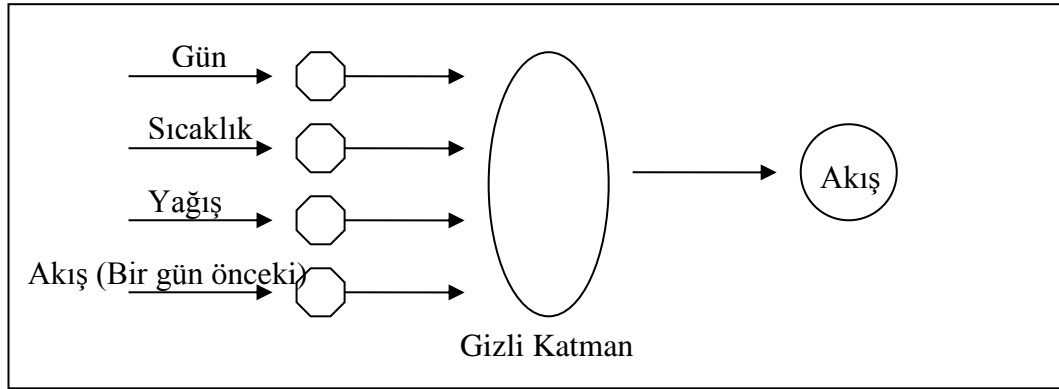
Şekil 5.3: Akış değerleri

# ALTINCI BÖLÜM

## GÜNLÜK AKIŞLARDAKİ EKSİK VERİLERİN YSA YÖNTEMİYLE TAMAMLANMASI

### 6.1 Yöntemin Uygulanması

Yapay Sinir Ağları, insanların sinir ağına benzetilmeye çalışılarak eğitildikleri için, eğitim sırasında yeterli ve geniş bir veri setinin kullanılması ile çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında, 1985, 1986, 1987 ve 1988 yıllarına ait, DSİ' nin 21-189 nolu akım gözlem istasyonundan alınan akış verileri ile, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Adıyaman Gözlem İstasyon'undan alınan sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. YSA' nın eğitilmesi sırasında girdi değişkeni olarak, gün, sıcaklık, yağış ve bir gün önceki akış değeri alınmıştır. Bu değişkenler Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Model Değişkenleri

### 6.2 Kullanılan Model Yapısı

Yapay sinir ağlarının girdi tabakasındaki hücre sayısı belirlenirken, genelde deneyerek en iyi sonuçlar bulunmaya çalışılır. Son zamanlarda bir ilk yaklaşım olması bakımından, girdi tabakasındaki hücre sayısı saptanırken, yağış ve akış veri çiftlerinin çapraz korelasyon katsayıları dikkate alınmaktadır (Cıgızoğlu, 2003).

Çalışmanın birinci aşamasında, yapay sinir ağlarına eğitim girdisi olarak; gün, sıcaklık, yağış, değerleri, çıktı olarak ise akış değerleri girilmiş ve ağın kendini eğitemediği belirlenmiştir. Bu durumda mevcut yağış serisi ile akış serisi arasındaki ilişki regresyon çözümlemesiyle test edilmiştir ve yağış ile akış arasındaki ilişkinin 0,284 gibi çok düşük bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda doğrusal olarak kurulmaya çalışılan yağış–akış ilişkisi için, Baykan (1977) tarafından yapılan çalışmadaki sonuca göre, küp kök dönüşümlü yağışların dikkate alınmasına karar verilmiştir.

Günlük yağışlara uygulanan küp kök dönüşümü ile standardize rasgele değişkenin dağılma ve yayılmasıyla ortalama etrafındaki yoğunlaşması önemli ölçüde azaltılabilmekte olduğu görülmüştür (Baykan, 1977). Yağış ve akış dizileri arasındaki korelasyon katsayısı yağışın küpkök değerlerini değil de doğrudan kendi yağış değerlerini dikkate alarak yağış–akış ilişkisi incelendiğinde 0,284 gibi bir değere sahipken; yağışın küpkökü alınarak kurulan yağış–akış ilişkisinde, yağış ve akışın aynı gün olması durumunda elde edilen ilişki 0,433; yağışın aynı gün buna karşın akışın bir sonraki gün olarak dikkate alındığı durumda 0,431 ve yağışın aynı gün, akışın 2 gün sonraki değeri dikkate alınarak yapılan değerlendirmede 0,38 olarak elde edilmiştir.

Bu biçimde denemeler yapıldığında, ağın eğitiminde ilk yaklaşıma göre gelişmeler olduğu görülmüş ancak yine de %10' luk mutlak yanılma oranı elde edilememiştir. Bu durumda gün, sıcaklık ve yağış değerlerine bir gün öncesinin akış değeri de girdi olarak eklendiğinde arzu edilen %10' luk mutlak yanılma oranı yakalanmıştır.

Bu sonuç, veri sayısının fazlalığı ve iterasyonun ağır olması nedeniyle 16 adet bilgisayarla 2 ay boyunca yapılan çalışmalarla elde edilmiştir.

Model oluşturulurken en uygun sonucu elde etmek için ağırlıklar, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki nöron sayısı deneme-yanılma yolu ile bulunmuştur. YSA eğitilirken sigmoid tipi aktivasyon işlevi kullanılmıştır. Bu işlev aşağıda verilmiştir..

$$\psi(S) = \frac{1}{1 + e^{-S}} \quad (6.1)$$



Kullanılan bu aktivasyon işlevinin özelliğinden dolayı eğitim ve test çıktı değerleri (0-1) arasında normalize edilmiştir. Normalize işlemi bilindiği üzere veri seti içerisindeki en küçük ve en büyük değerlerin saptanmasının ardından en küçük değer 0'la; en büyüğün ise 1 ile eşleşmesiyle yapılmaktadır. Böylece programa girdi olarak verilen veri setinin çıktıları da normalize olarak elde edilmiş daha sonra gerçek durumuna çevrilmiştir.

Sınıflandırma, görüntü işleme ve YSA yeteneklerini birleştiren bir yazılım ortamında gerçekleştirilirse uygulamacıya büyük kolaylık sağlar. Matlab bu amaçla kullanılabilecek en uygun araçlardan biridir. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarıyla yağış-akış ilişkisini oluştururken Matlab 6.5 yazılımının YSA modülü kullanılmıştır.

Programaya girdi olarak verilen gün, yağış, sıcaklık, ve akış değerleri Matlab modülündeki gösterimi şekil 6.2'deki gibidir (Matlab 6.0)

```

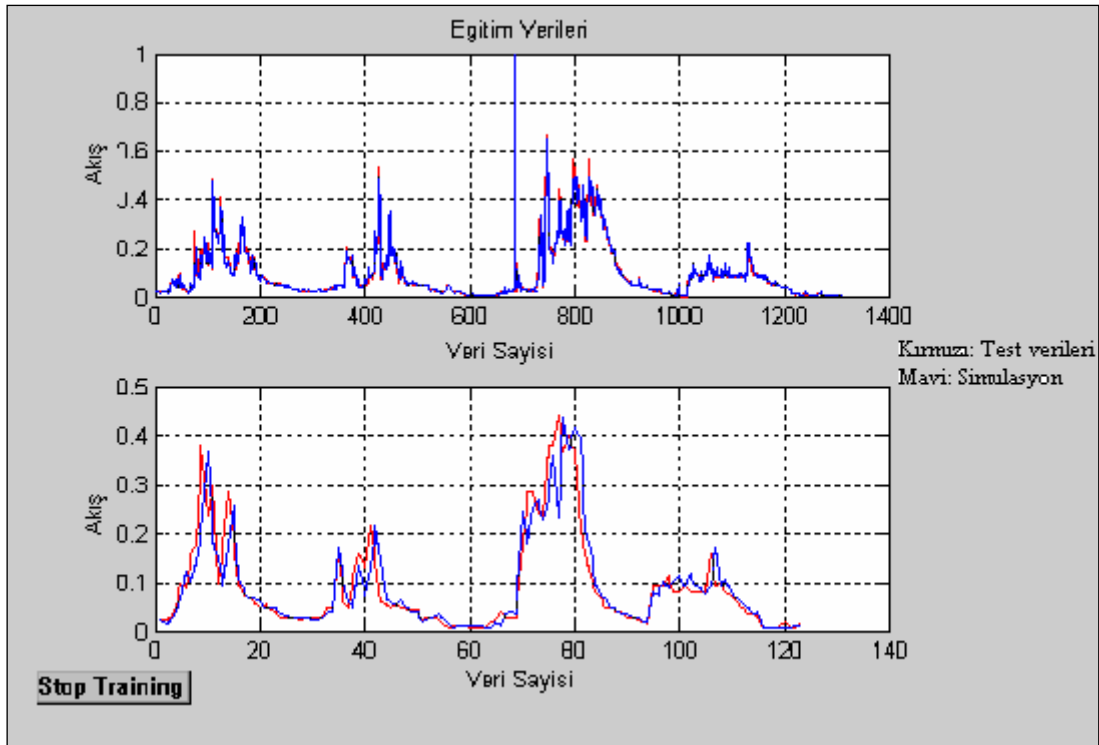
C:\Documents and Settings\mutlu_yasar\Desktop\TEZ\JelmoliTez Taslak 15.06.2004\model.m
File Edit Text Window Help
1
2 EG=[1 2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 13 14 16 17 18 19 20 21 22 23 24 26 27 28 29 30 31 32 33 34 36 37 3
3 25 25.6 25.8 25.3 26.6 25 24.4 23.8 24.4 23.4 22.1 22.2 22.4 14.2 12.3 10.3 11.8 12.4
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0.46 0.46 0.43 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.46 0.46 0.43 0.53 0
6
7 EC=[0.02371134 0.022164948 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0.021134021 0
8
9
10 TG=[5 15 25 45 55 95 105 115 125 135 145 165 175 185 195 215 225 235 245 255 265 275 285 295 305 315 325 335 345 355 365 5 25 3
11 26.2 18.2 15.3 7.2 9.9 4.8 7.6 5.9 6.3 7.9 -5.9 7.5 9.5 10 17.5 17.7 22.5 25 24.7 29.4 25.8 28.1 3
12 0 0 0 0 2.295770425 0.887904002 0 0 1.638642541 0.584803548 0 0 1.532618865 0 0 0 1.546680374 0 0 0 0 0 0 0
13 0.41 0.41 0.46 1.1 0.94 2.2 1.7 3.1 3.4 7.4 4.6 3.1 1.9 3.4 5.5 2.1 1.9 1.5 1.35 1.2 0.94 1.1 0.84 0.76 0.58
14
15 TC=[0.021134021 0.02371134 0.027319588 0.048453608 0.097938144 0.087628866 0.159793814 0.175257732 0.381443299 0.237113402 0.298969072 0
16
17 TH=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25;
18 24.5 25.8 24.2 20.8 21 20.2 20.5 21.6 21 15.4 15 14.8 16.3 17.4 17.1 17.6 15.5 13.6 14.1
19 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.686997382 4.310663995 2.363331501 0.584803548 0
20
21 net=newff([1 364;-6.2 36.8;0 3.6642;0 19.367],[21 1],{'logsig','logsig'},'trainlm','learnqdm');
22 net.trainParam.show=100;
23 net.trainParam.lr=0.1
24 net.trainParam.mc=0.6;
25 net.trainParam.epochs=1000;
26 net.trainParam.goal=0.00001;
27
28 % the neural network training
29
30 [net,tr]=train(net,EG,EC);
31
32 % evaluating the results
33
34 a=sim(net,EG)
35 b=sim(net,TG)
36 % c=sim(net,Pta)
37 input_layer_weight=net.iw{1,1}
script Ln 1 Col 1 17:34

```

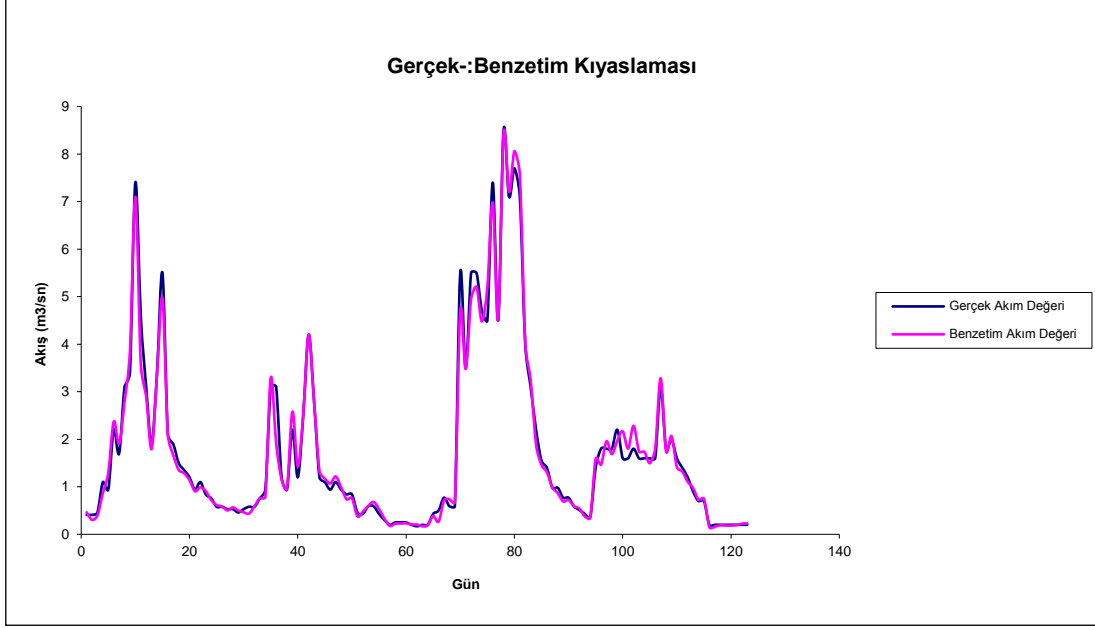
Şekil 6.2: Matlab programına veri girişi

Bu çalışmada YSA mimarisi olarak; İleri Beslemeli Geriye Yayınım Yöntemi (İBGY) ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) şeklinde iki farklı seçenek kullanılabilirliği araştırıldığında; Alp ve Cıgızoğlu'nun (2004) yaptığı çalışmada, İBGY yönteminin GRSA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği dikkate alınarak İBGY mimarisinin daha uygun olacağı düşünülmüş ve İBGY yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Öğrenme tipi olarak denetimli öğrenme, öğrenme algoritması olarak ise hatayı geriye yayma algoritmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Yapay sinir ağının eğitimi aşamasında ise 1435 veriden 1312' si kullanılmıştır. Daha sonra eğitilen ağ, 123 adetlik veri takımları ile test edilmiş ve Şekil 6.3'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

YSA'nın eğitim ve test işleminde Matlab 6.5 paket programının Neural Network tool box'ı kullanılmıştır. Gizli katman sayısı 1, bu katmandaki nöron sayısı 16; öğrenme derecesi; 0,1; momentum katsayısı 0,6 ve iterasyon ise 7000 alınarak uzun süren denemeler sonucunda bulunmuştur. Yukarıda verilen grafikte sonuçlar normalize olarak karşılaştırılmaktadır. Gerçek değerlerin karşılaştırılması ise Şekil 6.4'de verilmiştir.



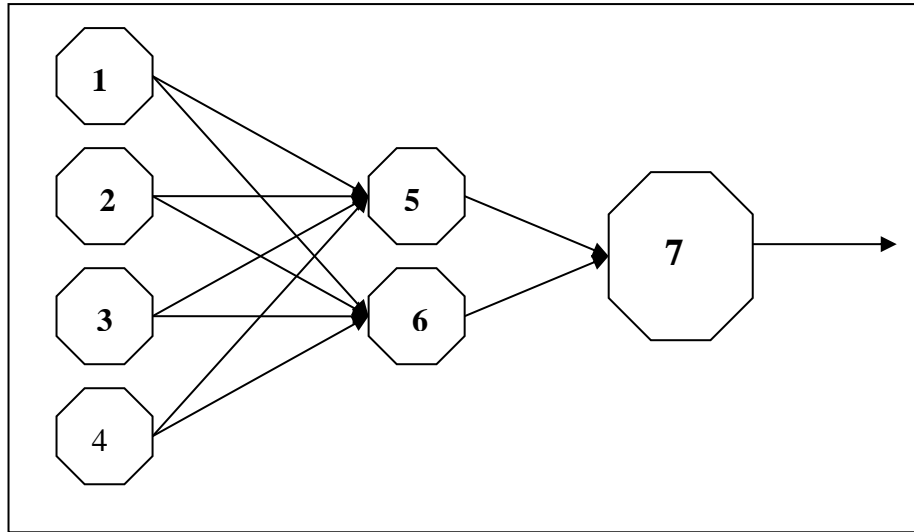
Şekil 6.3: Test girdisi değerlerinin test çıktı değerleri ile karşılaştırılması (normalize)



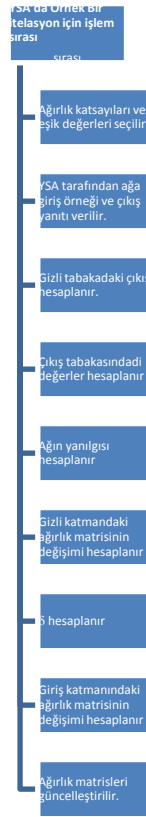
Şekil 6.4: Gerçek benzetim karşılaştırması

### 6.3 Yapay Sinir Ağına Dair Bir Örnek Çözüm

İşlem adımları Bölüm 6.1 ve 6.2’de kısaca açıklanan yanlıgıy gerıye yayma yöntemıne sayısal bir örnek verilmesi gerekirse öncelikle sinir ağı mimarısı ve öğrenme derecesiyle ilgili ilk yaklaşımları yapılmalıdır. Örneğimizde sinir ağı mimarisinin üç katmandan oluştuğı ve öğrenme derecesinde 0,3 olduğı düşünölsün. Şekil 6.5’de 4 girdi ,1 çıktı değışkenine sahip,ve iki katmandan oluşun bir sinir ağı mimarısı gösterilmektedir.



Şekil 6.5: Örnek için sinir ağı mimarısı



Şekil 6.6: YSA' da örnek bir iterasyon için işlem sırası

İşlemin birinci adımında ağırlık katsayıları ve eşik değerinin seçimidir. Seçim işi rastgele yapılır.

Birinci katmandaki nöronlara ait ağırlık katsayıları ve eşik değerleri;

$$W' = \begin{bmatrix} 0,058 & -0,249 \\ -0,281 & -0,332 \\ 0,352 & 0,471 \\ 0,476 & 0,873 \end{bmatrix}$$

$$\theta' = [-0,187 \quad 0,478]$$

şeklinde seçilmiştir.

Gizli tabakadaki nöronlara ilişkin ağırlık katsayıları ve eşik değerleri;

$$W'' = \begin{bmatrix} 0,231 \\ -0,399 \end{bmatrix}$$

$$\theta'' = [0,399]$$

şeklinde elde edilmiştir.

2. YSA tarafında ağa giriş örneği ve çıkış yanıtı aşağıdaki biçimde verilir:

Giriş ve çıkış değerleri 0-1 arasında normalize edilir.

Girişler : Gün = 2 (normalize değer: 0,00274)  
: Sıcaklık = 25,6 °C (normalize değer: 0,739)  
: Yağış = 0 mm (normalize değer: 0,0)  
: Akış = 0,46 m<sup>3</sup>/sn (normalize değer: 0,0237)  
Çıkış : Akış = 0,41m<sup>3</sup>/sn (normalize değer: 0,02216)

$$u = [0,00274 \ 0,735 \ 0 \ 0,0237] \quad d = [0,02216]$$

Gizli tabakadaki çıkış hesaplanır:

Giriş katmanındaki nöronlardan gizli katmandaki (4) nolu nörona gelen toplam işlevi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_5 = 0,00274 * 0,058 + 0,739 * (-0,281) + 0 * 0,352 + 0,0237 * 0,476 - 0,187 = -0,38321$$

Benzer biçimde (5) nolu nörona gelen toplam işlev değeri hesaplanır:

$$S_6 = 0,00274 * (-0,249) + 0,739 * (-0,332) + 0 * 0,471 + 0,0237 * 0,873 + 0,478 = 0,25265$$

Gizli katmandaki her bir nörona gelen toplam işlev değerleri hesaplandıktan sonra, bu toplam işlev, aktivasyon işlevinden geçirilerek giriş katmanından gelen çıkış değerleri hesaplanır. Bilindiği gibi, bir önceki nöronun çıkış değeri, kendisinden sonra gelen nöronun giriş değeri olmaktadır. Burada hesaplanan çıkış değerleri sırasıyla gizli katmandaki (4) ve (5) nolu düğümler için giriş değerleri olmaktadır.

Giriş katmanından gelen çıkış değerleri;

$$o_1 = \frac{1}{1 + e^{-S_4}} = \frac{1}{1 + e^{-(-0,38321)}} = 0,40535$$

$$o_2 = \frac{1}{1 + e^{-s_6}} = \frac{1}{1 + e^{-0,25265}} = 0,56282$$

$$o = (0,40535 \quad 0,56282)$$

Çıkış tabakasındaki değerlerin hesaplanması:

Hesaplanan bu çıkışlar gizli katmandaki nöronlara ait giriş değerleri olmaktadır. Bunlar yardımıyla gizli katmanın çıkışı hesaplanabilmektedir.

$$S_7 = 0,40535 * 0,231 + 0,56282 * (-0,399) + 0,399 = 0,26807$$

$$o_3 = \frac{1}{1 + e^{-s_7}} = \frac{1}{1 + e^{-0,26807}} = 0,566$$

Hesaplanan bu çıkış değeri sözkonusu ağın sonuç değeridir. Yani ağın başlangıç değerlerine göre üretmiş olduğu çıkıştır. Bu çıkış değeri, başlangıçta verilen ve ulaşmak istenilen çıkış değeri ile karşılaştırılarak ağın yanılışı bulunur.

Ağın yanılışı hesaplanır:

Ağ çıkışı hesaplandıktan sonra ağın yanılışı bulunur ve eğer bu yanılış değeri istenilen sınırlar içinde değilse, bu yanılış değerini yanılışı geriye yayma yöntemi ile dağıtmak gerekmektedir. Bunun içinde aktivasyon işlevinin türevi ve arzu edilen çıkış ile ağın verdiği çıkış arasındaki farkın kullanılması ile  $\delta$  hesaplanır.

$$\delta_j = (y_j - o_j) * f'(net_j)$$

Aktivasyon işlevi;

$$\psi(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}}$$

Aktivasyon işlevinin türevi:

$$\psi'(s) = \frac{e^{-s}}{(1 + e^{-s})^2}$$

$$\psi'(0,566) = \frac{e^{-0,566}}{(1 + e^{-0,566})^2} = 0,231$$

Arzu edilen çıkış ile ağın verdiği çıkış arasındaki fark:

$$e = (d - o) = (0,02216 - 0,566) = -0,548$$

$$\delta_j = (-0,5438 * 0,231) = -0,1256$$

Gizli katmandaki ağırlık matrisinin değişiminin ( $\Delta w''$ ) hesaplanması:

$$\Delta w_{ji} = \eta * \delta_j * o_i$$

$$\Delta w'' = \begin{bmatrix} 0,3 * (-0,1256) * 0,40539 = -0,01527 \\ 0,3 * (-0,1256) * 0,56282 = -0,0212 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta w'' = \begin{bmatrix} -0,01527 \\ -0,0212 \end{bmatrix}$$

$\delta'$  hesaplanır:

$$\delta' = \delta_j'' * w'' * \psi'(o_i)$$

$$\delta' = \begin{bmatrix} (-0,1256) * 0,231 * f'(0,40535) = -0,006963 \\ (-0,1256) * (-0,399) * f'(0,56282) = 0,01586 \end{bmatrix} \Rightarrow \delta' = [-0,006963 \quad 0,01586]$$

Giriş katmanındaki ağırlık matrisi değişiminin ( $\Delta w'$ ) hesaplanması:

$$\Delta w' = u * \eta * \delta'$$

$$\Delta w' = 0,0274 * 0,3 * (-0,006963) = -0,00000572$$

$$= 0,735 * 0,3 * (-0,006963) = -0,00153$$

$$= 0,0 * 0,3 * (-0,006963) = 0$$

$$= 0,0237 * 0,3 * (-0,006963) = -0,0000495$$

$$= 0,0274 * 0,3 * 0,01586 = -0,0000130$$

$$= 0,735 * 0,3 * 0,01586 = -0,00349$$

$$= 0,0 * 0,3 * 0,01586 = 0$$

$$= 0,0237 * 0,3 * 0,01586 = -0,000112$$

$$\Delta w' = \begin{bmatrix} -0,00000572 & 0,0000130 \\ -0,00153 & 0,00349 \\ -0 & 0, \\ -0,0000495 & 0,000111 \end{bmatrix}$$

Ağırlık matrisleri güncelleştirilir;

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij}$$

$$w' = \begin{bmatrix} 0,058 - 0,00000572 & -0,249 + 0,0000130 \\ -0,281 - 0,00153 & -0,332 + 0,00349 \\ 0,352 - 0,0 & 0,471 + 0 \\ 0,476 - 0,0000498 & 0,873 + 0,000111 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$w' = \begin{bmatrix} 0,05799428 & -0,249013 \\ -0,28253 & -0,32851 \\ 0,352 & 0,471 \\ 0,4759502 & 0,873111 \end{bmatrix}$$

$$w'' = \begin{bmatrix} 0,231 - 0,01527 \\ -0,399 - 0,0212 \end{bmatrix} \Rightarrow w'' = \begin{bmatrix} 0,2173 \\ -0,3778 \end{bmatrix}$$

Bu örnek iterasyonda kullanılan formüllerle ilgili açıklamalar dördüncü bölümde sunulmuştur.

Görüldüğü üzere, YSA ile tek bir adet akış değerinin tahmini için 1 iterasyon 9 adımdan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında; 1435 adet akış değeri kullanılarak, 7000 iterasyon sonucunda ağ eğitilmiştir. Eğitilen ağ yardımıyla, 1. Ekim 1988-25. Ekim 1988 tarihleri arasındaki eksik veriler tamamlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Bu çizelgede tamamlanan değerler koyu, mevcut olan ilk ve son değerler ise açık tonla belirtilmiştir.

Çizelge 6.1. 01.Ekim.1988-25.Ekim.1988 arasındaki tamamlanan eksik veriler.

Girdi			Çıktı	
Gün	Sıcaklık	Yağış	Normalize (Mat Lab)	Gerçek Akış (m <sup>3</sup> /s)
1	24.5	0.00	0.0245	0.410
<b>2</b>	<b>25.8</b>	<b>0.00</b>	<b>0.0242</b>	<b>0.475</b>
<b>3</b>	<b>24.2</b>	<b>0.00</b>	<b>0.0213</b>	<b>0.469</b>



4	20.8	0.00	0.01	0.413
5	21	0.00	0.0099	0.194
6	20.2	0.00	0.0091	0.192
7	20.5	0.00	0.0093	0.177
8	21.6	0.00	0.0099	0.180
9	21	0.00	0.0099	0.192
10	15.4	0.00	0.0108	0.192
11	15	2.84	3.31E-05	0.210
12	14.8	2.14	6.08E-04	0.001
13	16.3	0.00	0.0205	0.012
14	17.4	0.00	0.0241	0.398
15	17.1	0.00	0.0233	0.468
16	17.6	0.00	0.0247	0.452
17	15.5	0.00	0.0183	0.479
18	13.6	2.69	3.22E-05	0.355
19	14.1	4.31	1.12E-04	0.001
20	14.6	2.36	9.12E-05	0.002
21	14.7	0.58	0.02	0.002
22	13	0.00	0.0106	0.388
23	14.4	0.00	0.015	0.206
24	16.5	0.00	0.0218	0.291
25	16.7	0.00	.....	0.340

# YEDİNCİ BÖLÜM

## SONUÇ ve ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Su kaynakları tasarımı ve projelendirilmesinde uzun dönemli hidrolojik veriye gereksinme duyulmaktadır. Ancak pek çok havzada yağış ve akışla ilgili yeterli ve istatistiksel olarak anlamlı veri bulmak oldukça zordur. Uzun dönemli veriyle yağış–akış ilişkisi kurularak bir çok su yapısının ön tasarımında gerekli olan tasarım debisi bulunabilmektedir.

Hidroelektrik santral tasarımında akarsuyun debisinin yıl boyunca değişimi ortaya konmalı, su alma ağzının en verimli ve en ucuz olarak alınacağı yer saptanmalıdır. Ayrıca, dönem dönem ne kadarlık bir güç sağlanabileceği de belirlenmelidir. Bu amaçla, HES tasarım aşamasında havzaya ilişkin akım süre eğrisinin elde edilmesi gereklidir. Ülkemizde yağış, buharlaşma, akış, sızma gibi birçok hidrolojik değişkene ilişkin veri uzunlukları oldukça yetersizdir. Bu yüzden, su yapıları tasarım ve projelendirilmesine esas olan bu tip verilerin, kısa dönemli mevcut veri yardımıyla veya bölgeselleştirme yöntemleriyle oluşturulması gerekir.

Yağış ve akışla ilgili eksik verilerin tamamlanabilmesi, hidrolojinin en önemli sorunlarından biridir. Verinin olmadığı veya çok az olduğu bölgelerde verinin elde edilmesi ve eksik kısımların tamamlanabilmesi amacıyla pek çok yöntem kullanılmaktadır.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, hidrolojik olaylarla ilgili tasarım çalışmalarında çevresel etkilerin dikkate alınması ve sürdürülebilir kaynak yönetimi kavramının önem kazanmasına bağlı olarak birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de pek çok bilimsel alanda kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir. YSA yöntemi, girdi faktörleri takımı ve çıktı değişkenlerinden oluşan bir kara kutu modelleme tekniğidir. Biyolojik sinir ağlarının çalışma ilkelerinden yola çıkarak ortaya konulan bu model, son yıllarda birçok mühendislik alanında başarıyla uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, 1985, 1986, 1987, 1988 yıllarına ilişkin; DSİ' nin 21-189 nolu akım gözlem istasyonundan alınan akış verileri ile, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Adıyaman İli Gözlem İstasyonundan alınan sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. YSA' nın eğitilmesi sırasında girdi parametresi olarak; gün, sıcaklık, yağış ve bir gün önceki akış değeri alınmıştır. Yapay Sinir Ağlarında eğitim sırasında yeterli ve geniş bir veri setinin kullanılması ile çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedirler.

Çalışmada öncelikle eğitim girdisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Eğitim girdisi olarak, gün, sıcaklık ve yağış değerleri dikkate alınmıştır. Bu durumda ağın kendini eğitemediği belirlendiğinden, mevcut yağış serisi ile akış serisi arasındaki ilişki regresyon çözümlemesiyle sınanmış ve yağış ile akışın arasındaki ilişkinin 0,284 gibi çok düşük bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda lineer olarak kurulmaya çalışılan yağış-akış ilişkisinde, Baykan (1977) tarafından yapılan çalışmadaki sonuca göre, küp-kök dönüşümlü yağışların dikkate alınmasına karar verilerek çalışmanın ikinci aşamasına geçilmiştir. Adıyaman iline ilişkin 1985-1988 yılları arasındaki günlük akış değerleri istenen düzeyde eğitildikten sonra, eksik kısımlar tamamlanmıştır. YSA' dan elde edilen değerlerle gözlenen değerlerin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu Şekil 6.2'de görülmektedir.

Yağış ve akış dizileri arasındaki korelasyon katsayısı, yağışın küp-kök değerleri yerine, kendi yağış değerlerini dikkate alınarak yağış-akış ilişkisi incelendiğinde 0,284 gibi bir değere sahipken; yağışın küp kökü alınarak kurulan yağış-akış ilişkisinde; yağış ve akışın aynı gün olması durumunda elde edilen ilişki 0,433; yağışın aynı gün, buna karşı akışın bir sonraki gün olarak dikkate alındığı durumda 0,43 ve yağışın aynı gün akışın 2 gün sonraki değeri dikkate alınarak yapılan değerlendirmede 0,38 olduğu görülmüştür.

Bu şekilde denemeler yapıldığında, ağın eğitiminde ilk yaklaşıma göre gelişmeler olduğu görülmüş ancak yine de %10'luk mutlak yanılma oranı elde edilememiştir. Bu durumda gün, sıcaklık ve yağış değerlerine bir gün öncesinin akış değeri de girdi olarak eklendiğinde istenen %10' luk mutlak yanılma oranına iterasyonların ağır ve veri sayısının fazlalığı nedeniyle uzun bir süre sonra ulaşılmıştır.

Model oluşturulurken en uygun sonucu elde etmek için ağırlıklar, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. YSA eğitilirken sigmoid tipi aktivasyon işlevi kullanılmıştır

Bu çalışmada YSA mimarisi olarak; İleri Beslemeli Geriye Yayınım Yöntemi (İBGY) ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) şeklinde iki farklı seçenek kullanılabilirliği araştırıldığında; Alp ve Cıgızoğlu'nun (2004) yaptığı çalışmada İBGY yönteminin GRSA' ya göre daha iyi sonuçlar verdiği dikkate alınarak İBGY mimarisinin daha uygun olacağı düşünülmüş ve İBGY yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Öğrenme tipi olarak denetimli öğrenme; öğrenme algoritması olarak ise yanılıgyı geriye yayma algoritmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Yapay sinir ağının eğitimi aşamasında ise 1435 veriden 1312 tanesi kullanılmıştır. Daha sonra eğitilen ağ, 123 adetlik veri takımları ile test edilmiş ve Şekil 6.3'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Bundan sonraki aşamada YSA ile mevcut veriye bağlı olarak veri üretmek amacıyla MatLab 6.5 programının sinir ağları bölümünde, basit bir program oluşturularak, bir gün önceki akışa göre bir sonraki günün akışıyla ilgili yapay veri dizileri oluşturulmuştur. Oluşturulan ağın mimarisi; İleri Beslemeli Geriye Yayınım Methodu iterasyon sayısı ise 7000 olarak seçilmiştir.

## 7.2. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen akış değerleri Adıyaman ilinde yapımı tasarlanan pek çok su yapısına esas olan veri olarak kullanılabilir. Benzer çalışmalar özellikle hidrolojik verisi hiç yada çok az olan diğer bölgelerde de yapılmalıdır.

Özellikle, DSİ ve EİE tarafından planlama aşamasındaki pek çok su yapısı projelerinde, proje alanındaki eksik akış değerleri YSA ile tamamlanmalı ve bu yapıların projelendirilmeleri de elde edilen bu verilere göre yapılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında, yalnızca yıl içindeki eksik günlük akış değerlerinin tamamlanması amaçlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, geleceğe yönelik tahmin yapabilen bir YSA mimarisinin geliştirilmesi tasarım ve proje aşamasındaki pek çok su yapısının güvenilirliğini arttıracaktır. Bunun dışında Yapay Sinir Ağının ürettiği yapay veriler ile Stokastik modellerle üretilen verileri karşılaştırılması da yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

Alp, M.; Cıgızoğlu, H. K., Farklı Yapay Sinir Ağı Metodları İle Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi, İtü Dergisi/d Cilt:3, Sayı:1, 80-88s, İstanbul, 2004.

Abbott, M. B.; Bathurst, J. C.; Cunge, J. A.; O'Connell P. E. ; Rasmussen, J., 1. An Introduction to the European Hydrological System-System Hydrologique Europeen "SHE" 2. Structure of the Physically Based Distributed Modeling System, Journal of Hydrology, Sayı: 87, 61-77s., 1986a.

Abbott, M. B.; Bathurst, J. C.; Cunge, J. A.; O'Connell, P. E. ; Rasmussen, J., An Introduction to the European Hydrological System-System Hydrologique Europeen "SHE" 1. History and Philosophy of a Physically-Based Distributed Modeling System. Journal of Hydrology, Sayı: 87, 45-59s., 1986b.

Bacchi, B.; Burlando, P.; Rosso, R. ; Todini, E., Hydrological Models for Real-Time Flood Forecasting, Proc. Int. Conf. Arn. Proj., Florence CNR-GNDCI, Rep.2, 1986

Balman, V.; Güven ř., Su Kuvvetleri Mühendisliğine Giriş, Ankara Basım ve Cilttevi, 206 s., Ankara, 1973.

Bayazıt, M.; AVCI, İ., şEN, Z., Hidroloji Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü sayı:1586, ISBN 975-561-102-9, 286 s., İstanbul, 1997.

Bayazıt, M., Biriktirme Haznelerinin Tasarımı ve İşletilmesi , İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü sayı:1583, ISBN 975-561-092-2, 200 s., İstanbul, 1997.

Bayazıt, M., Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı 1229, 155 s., Gümüşsuyu-İstanbul, 1982.

Bayazit, M., Hidrolojide İstatistik Yöntemler, Teknik Üniversite Matbaası No.1197, 223 s., İstanbul, 1981.

Bayazit, M., İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İ.T.Ü. Matbaası ISBN 975-561-071-5, 245 s., İstanbul, 1996.

Bayazit, M.; Oğuz, B., Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, 187 s., İstanbul, 1981.

Baykan N. O., İzmir Günlük Yağışların Matematiksel Benzeşim Modelleri, Yüksek Lisans Tezi No:8 (Yön:Prof. Dr. Ünal ÖZİŞ), 50s, İzmir, 1977.

Baykan, N. O., Hidroloji (Ders Notları), Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (yayımlanmamış ders notları), .127 s., Denizli, 1993.

Baykan, N. O., Su Yapıları (Ders Notları) Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (yayımlanmamış ders notları), 212 s., Denizli, 1993.

Beale M.; Demuth H. B.; Hagan M. T., Neural Network Design, PWS Publishing Company, ISBN 0-534-94332-2, USA, 1995.

Beven, K., Towards the Use of Catchment Geomorphology in Flood Frequency Predictions, Earth Surface Processes and Landforms, 12, 69-82s.

Boogaard, H.; Gautam, D.K.; Mynett, A.E., Auto-Regressive Neural Networks for the Modelling of Time Series, Hydroinformatics Conference, Copenhagen, 1998.

Box, G. E. P. ; Jenkins, G. M., Time Series Analysis Forecasting and Control. San Francisco, Holden-Day, 1980

- Brikundavyi, S.; Labib, R.; Trung, H.T. ve Rouselle, J., Performance of Neural Networks in daily stream flow forecasting, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7, 5, 392-398s., 2002
- Bulu, A., İstatistik Problemleri, Teknik Kitaplar Yayınevi, 169 s., İstanbul, 1986. Çeçen K., Su Kuvvetleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 121 s., İstanbul, 1983.
- Burnash, R. J. C.; Ferral, R. L. ; McGuire, R. A., A Generalized Streamflow Simulation System-Conceptual Modeling for Digital Computers, U.S Department of Commerce, National Weather Service and State of California, Dept. of Water Resources, 1973
- Campolo, M.; Andreussi, P.; Soldati, A. River flood forecasting with a neural network model., *Water Resources Research* 35,1191–97., 1999
- Cıgızoğlu, H.K.: Suspended Semiment estimation and Forecasting Using Artificial Neural Networks, *Turkish Journal of Engineering ; Enviromental Sciences*, 26, 15-25s, 2002a
- Cıgızoğlu, H.K., Suspended Semiment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves *Turkish Journal of Engineering ; Enviromental Sciences*, 26, 27-36s, 2002b
- Chiang, Y.; Chang, L.; Chang, F., Comparison of Static-Feedforward and Dynamic-Feedback Neural Networks for Rainfall-Runoff Modeling, *Journal of Hydrology* 290, 297-311 Taiwan, 2004.
- Clark, C. O., Storage and Unit Hydrograph, Paper No.2261, American Society of Civil Engineers Transactions, 1945
- Crawford, N. H.; Linsley, R. K., Digital Simulation in Hydrology, Stanford Watershed Model IV, TR 39., Dept. Civ. Eng. Stanford., 1966
- Çeçen K., Su Kuvvetleri., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Ders Notları, 160s., İstanbul, 1983

Dawdy, D.R., O'Donnell, T., Mathematical Models of Catchment Water Behaviour. Proc. of the ACSE, Journal of the Hydraulics Div., 91, N.HY4, 123-137s., 1965.

Djebbar, Y.; Alila, Y., Neural Network Estimation of Sanitary Flows, Hydroinformatics Conference, Poster Presentations, Copenhagen, 1998.

Dooge, J. C. I., The Linear Theory of Hydrologic Systems. Tech. Bull. U. S. Dep. Agricul., No.1468, U. S. Gov. Washington, D. C., 1973

Dönmezer H., Su Kuvveti Tesisleri, Kutulmuş Basımevi, 685 s., İstanbul, 1985.

Eagleson, P. S.; Mejia, R.; March, F., The computation of Optimum Realizable Unit Hydrographs from Rainfall and Runoff Data, Hydrodyn., Lab., Rep., No.84, MIT., 1965

Erkek, C.; Ağırlioğlu, N., Su Kaynakları Mühendisliği, Teknik Kitaplar Yayınevi, 417 s., İstanbul, 1986.

Efe, M.Ö. ve Kaynak, O., Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, 141 s., İstanbul, 2000.

ERE, Türkiyenin Hidroelektrik Potansiyelinin Yeniden Değerlendirilmesi, Teknik Rapor., 2001

Erkek, C.; Ağırlioğlu, N., Su Kaynakları Mühendisliği, Üçüncü Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş., ISBN-975-486-289-3, 360 s., İstanbul, 1998.

Erkek, C.; Ağırlioğlu, N., Su Kaynakları Problemleri, İkinci Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü Sayı: 1554, ISBN-975-561-049-9, 209 s., İstanbul, 1995.

Fernando, D.A.K.; Jayawardena, A.W.:Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm., Journal of Hydrologic Engineering 3, 203–209s., 1998



Fırat, M., Doğrusal ve Kıvrımlı Akarsulara Yerleştirilen Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Oyulma Derinliğinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2002.

Haykin, S., Neural networks: a comprehensive foundation (2nd edn). London: Prentice Hall., 1999.

Hsu, K.; Gupta, H.; Sorooshian S., Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process, Water Resources Research, Vol.. 31, No. 10, 2517–2530s, 1995.

Hall, M. J.; Minns, A., Regional Flood Frequency Analysis using Artificial Neural Networks, Hydroinformatics Conference, Copenhagen, 1998.

Jiandong, T.; Naibo, Z., Xianhuan, W.; Jing, H., Huishen, D.; Mini Hydropower, John Wiley ; Sons Ltd., ISBN 0-471-96264-3, 312 s., England, 1997.

Kalman, R. E., A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. J. Basic Eng. (ASME), 82 D., 33-45s., 1960.

Kalman, R. E.; Bucy, R., New Results in Linear Filtering and Prediction. J. Basic Eng. (ASME) 83D, 95-108s., 1961

Kang, K.W. Park; C.Y.; Kim, J.H., Neural network and its application to rainfall–runoff forecasting. Korean Journal of Hydroscience, 4, 1–9s., 1992

Kızılkaya T.; Yegül Ü., Su Yapıları Temel Ders Kitabı, Emel Matbaacılık Sanayi, 297 s., Ankara, 1988.

Kişi, Ö., Akış Tahmini ile İlgili Bir Uygulama”, Mühendislikte Modern Yöntemler Sempozyumu (MMYS’2001), 7s., İstanbul, 2001.

Kişi, Ö.; Partal T., Yapay Sinir Ağları ve Otoregresif Modellerle Rüzgar Hızı Tahmini, III.Atmosfer Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), 6s., İstanbul, 2003.

Kohler, M. A.; Linsley, R. K., Predicting the Runoff from Storm Rainfall. U.S. Weather Bureau, Research Paper 34s., 1951

Lange, N.T., New mathematical approaches in hydrological modeling – an application of artificial neural networks. *Physics and Chemistry of the Earth* 24, 31–35s., 1999

Lippman, R., An introduction to computing with neural nets, *IEEE ASSP Magazine*, 4-22s., 1987.

McCulloch, W.S.; Pitts, W., A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, 115–133s., 1943

Mason, J.C.; Price, R.K.; Tem'me, A., A neural network model of rainfall-runoff using radial basis functions, *Journal of Hydraulic Research*, 34(4), 537s., 1996

Minns, A.W.; Hall, M.J., Artificial neural networks as rainfall–runoff models. *Hydrological Sciences Journal* 41S, 399-417s., 1996, Living with the ultimate black box: more on artificial neural networks. in: *Proceedings of the 6th British Hydrological Society Symposium*, Salford University, 9.45–9.49s., 1997

Mosonyi, E.; *Water Power Development: (I) Low-Head Power Plants, (II) High- Head Power Plants*. Hungarian, Academy Press No.56418, 1061s., 1145 s., Budapest, 1963, 1965.

Nash, J. E. The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph. *International Association of Scientific Hydrology Publication*, 45S, 114-121s., 1957

- Nash, J. E.. The form of the Instantaneous Unit Hydrograph. IUGGGen. Assem. Toronto, cilt3, Publ., No.45, IAHS, Gentbrugge, 114-121s., 1958
- Natale, L. ; Todini, E.. Mathematical Models for Surface Water Hydrology. in: T. A. Ciridni et al. (eds.), A Constrained Parameter Estimation Technique for Linear Models, Wiley, New York, N. Y., 1977
- Nemec, J., Hydrological Forecasting. Reidel, Dordrecht., 1986
- Öziş, Ü., Su Yapıları, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No. 54, 608 s., İzmir, 1983.
- Öziş, Ü., Su Yapılarında Sayısal Örnekler, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No.66, 120 s., İzmir, 1984.
- Öziş, Ü.; Türkman, F.; Alkan, A., Su Kuvveti Tesislerinde Sayısal Örnekler, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No. 212, 96s., İzmir, 1991.
- Öziş Ü., Su Kuvveti Tesislerinin Planlama Esasları, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi, 316s., İzmir, 1991.
- Öztopal A.; Kahya, C., Sırdaş, S., Yapay Sinir Ağları İle Akış Tahmini, Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları Konferansı, Su Vakfı, İstanbul, 2003
- Raman, H.; Sunilkumar, N., Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural networks.Hydrological Sciences 40S, 145–163s, 1995
- Ranjithan, S., Eheart, J.W. and Garrett, J.H., Neural Network-Based Screening for Groundwater Reclamation Under Uncertainty, Water Resources Research, 29, 3, 563-574s., 1993
- Rocwood, D. M.; Nelson, M. L. (1966), Computer Application to Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation IV Int., Conf. Irrig. Drain., 1966.

Rogers, L.L.; Dowla, F.U., Optimization of groundwater remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling", Water Resources Research, 30, 2, 457-481s., 1994

Rao, R. A.; Delleur, J. W., The Instantaneous Unit Hydrograph: Its Calculation by the Transform Method and noise Control by Digital Filtering, Purdue Univ., Water Resources Centre, Report No.20., 1971

Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E.; Willis, R. J., Learning Representation by Back Propagation Errors, Nature, 323: 533-536s ,1986.

Sağıroğlu, Ő.; BeŐdok, E. ve Erler, M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık Tic. Ltd. Őti., ISBN 975- 95948-5-4, 426 s., Kayseri, 2003.

Sajikumar, N.; Thandaveswara, B. S., A Non-linear Rainfall-Runoff Model Using an Artificial Neural Network, Journal of Hydrology 216, 32-55, İndia, 1999.

SCS, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology Soil Conservation Services, U.S., Department of Agriculture, Washington, D. C., 1972

Schleiermacher E., Su Kuvveti Tesisleri İnşaat ve Proje Esasları, Teknik Üniversite Matbaası, 287 s., İstanbul, 1967.

Sherman, L. K., Streamflow Flow Rainfall by the Unit Graph Method, Eng. News Rec., 108, 501-505s., 1932

Sungur, T., Su Yapıları-Cilt I Baraj ve Göletler (Su Biriktirme Yapıları)–Teknik Rehber, D.S.İ. Basım ve Foto Film İŞletme Müdürlüğü Matbaası, 191 s., Ankara, 1988.

Şen Z.; Sönmez, İ., Yapay Sinir Ağları İle Hidrolojik Benzetim ve Tahmin Yöntemi, II. Ulusal Hidroloji Kongresi, 254-265, İstanbul, 1998.

Todini, E.; Rainfall-Runoff Modeling-Past, Present and Future, Journal of Hydrology, 100 341-352 Amsterdam, 1998.

Tokar, S.A.; Johnson, P.A., Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks, Journal of Hydrologic Engineering 4, 232-239s., 1999

Tikhonov, A. N., Solution of Incorrectly Formulated Problems and the Regularization Method, Sov. Math., 4, 1035-1038s., 1963a

Tikhonov, A. N., Regularization of Incorrectly Posed Problems, Sov., Math., 4, 1624-1627s., 1963b

Uzunoglu, M.; Kızıllı, A. ve Onar, Ö. Ç., Kolay Anlatımı ile İleri Düzeyde Matlab 6.0-6.5, Türkmen Kitabevi, ISBN 975-6812-79-6, İstanbul, 2002.

Ünsal İ., Enerji Gündemi ve Hidroelektrik Potansiyelimiz (Küresel Düşün, Yersel Davran), V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 273-295, İstanbul, 2004.

Wiener, N., The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. Wiley, New York, N. Y., 1949

WMO., Intercomparison of Conceptual Models Used in Operational Hydrological Forecasting. Oper. Hydrol. Report 7, WMO No.429, Geneva, 1985.

Wood, E. F.; O'Connell, P. E., Real-time Forecasting. M. G. Anderson ; Burt, T.P. (Editors) in Hydrological Forecasting, 1985.

Yıldız K., Hidroelektrik Santraller Hesap Esasları, Devlet Su İşleri Vakfı Yayınları No:1, 338 s., Ankara, 1992

<http://www.kimyamuhendisi.com/>

# ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı : Mutlu YAŞAR  
Ana adı : Nevin  
Baba adı : Seyfullah  
Doğum yeri ve tarihi : Gaziantep, 29.07.1979  
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi : Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2001  
Çalıştığı yer : Araştırma Görevlisi, Pamukkale Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü  
Bildiği yabancı dil : İngilizce