

**YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNİN YAPAY SINIR AĞI
YÖNTEMLERİYLE MODELLENMESİ:
KURUKAVAK HAVZASI UYGULAMASI**

Ersin OĞUL
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Eylül-2006

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ersin OĞUL'un "Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Sinir Ağı Yöntemleriyle Modellenmesi: Kurukavak Havzası Uygulaması" başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 18.09.2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yrd.Doç.Dr. Mustafa TOMBUL
Üye	: Yrd.Doç.Dr. Arda ŞORMAN
Üye	: Yrd.Doç.Dr. Yusuf OYSAL

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNİN YAPAY SINIR AĞI YÖNTEMLERİYLE MODELLENMESİ: KURUKAVAK HAVZASI UYGULAMASI

Ersin OĞUL

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yard. Doç. Dr. Mustafa TOMBUL
2006, 66 sayfa**

Bu çalışmada, daha önce elde edilmiş hidrometeorolojik verilerle yapay sinir ağları metodu kullanılarak yağış akış ilişkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmada Bilecik ili, Pazaryeri ilçesi, Kurukavak Havzası'na ait gözlenmiş yağış ve akım verileri kullanılarak akım tahminleri yapılmıştır. Çalışmada yapay sinir ağı metotlarından ileri beslemeli geriye yayılım metodu, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ve radyal tabanlı sinir ağı metodu kullanılmıştır. Yağış ve akım verileri modellere girdi olarak verilip yeni akım değerleri elde edilmiştir. Grafiklerden elde edilen yeni akım değerleri daha önce ölçülen akım değerleriyle karşılaştırılmıştır. Her farklı yapay sinir ağı mimarisi için en iyi sonuç elde edilene kadar çok sayıda simülasyon yapılarak en iyi sonuç elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında en iyi sonucu gerek genelleştirilmiş regresyon sinir ağı, gerekse radyal tabanlı sinir ağı metoduna kıyasla ileri beslemeli geriye yayılım metodunun verdiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağı, ileri beslemeli geriye yayılım metodu, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı, radyal tabanlı sinir ağı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

MODELING OF RAINFALL-RUNOFF RELATION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHODS: KURUKAVAK BASIN CASESTUDY

Ersin OĞUL

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa TOMBUL
2006, 66 pages**

Flow estimation in a base, the help of the obtained hydrometeorologic data, is important in terms of water resources projecting studies. In this study, based modelling applications are performed with flow estimation which is obtained by the help of antecedent hydrometeorologic data. In the study, the flow estimations are made by previously measured rainfall, evaporation and antecedent flow data obtained in Kurukavak Basin, Pazaryeri, Bilecik. In the study, the artificial neural network methods of the feed forward back propagation method, the generalized regression neural network and the radial based artificial neural network method are used. The calculations are performed in Matlab 6,5 programme. The new flow data are obtained from a computer programme in matlab written about rainfall, flow and evaporation data. Many simulations are done for each different artificial neural network architecture to get the best results and the real results are obtained in a short time.

Keywords: Artificial neural network, feed forward back propagation method, generalized regression neural network, radial basis function neural network

TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında yardımcı olan, çalışmalarına yön veren, ilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Yard. Doç. Dr. Mustafa TOMBUL'a

Öğretim yılı boyunca ve dışında, destek ve güler yüzünü eksik etmeyen hocalarım Yard. Doç. Dr. Arda ŞORMAN ve Yard. Doç. Dr. Yusuf OYSAL'a

Çalışmanın başlangıç aşamasında yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. Kerem CİĞİZOĞLU ' na

Çalışma boyunca gösterdiğim emek ve sabra destek olan aileme, anneme ve sevgili arkadaşım Dilek BAYSAL'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ersin OĞUL

Eylül - 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar	4
2. YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİNE GENEL BAKIŞ	7
2.1. Yağışlar	7
2.1.1. Yağışların Oluşması	7
2.1.2. Yağış Ölçüm, Dağılım ve Gözlemleri.....	7
2.2. Buharlaşma.....	9
2.3. Süzülme ve Sızma	10
2.4. Yüzeysel Akış	12
3. SU HAVZALARI ve AKIŞLAR	17
3.1. Su Havzaları	17
3.2. Havza Büyüklükleri	19
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	20
4.1. YSA'nın Yapısı: Elemanları ve Mimarisi.....	23
4.2. Aktivasyon Fonksiyonu	26
4.2.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	26
4.2.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	27
4.2.3. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu	28

4.3. İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu.....	31
4.3.1. İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu Denklemleri.....	33
4.4. Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı	36
4.5. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları	37
4.6. Niçin YSA?	38
4.6.1. Doğrusal Olmayan Yapı.....	38
4.6.2. Öğrenme.....	38
4.6.3. Yerel İşlem ve Esneklik	39
4.6.4. Gerçek Zamanlı İşlem	39
4.6.5. Genelleme	39
4.6.6. Hafıza	39
4.6.7. Kendi İlişisini Oluşturma	40
4.6.8. Sınırsız Sayıda Değişken ve Parametre	40
5. UYGULAMA ALANI.....	41
5.1. Kurukavak Deresi Havzası.....	41
5.1.1. Toprak ve Arazi Kullanım Durumu	42
5.1.2. İklim ve Su Kaynakları	43
5.2. Uygulama	44
5.3. Uygulama Grafikleri	46
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	53
KAYNAKLAR	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Buharlaşma.....	10
2.2. Yüzeysel akış	12
3.1. Türkiye akarsu havzaları	17
3.2. Su toplama havzası.....	18
4.1. YSA mimarisinin temel elemanları.....	21
4.2. Yapay nöronun genel yapısı.....	24
4.3. Yapay nöronun detaylı yapısı	25
4.4. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	27
4.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	27
4.6. Tanjant hiperbolik fonksiyonu	28
4.7. YSA'ların genel yapısı	29
4.8. Geri yayılma bağlantı yapısı	30
4.9. İleri beslemeli geri yayılma ağların genel yapısı	32
4.10. Eğitim sürecindeki sinyal çeşitleri	35
5.1. Kurukavak deresi havzasının genel görünüşü.....	41
5.2. Havzanın toprak haritası	42
5.3. Havzanın arazi kullanım durumu	43
5.4. Yapay sinir ağı modelinin eğitim aşamasında iterasyonlara göre hataların değişimi	46
5.5. İleri beslemeli geriye yayılımı ile akım tahmin grafiği.....	47
5.6. İleri belemeli geriye yayılımı metodunda saçılma diyagramı	48
5.7. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ile akım tahmin grafiği.....	49
5.8. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağında saçılma diyagramı	50
5.9. Radyal tabanlı sinir ağı metodu ile akım tahmin grafiği.....	51
5.10. Radyal tabanlı sinir ağı metodunda saçılma grafiği.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Çeşitli topoğrafik arazilerde yıllık akış katsayıları	14
5.1. Farklı modellere ait ortalama kare hatası ve determinasyon katsayısı değerleri.....	45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

H	:Yağmur yüksekliği (mm)
İ	:Yağmur şiddeti (mm/dk)
h_i	:Yıllık yağış miktarı (mm)
h_k	:Aylık hakiki yağış yüksekliği (mm)
S	:Alan (km^2)
Q	:Debi (lt/sn)
¶	:Ortalama akış katsayısı
H	:Yağış yüksekliği (m)
J	:Akarsudaki eğim
X_i	:Girdi değerleri
T_n	:Çıktı değerleri
N	:Girdi grubu
YSA	:Yapay sinir ağı
W_{ij}	:Ara bağlantı ağırlıkları
i	:İndeks
H_j	:j gizli hücresinin girdisi
$W(i)$:Ağırlıklar
W_{ij}	:i hücresinden j hücresine doğru olan bağlantı ağı
HO_j	:Gizli hücre çıktısı
$F(H_j)$:Hücre çıktısı
Θ_j	:Başlangıç veya taraflılık değeri
IO_n	:Belirlenen adet kadar çıktı hücrelerine ulaşan girdi
O_n	:Sinir ağı çıktı değerleri
ep	:Hata karelerinin toplamı
(OKH)	:Ortalama kare hatası
O_{pn}	:p'inci grup için O_n çıktı değeri
δ_n	:Gradyan

δ_j	:Hata gradyanı
α	:Momentum oran terimi
η	:Öğrenme oranı
r	:İterasyon numarası
$F(x, y)$:Ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu
$E[y X]$:Bağımsız x değişkenine göre bağımlı y değişkeninin regresyonu
P	:x vektörünün boyutu
n	:Gözlenen veri sayısı
s	:Düzeltilme parametresi
D_i^2	:Skaler bir fonksiyon
$\hat{Y}(X)$:Bağımsız x değişkenine göre bağımlı y değişkeninin regresyonu
X_i	:Gözlenen değerler
Y_i	:Tahmin edilen değerler
R^2	:Belirginlik (determinasyon) katsayısı

GİRİŞ

Su kaynaklarının geliştirilmesinde ve planlanmasında yağış-akım ilişkisinin bilinmesi oldukça önemlidir. Mevcut meteorolojik ölçümlerden hareketle gelecekteki akım değerlerinin tahminine yönelik çok sayıda matematik modeller geliştirilmiştir. Gelecekteki akım değerlerinin belirlenmesi, taşkın kontrolü amacıyla haznelerin işletilmesi, kurak dönemlerde içme ve kullanma suyunun temini, hidroelektrik üretiminin sağlanması ve akarsu ulaşımının planlanması açısından önemlidir.

Bir havzadaki akım havzaya düşen yağışa bağlı olmakla birlikte yağış olayının görülmesi ile akımın oluşması arasında belli bir gecikme vardır. Akım tahminlerini yaparken bu gecikmeden yararlanılır. Havzada yağıştan akışa geçme süreci ve meydana gelen fiziksel olayların daha iyi bir şekilde anlatılabilmesi için çeşitli metot ve modeller geliştirilmiştir. Bu modeller parametrik ve karakutu (yapay sinir ağları gibi) modelleridir. Parametrik modeller havza karakteristiklerinin değişim etkilerinin incelenmesinde kullanılan modellerdir. 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. Bu nedenle parametrik modellerin pratik olarak uygulanabilmesi daha zordur. Karakutu modellerinde ise havzanın, yağışı akışa dönüştürmesi sürecinin ayrıntılarına girilmemektedir. Bu tip modellerde havza, yağışı akışa çeviren kapalı bir sistem olarak değerlendirilir. Sistemin dönüşüm fonksiyonunun, o havzada gözlenmiş olan yağış ve akım değerlerine göre belirlenmesine çalışılır (Bayazıt, 1998). Havzanın davranış fonksiyonları girdi (yağış) ve çıktı (akım) dataları üzerinde belirlenir (Müftüoğlu, 1991).

İnsan beyninin ve düşünme yeteneğinin taklit edilmesi isteği çok eski zamanlarda var olmuş bir istektir. İnsan beyni ve düşünebilme yeteneğine ilişkin ilk açıklayıcı teori geliştirme denemeleri Antik Yunan düşünürleri olan Plato (İ.Ö. 427-327) ve Aristoteles'e (İ.Ö. 384-322) kadar uzanmaktadır. Daha sonra ise Descartes (1596-1650) insanın düşünme yeteneğiyle ilgilenen 18. yüzyıl düşünürü olmuştur.

Teknolojik gelişmenin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde, insanoğlunun kendisini tanımaya yönelik çalışmaları da önemli aşamalar kaydetmiştir. Yapay zeka kavramı ile insanın en önemli özellikleri olan düşünebilme ve öğrenebilme yetenekleri en önemli araştırma konuları durumuna gelmiştir. Özellikle son zamanlarda bilgisayar kullanımının hızla yaygınlaşması sonucunda yapay zeka çalışmaları da bir ivme kazanmıştır.

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zeka, aslında programlanmış bilgisayarlara düşünme yeteneği sağlama girişimidir. İnsan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950'li yıllardan beri süren yapay zeka çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yayılmıştır. İnsan gibi düşünebilen ve davranabilen sistemlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda bugün gelinen nokta, henüz yapay zekanın tam olarak geliştirilememiş olmasıdır. Yapay zekanın mümkün olabilirliği tartışmaları bir yana bırakılırsa bu konudaki çalışmalar bu alanı destekleyen farklı alanlardaki çalışmalarla birlikte devam etmektedir.

Yapay zeka çalışmaları kapsamında ortaya çıkan ve bir noktada yapay zeka çalışmalarına destek sağlamakta olan farklı alanlardan bir tanesi de yapay sinir ağları teknolojisidir. Dolayısıyla, yapay zeka alanının bir alt dalını oluşturan YSA teknolojisi öğrenebilen sistemlerin temelini oluşturmaktadır. İnsan beyninin temel işlem elemanı olan nöronu şekilsel ve işlevsel olarak basit bir şekilde taklit eden YSA'lar, bu yolla biyolojik sinir sisteminin basit bir simülasyonu için oluşturulan programlardır.

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, yapay sinir ağları denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır.

Yapay sinir ağları son zamanlarda hidrolojik modellerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bir havzada yağış-akış ilişkisinin modellenmesi, akarsularda askı maddesi hesabı, akarsularda taşkın tahminleri, baraj hazne işletme çalışmaları, bir göldeki su seviyesi değişiminin hesaplanması, vb. gibi alanlara uygulamaları yapılan çalışmalarda görölmektedir.

Yapay sinir ağlarında çeşitli, değişik metotlar mevcuttur. Yapay sinir ağları açısından düşünöldüğünde hidrolojik çalışmalara en uygun metotlar ileri beslemeli geriye yayılım metodu, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ve radyal tabanlı yapay sinir ağı metotları olarak sayılabilir. Bu çalışmada da ileri beslemeli geriye yayılım metodu, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ve radyal tabanlı yapay sinir ağı metotları kullanılmıştır. Bu metotlar Bilecik İli, Pazaryeri İlçesi, Kurukavak Havzası'na uygulanmıştır. Bu havzaya ait 1988, 1989, 1990, 1991 yıllarında ölçölmüş yağış ve akım verileri ile hesaplamalar yapılmıştır.

İleri beslemeli geriye yayılım metodunda çok sayıda simölasyon yapılarak en yakın akım değerleri elde edilmiş ve grafiklerle gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, daha önce ölçölen akım değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı yönteminde ise uygun bir düzeltme parametresi (s) seçildikten sonra, bir simölasyon değişmeyen tek bir sonuç vermektedir. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodunda düzeltme parametresi simölasyonlara göre değiştirilmiştir. En yakın akım değerleri bulunarak, uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Radyal tabanlı yapay sinir ağı metodunda ise yayılma parametresi en iyi sonucu verecek şekilde değişik simölasyonlarla belirlenerek uygun akım değerleri elde edilmiştir.

İşlemler neticesinde yapay sinir ağı metotlarının daha önce ölçölmüş akım verilerine yakın değerler bulduğu gözlemlenmiştir.

1.1. Önceki Çalışmalar

Yapay sinir ağları ve yöntemlerinin 19. yüzyıldan bu yana çeşitli araştırmacılar tarafından incelendiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda yapay sinir ağı metotlarından ileri beslemeli geriye yayılım metodu, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ve radyal tabanlı sinir ağı metotları kullanılmıştır.

Sonuçlara bakıldığında ileri beslemeli geriye yayılım metodunun diğer metotlara göre daha iyi sonuçlar verdiği çalışmalarda görülmüştür. Diğer taraftan yapay sinir ağlarıyla diğer klasik istatistik metotlar, arma metotları ve kapalı kutu modelleri de karşılaştırılmıştır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda ele alınmıştır.

“Minns ve Hall (1996)”, bir yapay sinir ağı metodu kullanarak yağış-akış modellemesi yapmışlardır. İleri beslemeli ve geriye yayılım metodunu kullanarak yağış-akış ilişkisini incelemişlerdir.

“Panagoulia ve ark. (2001)”, gerçek zamanlı yağış-akış ilişkisini yapay sinir ağı yöntemlerini kullanarak Yunanistan’ın Atina şehri yakınlarındaki havzaya uygulamışlardır.

“Alp ve Cıgızoğlu (2004)”, farklı yapay sinir ağı metotları ile yağış-akış ilişkisini modellemişlerdir. İleri beslemeli geriye yayılım metodu ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodunu kullanmışlardır. A.B.D., Pennsylvania Eyaletindeki, Juniata Nehrine ait günlük akım değerleri kullanılarak modelleme yapılmıştır. İleri beslemeli geriye yayılım metodunun genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metoduna göre daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.

“Alp ve Cıgızoğlu (2004)”, yapay sinir ağı metotları ve regresyon analizi ile akım tahminleri yapmışlardır. A.B.D., Pennsylvania eyaletindeki, Juniata Nehrine ait günlük akım değerleri kullanılmıştır. İleri beslemeli geriye yayılım metodunun, radyal tabanlı sinir ağı metoduna göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

“Cıgızoğlu (2000)”, yapay sinir ağlarını kullanarak akarsuda askı maddesi tahminleri yapmıştır.

“Makarynsky ve ark. (2002)”, Portekiz’in batı kıyılarında dalga tahminlerinde yapay sinir ağlarını kullanmışlardır.

“Kılınç ve ark. (2004)”, hazne işletme çalışmalarında yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. İstanbul İli, Şile İlçesi’nde Çanakdere üzerinde yapılması planlanan Sungurlu Barajı’nda, barajın planlama raporuna ait, giren aylık toplam akımlar, kot-alan-hacim değerleri, aylara göre buharlaşma değerleri, maksimum hacim, minimum hacim, pompa kapasitesi gibi değerler kullanılarak, hazne işletme çalışmaları yapılmıştır. İleri beslemeli geriye yayılımı metodu ve radyal tabanlı yapay sinir ağı metodu kullanılarak akımdan akım, buharlaşmadan buharlaşma ve hacimden hacim tahminleri yapılmıştır.

“Demirpençe (2005)”, akarsuda askı madde miktarını yapay sinir ağları metodu ile tahmin etmiştir. A.B.D.’de Puerto Rico eyaletindeki Rio Tanama İstasyonundaki günlük akarsu debisi ve askı maddesi konsantrasyonlarının değerlerini kullanarak modelleme yapmıştır.

“Onüçyıldız ve Yarar (2005)”, Beyşehir Gölü su seviyesi değişimlerini, yapay sinir ağı metotları ile belirlemeye çalışmışlardır. Devlet Su İşleri tarafından yapılan, 1962-1990 yılları arasına ait giren akım-kayıp akım, yağış, buharlaşma, çekilen akım ve seviye ölçümleri kullanılarak, yapay sinir ağı yöntemleri yardımı ile seviye değerleri elde edilmiş ve elde edilen değerler geleneksel yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

“Dibike ve Solomatine, (1996)”, yapay sinir ağlarını kullanarak akarsu taşkın tahminleri yapmışlardır. Radyal tabanlı yapay sinir ağları ile çalışılmıştır.

“See ve ark. (1997)”, taşkın tahminlerinde yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Yapay sinir ağı, arma modelleri ve kara kutu modelleriyle taşkın tahminleri yapılmıştır. Yapay sinir ağının bulunduğu tahminler diğerlerine göre daha iyi sonuç vermiştir.

“Toth ve Brath (1993)”, taşkın tahminlerinde yapay sinir ağı ve kara kutu modellerini kullanmışlardır. İtalya’nın Arno Nehrinde çalışmalar yapılmıştır. Yapay sinir ağının bulunduğu sonuçlar kara kutu modeline göre daha iyi çıkmıştır.

“Fernando ve Jayawardena, (1998)”, ileri beslemeli geriye yayılımı metodu ile şiddetli yüzeyüstü su akış tahminlerini yapmışlardır.

“Abrahart ve ark. (2001)”, yapay sinir ağları ile yağış-akış modellemesi yapmışlardır. Yapay sinir ağlarının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

“Hsu ve ark. (1995)”, yağış-akış ilişkilerini yapay sinir ağırları metodlarıyla incelemişler ve çok başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

“Maier ve Dandy (2001)” havza-çevre ilişkilerini yapay sinir ağırlarıyla modellemişlerdir.

“Keskin ve Terzi (2001)” yapay sinir ağırları metodunu buharlaşma miktarının belirlenmesinde kullanmışlardır.

“Brikundavyi ve ark. (2002)” taşkın tahmin analizinde yapay sinir ağırlarını kullanmışlar ve başarılı sonuçlara ulaşmışlardır.

2. YAĞIŞ – AKIŞ İLİŞKİSİNE GENEL BAKIŞ

2.1. Yağışlar

2.1.1. Yağışların Oluşması

Genel olarak, su buharı ve doymamış hava ile temasta bulunan su buharlaşır. Çeşitli sıcaklıklarda su buharı ile doygun hale gelmesi için havanın içine alması gereken su miktarları değişiktir. Sıcak bir hava kütlesi daha fazla ve soğuk bir hava kütlesi ise içine daha az su buharı kabul eder. O halde doygun sıcak bir hava kütlesi içinde doygun soğuk hava kütesine oranla daha fazla su buharı vardır. Öyleyse sıcaklık arttıkça hava içinde bulunan su buharı çoğaldığından doymuş buhar basınçlarının da artması gerekmektedir (Şen, 2002).

Buharlaşarak su buharı halinde atmosfere doğru yükselen su zerrecikleri, sıcaklığın azaldığı ortamda bulutları oluşturur. Bulutlar havadan daha az yoğunlukta oldukları sürece hava içinde askıda kalıp yüzerler ve rüzgarlar vasıtasıyla öteye beriye sürüklenirler, birbirleri ile karşılaşır ve birleşirler. Bunlar daha soğuk hava tabakalarına rastladıklarında herhangi bir şekilde yoğunlaşırlar. Yoğunlaşma noktasının altına inildiğinde sıcaklık sıfır derecenin üstünde ise su kürecikleri meydana gelip yağışlar yağmur şeklinde, sıfır derecenin altında ise buz kristalleri meydana gelip kar ve dolu şeklinde olur. Eğer yatay hava akımları bunları havada tutmazsa yağmur, kar ve dolu halinde yere düşerler. Su buharının yoğunlaşması yer yüzeyinin soğuyan kısımlarında olursa çığ veya kırağı oluşur. Geceleyin toprak sudan daha çabuk soğur ve kendi suyunu veya doygun havanın suyunu toplayarak buz kristalleri biçimine dönüştürür.

2.1.2. Yağış Ölçüm, Dağılım ve Gözlemleri

Bir bölgeye düşen yağmur miktarını bulmak için, yağış alanının ve yağış yüksekliğinin bilinmesi gerekir. Su ayırım çizgilerinin içinde kalan her alan bir hidrolojik bölgedir. Buharlaşma hiç olmayan, sızmayan ve akmayan düz bir yere düştüğü düşünülen yağışın belirli bir zamanda milimetre cinsinden yükseldiği miktara yağış yüksekliği denir. Yağış yüksekliği ile hidrolojik bölge alanı

çarpılırsa o bölgeye düşen yağış suyu miktarı bulunur. Yağış yüksekliği yağış süresine bölünürse yağış şiddeti elde edilir.

Örneğin 2 dakikada düşen yağmurun yüksekliği $h=4$ mm ise bu yağmurun şiddeti:

$$i=4\text{mm} / 2 \text{ dak} = 2 \text{ mm} / \text{dak.}$$

olarak bulunur.

Yağışlar plüvyometre denilen alet ile ölçülür. Yağmur ölçü aletinin etki alanı; düz yerlerde 5-6 km, engebeli yerlerde 0,5 km ve hatta 200–100 m ye kadar düşebilir. Bir yere düşen yağışın miktarı; günden güne, aynı yıl içinde aydan aya ve yıldan yıla çok değişiklik gösterebilir. Yılın yağışlı günlerindeki yağış yükseklikleri h_1, h_2, \dots, h_n ile gösterilirse, bunların toplamı yıllık yağış miktarını verir.

Yıllık yağış miktarı (mm) :

$$\sum_{i=1}^{i=n} h_i = h_1 + h_2 = \dots + h_n \text{ dir.}$$

Bu denklem 12 ye bölünürse aylık ortalama yağış yüksekliği bulunur.

$$\text{Aylık ortalama yağış yüksekliği} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} h_i}{12} \text{ dir.}$$

Aylık gerçek yağış yüksekliği $\sum_{k=1}^{k=m} h_g$ ile gösterilirse,

$$\text{Aylık yağış katsayısı} = \frac{\sum_{k=1}^{k=m} h_g}{\sum_{i=12}^{i=n} h_i / 12} \text{ olarak gösterilir (Erdemgil, 1995).}$$

Yağış sularının bir kısmı hemen tekrar buharlaşarak atmosfere geri döner. Diğer bir bölümünü bitkiler alır, bir bölümünü zemin emer. Bir bölümü ise toprağa sızar ve süzülür. Geri kalanı ise yüzeysel akışa geçip akarsuları oluşturur. Akarsulardan da yeraltına sızma ve buharlaşma olayları sürer. Bitkilerin aldığı suyun bir kısmı terleme suretiyle yine buharlaşarak atmosfere döner.

2.2. Buharlaşma

Buharlaşma, suyun sıvı halinden gaz veya buhar haline dönüşmesi sürecidir. Buharlaşma, suyun sıvı halinden gaz veya buhar olarak atmosfere iletilmesinin başlıca yoludur. Araştırmalar göstermiştir ki, okyanuslar, denizler, göller ve nehirler atmosferdeki nemin yaklaşık % 90'lık kısmını sağlarlar. Geri kalan % 10'u ise bitki yüzeyindeki buharlaşmadan meydana gelir (Erdemgil, 1995).

Buharlaşmanın olması için ısı (enerji) gereklidir. Enerji, su moleküllerini bir arada tutan bağları çözmek için gereklidir. Bu yüzden su, kaynama noktası 100° C de kolayca buharlaşır, fakat donma noktasında çok daha yavaş buharlaşır. Doymuş durumdaki hava ortamında (nisbi nemi %100 ise) buharlaşma devam edemez. Buharlaşma işlemi ısıyı ortamdan uzaklaştırır.



Şekil 2.1. Buharlaşma

2.3. Süzülme ve Sızma

Yağış sularının bir bölümü zeminin içine girer. Her yağışta bu miktar değişir. Toprağın su ile doymuş olup olmaması, sıcaklık, havanın nemliliği süzülen miktar üzerinde büyük etki yapar. Hidrolojik havzanın her noktasındaki toprak cinsi, tabakaların kalınlığı, eğimi, jeolojik oluşumu, çatlakları, boşlukları ve bunların su ile doymuş olup olmaması süzülme olayına etki yapan başlıca etkenlerdir. Örneğin geçirimsiz bir marn tabakası zemin yüzeyine yakınsa su ile doyarak aşağıya su geçirmez. Yağışın sürekliliği ve suyun zemin ile teması süresi ve don olayı da su geçirmede önemli rol oynar. Bu kadar karışık etken ve olaylara bağlı olan sızma ve süzülme olayının matematiksel kesinlikle bulunması olanağı yoktur. Bu problemlerle uğraşırken yüzdelerle konuşulur. Sızma miktarı; günden güne, aydan aya ve yıldan yıla değişebilir.

Yüzde olarak aranan bu sızma oranı;

- Havzaya düşen yağışlar ve havzanın alanı,
- O havzayı drene eden akarsular ile kolları ve bunların verimleri,
- Geçirimsiz zeminin yüzeye çıktığı yerdeki pınarlar, bunların minimum ve maksimum verimleri,
- Kuyularda pompaj deneyleri yapılarak bulunan seviyeler ve verimler
- Çeşitli yerlerdeki buharlaşmalar,

göz önüne alınarak karşılaştırılır.

Sızma ve süzülme olayı;

Doğal olarak:

- Yağmurlardan,
- Eriyen kar ve buzlardan,
- Akarsular ile göl ve diğer su kaynaklarından,

Yapay olarak:

- Yerüstü ve yeraltında inşa edilmiş su rezervuarlarından,
- Sulama sularından,
- Kuyuların yeraltısuyu tabakalarını birbirine bağlamasından kaynaklanır.

Yeraltına süzülen suların bir bölümü bitkiler tarafından alınıp yaşamları için kullanılır, geri kalanı yaprakları vasıtasıyla terleme (transpirasyon) ile tekrar havaya verilir. Süzülen suların artanı yeraltısularını ve kaynakları oluştururlar.

2.4. Yüzeysel Akış

Hemen tekrar buharlaşmayan, bitkiler tarafından tutulmayan veya zeminin içine girmeyen yağış sularının yüzeyde kalan kısmı; çay, dere ve nehirleri oluşturarak denizlere veya göllere kadar yüzeyden akan sulardır. Toprağın içine sızan suların bir kısmı bir süre sonra yeryüzüne çıkarak yüzeysel sulara katılırlar.

Yüzeysel akışlar;

- Toprağın jeolojik yapısı,
- Hidrolojik havzanın eğimi ve coğrafi durumu,
- Toprağın bitki örtüsü ve cinsi,
- Toprağın nemlilik derecesi,
- Bölgenin iklimi,
- Yağışların zamanı, süresi

gibi koşullara bağlı olarak değişir. Örneğin düz ve kumluk zemindeki yüzey suları, kayalık ve dik arazidekine oranla daha azdır.



Şekil 2.2. Yüzeysel akış

Bitki örtüsü, yüzeyden akan miktarı azaltır. Sıcak bir iklimde daha fazla buharlaşma olacağından yüzeyden akan suyun oranı düşük olacaktır. Buna karşın, zemindeki nem miktarı arttıkça yüzeysel sular fazlalaşacaktır.

Alanı S km² olan bir hidrolojik havza alalım. Belli bir süre içinde bu havzaya düşen yağış miktarı Y olsun. Herhangi bir B noktasından geçen debi Q ise,

$$\varphi = Q/Y = Q/H \times S$$

oranına o havzanın ortalama akış katsayısı denir. Burada H, belli süre içinde o havzaya düşen yağışların yüksekliğini göstermektedir. Uzunca bir zaman süreci için bu katsayının ortalama değeri %30-%35 olarak kabul edilebilir. Ancak kısa süreler ve küçük alanlar için mevsimine ve yerine göre bu katsayının çok değişik değerler aldığı görülmektedir.

Çizelge 2.1. de uzun süreler için, çeşitli topoğrafik arazilerde yıllık akış katsayılarını veren cetvel görülmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli topoğrafik arazilerde yıllık akış katsayıları

No	Topoğrafik Durumuna Göre Arazi Kategorileri	Akış Katsayısı
1	Batak ve alçak arazi	0,20
2	Ova ve yatık yayla	0,25
3	Kısmen ova kısmen tepeli arazi	0,30
4	Çok dik olmayan tepeli arazi	0,35
5	Orta dağlık, kısmen tepeli veya yalnız dik tepeli arazi	0,40
6	Alçak olan eski dağ silisilelerinde	0,45
7	Alçak ve ormanla kaplı yeni dağ silisilelerinde	0,50
8	Karaorman Riesengebirge'ye benzeyen dağlarda	0,55
9	Yüksek dağlık yerlerde (yamaç eğimine göre)	0,60
10	Yüksek dağlık yerlerde (yamaç eğimine göre)	0,65
11	Yüksek dağlık yerlerde (yamaç eğimine göre)	0,70

Bir havzaya bir yılda düşen yağışların yüksekliği H (m) ve o bölgedeki akarsuya bir yılda gelen suların yüksekliği H1 (m) ise; $\Psi = \frac{H1}{H}$ ifadesi yıllık akış katsayısını verir. Havza alanı S km² ise; bu havzadaki ana akarsuyun ortalama debisi lt/sn cinsinden;

$$Q = \frac{100.000 \times S \times \Psi \times H}{365 \times 86400 \times 1000} = 31,71 \times S \times \Psi \times H$$

Havzanın 1 km² sinden akarsuya gelen debi, lt/sn.km² cinsinden.

$$Q = 31,71 \times \Psi \times H$$

olur.

Bir havzanın yıllık akış ortalaması; havzanın büyüklüğüne, yağmur şiddetine, sürekliliğine, toprağın su akış direncine, arazinin çıplak, örtülü veya etkili olup olmamasına, çatlak kaya, suyu geçiren cinsten olup olmamasına, yağıştan sonra ve evvelki sıcaklıklara, toprağın doymun olup olmamasına ve eğime göre büyük değişiklikler gösterir.

Tuna, Sen, Ren, Fırat, Seyhan ve Ceyhan vb. gibi nehirler: J=0,001-0,002

Yarı seylabi dereler: J=0,002-0,06

Vahşi karakterli dereler: J=0,06-0,1

eğimindedirler (Müftüoğlu, 1991b).

Birinci kategoridekiler rahat akan ve yıllık akış ortalamaları hemen hemen değişmeyen havzaların düzenli akarsularıdır. Bu akarsu havzalarının birbirine nazaran yıllık akış katsayıları farklıdır.

Genel olarak büyük akarsularda, ana yataklarda yüzeysel akım oranı, ortalamaya göre büyük farklar göstermez. Bu gibi akarsularda eğim az, hidrolojik havza büyük olduğu için yağışlar 24 saatte en az 20 mm yi bulmalıdır ki akarsularda bir fark gözlenebilsin. Çok yatık olanlarda ise bunun 24 saatte en az 40 mm olması gerekir.

Çok su sızdıran bir araziden geçen bir akarsuyun akımına etkili olabilmesi için 24 saatte 100 mm lik bir yağışın olması düşünülebilir.

Küçük havzalı, dik eğimli yarı sel veya tam sel rejimli derelerde durum bunun tersinedir. Bu gibi bölgelerde bitki örtüsü de azdır. Eğer zemin çatlaksı değilse eğim %3'ü geçince 2-3 mm lik bir yağış yüzeysel akışa geçer ve kısa bir süre sonra suyun %100 ü yüzeyden akmaya başlar. Bitkisel toprak ile örtülü bir zeminin eğimi 0,04 ise, 3-4 mm lik bir yağış sonunda suyun %95'i yüzeyden akar (Müftüoğlu, 1991b).

3. SU HAVZALARI VE AKIŞLAR

Yeryüzüne ulaşan yağışların toplandığı akarsu bölgelerine “akarsu su toplama havzası” adı verilir. Türkiye topoğrafik olarak şekilde gösterildiği gibi 26 adet akarsu havzasına bölünmüştür.



Şekil 3.1. Türkiye akarsu havzaları

Türkiye 26 adet hidrolojik havzaya ayrılmıştır. Çalışmanın yapıldığı havza 12 numara ile gösterilen Sakarya Havzasıdır.

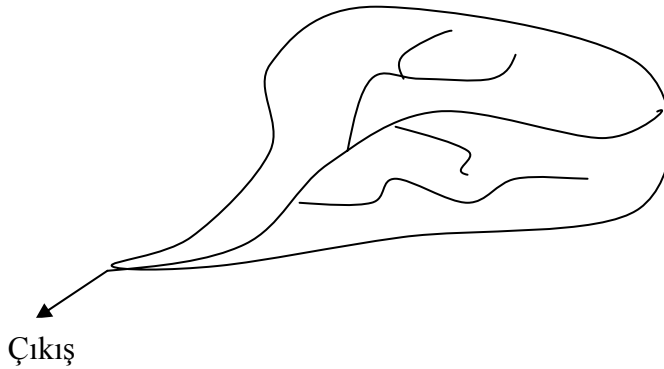
3.1. Su Havzaları

Su havzası, dünya yüzeyinin üzerine düşen yağış sularını toplayarak düşük kotlu aşağı bir noktaya ileten alanlara denir. Buralarda toplanan sular kendisinden daha büyük olan su toplama havzalarına ya da doğrudan denizlere ulaşır.

Su çevrimi bileşenli mühendislik hesaplamalarının yapılması için zaman ve alan büyüklüklerine ihtiyaç vardır. Bunlar arasında zaman birçok durumda düzenli; gün, hafta, ay, yıl veya taşkın ve kuraklık süreleri gibi durumlarda da düzensiz yani belirsizdir. Mühendislik hidrolojisi çalışmalarında bazı hidrolojik olayların süresi belirsiz bile olsa, bu olayların incelenmesinde zaman süresi düzenli olarak dikkate alınır. Bunun için, taşkın ve kuraklık gibi tekerrür süresi

gibi durumlarda gelecek 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl gibi süreler esas alınarak hesaplamalar yapılır.

Üzerine düşen her yağışın, akışa geçen kısmını yüzey suyu olarak çıkış noktasına getiren noktaların tümünü çevreleyen alana, o çıkış noktasının su toplama havzası denir. Mühendislik hesaplamalarında en azından bu havzanın yüzey alanının bilinmesi gereklidir. Alan ise ancak haritalardan tespit edilebilir. Suların akması için önemli olan yüzey şekilleridir, o halde topografya haritasında çıkış noktasının konumu tespit edildikten sonra, orası merkez olmak üzere her yönde çizilen değişik doğrular üzerindeki ilk tepe noktaları bulunur. Atmosferden gelen suların tepe noktaları ikiye ayrılır. Bir kısmı çıkış noktasına diğerleri de onun aksi yönüne akar. Bu bakımdan bu noktalara su ayırım noktaları adı verilir. İşte değişik yönlerde alınan doğrular üzerindeki en yüksek noktaların yani su ayırım noktalarının birleştirilmesi ile su ayırım çizgisi denilen geliş güzel bir eğri elde edilir. Bu çıkış noktasında her iki taraftan kendi üzerine kapanır. Bu eğri, su toplama havzasının çevresini teşkil eder ve en düşük yükseltisi çıkış noktasındadır. Çıkış noktasına havzanın en düşük kotlu su toplama noktası denilir. Pratikte ise buna mansap noktası adı verilir (Bayazıt, 1998).



Şekil 3.2. Su toplama havzası

Çıkış noktasından en uzakta olan noktalar genelde, yağışların bile olmadığı zamanlarda bu şebekeyi besleyen pınar ve yeraltı suyu kaynaklarına yakındır. Bu bakımdan böyle uzaklardaki kısımlara akarsuyun membağı denir.

Genel olarak havzayı üç kısımda incelemek mümkündür. Birincisi memba kısımlarını içeren ve en büyük yükseltilere sahip olan üst havza kısmıdır. Bu kısımda yüzey eğimleri oldukça fazla ve dik sarp kayalıklar bulunur. Çıkış noktası yakınında havzanın yaklaşık üçte birlik kısmına ise alt havza denir. Burada yüzey ve akarsu yataklarının eğimleri oldukça azdır. Alt ve üst havzalarının arasında kalan kısma da orta havza sahası adı verilir. Burada yüzey ve yatak eğimleri orta büyüklüktedir. Genel olarak, en az yüzeysel su miktarı üst havzada, en fazla ise drenaj şebekesi vasıtasıyla toplandığı için alt havzadır. Su kalitesinin en iyi olduğu yerler ise üst havza bölgesindedir. Buralarda doğal veya endüstriyel kirlenme azdır.

3.2. Havza Büyüklükleri

Mühendislik hidrolojisinde zaman ve alana karar verildikten sonra, birtakım hesaplamaların yapılması için yağış, akış, sızma, buharlaşma gibi değerlerin yanında aynı zamanda akarsu havzasının bazı büyüklüklerine de gerek vardır. Bunlar arasında en önemeli olanı akarsu havzasının haritadaki alanıdır. Alan büyüdükçe havzanın yağışları toplama imkanı artacağından yüzeysel akış miktarının da artacağı düşünülebilir.

Havzalar büyüklüklerine göre;

$A > 1000 \text{ km}^2$ ise çok büyük

$100 \text{ km}^2 < A < 1000 \text{ km}^2$ ise büyük

$5 \text{ km}^2 < A < 100 \text{ km}^2$ ise orta

$A < 5 \text{ km}^2$ ise küçük havzalar olarak nitelendirilebilir (Müftüoğlu, 1991b).

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

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

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

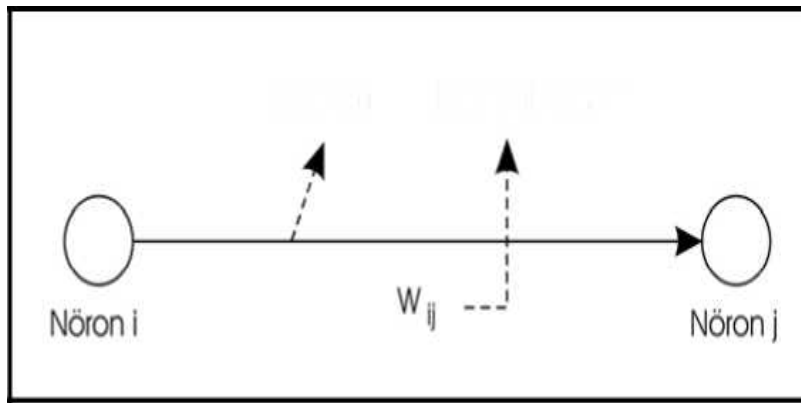
YSA'lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür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

YSA'lar herbiri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen, çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşmaktadır. En basit şekilde, bir işlem elemanı, bir

girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, işlem elemanlarının çalışma şekli yanıltıcı şekilde basittir. Sinirsel hesaplamanın gücü, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından gelmektedir.

Çoğu YSA'da, benzer karakteristiğe sahip nöronlar tabakalar halinde yapılandırılır ve transfer fonksiyonları eş zamanlı olarak çalıştırılır. Hemen hemen tüm ağlar, veri alan nöronlara ve çıktı üreten nöronlara sahiptirler (Öztemel, 2003).

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



Şekil 4.1. YSA mimarisinin temel elemanları

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

Ağın çıktısı, amaçlanan çıktı ile karşılaştırılarak hata payı elde edilir. Geri yayılma (backpropagation) olarak adlandırılan bir algoritma hata payını azaltacak şekilde ağırlıkları ayarlamak için kullanılır. Bu işlem defalarca tekrar edilerek ağ eğitilir. Eğitim işleminin amacı performans ölçümleri bazında optimum çözüme ulaşmaktır (Parker, 1987).

Bağlantısız mimariler, adaptif sistemler, veya paralel dağıtılmış işlemciler olarak da adlandırılan YSA'lar, oldukça fazla bağlantı içeren ve paralel yapılandırılmış beyin işlevinden esinlenen bir bilgi işlem paradigmasıdır. Farklı isimlerle anılmaları, farklılık sağlayan bazı temel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bağlantısız mimari (veya bağlantısız sistem) olarak anılmalarının temel sebebi, bireysel işlem elemanları arasındaki bağlantılardır. Ayrıca, bu bağlantıların ağırlıkları değişebildiğinden YSA'lar çalışma sistemlerini daha da etkinleştirebilmektedirler ve bu yüzden adaptif sistem olarak da adlandırılmaktadırlar. Paralel dağıtılmış işlemciler olarak adlandırılmalarının sebebi ise ağ içinde çok sayıdaki nod (node) veya nöronların hepsinin birbirlerine paralel olarak çalışmalarıdır.

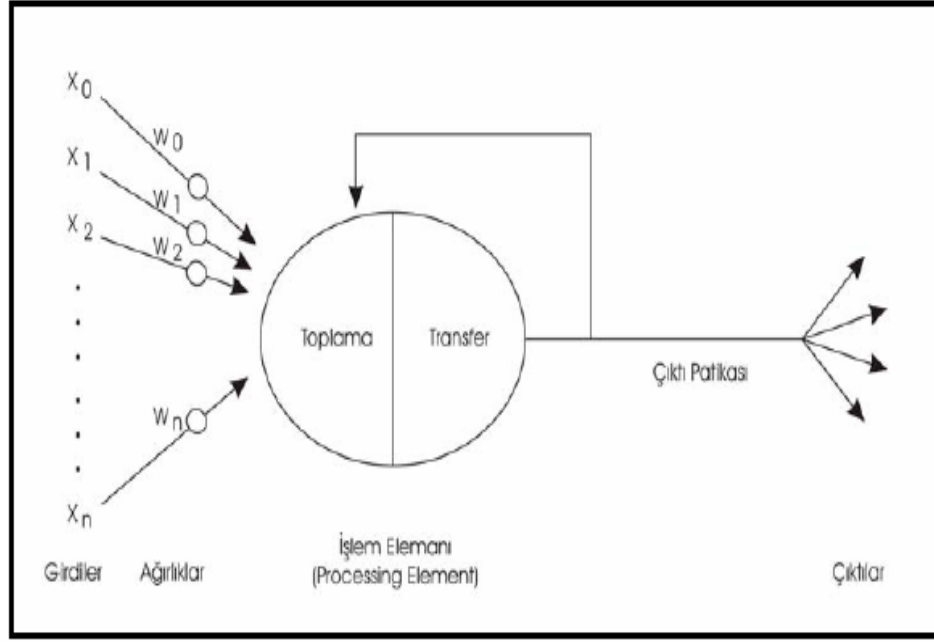
YSA paradigması için anahtar özellik, içerdiği bilgi işleme sisteminin yoğun (komplike) yapısıdır. Bu yapı nöronlara karşılık gelen, oldukça fazla sayıda ve sık bir şekilde birbirleri ile bağlantılı işlem elemanları içermektedir. Bu sık bağlantılar ise, sinaplara karşılık gelen ağırlıklı bağlantılar ile sağlanmaktadır.

4.1. YSA'nın Yapısı: Elemanları ve Mimarisi

Yapay sinir ağı, beyinden esinlenildiklerinden dolayı benzer yapıya sahiptirler. Fakat, beyin yoğun bağlantılı ve komplike yapısının sadece beyine özel bir özellik olduğu belirtilmelidir. Başka hiçbir yerde veya dijital bilgisayarda bulunmayan bu yapıya yakınsamak günümüz teknolojisine bile çok uzaktır. Yapay sinir ağını oluşturmak için kullanılan yapay nöronlar, beyindekilere kıyasla oldukça ilkel sayılırlar. Dolayısıyla, yapay nöronlar beyin yoğun bağlantılı ve komplike yapısından hala oldukça uzaktırlar ama genel yapı olarak tutarlıdır. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, komplike, çok yönlü ve güçlü bir organizma olan beyin sadece en temel elemanlarını kopyalamaya çalışmaktadır.

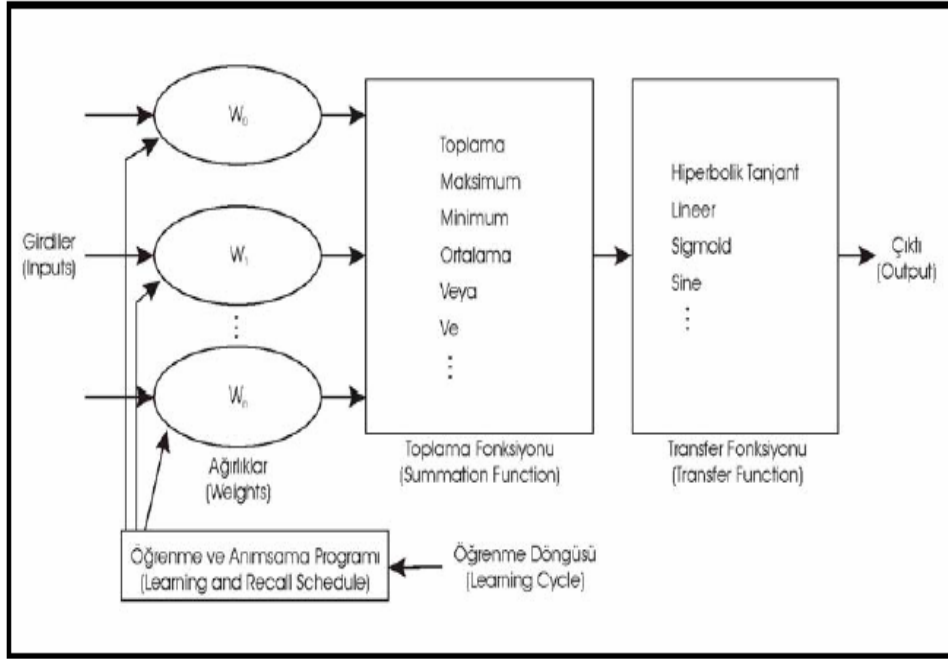
YSA'ların temel elemanları yapay nöronlardır. Bu nöronlar, aralarındaki bağlantıları oluşturarak ve tabakalar halinde gruplandırarak yapay sinir ağını oluşturmaktadır.

Şekil 4.2'de girdi değerler $x(i)$ matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde $i = 0, 1, 2, \dots, n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri bir bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise $w(i)$ ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür. Bu elektronik uygulama değişik toplama fonksiyonları ve farklı ağ yapılarında uygulanabilir.



Şekil 4.2. Yapay nöronun genel yapısı

Şekil 4.3’de, daha önce tanımlanan basit bir yapay nöron yapısının daha detaylı bir şeması sunulmaktadır. Şekilde, girdi değerler işlem elemanına üst sol bölümden girmektedir. İşlemde ilk adım, bu girdi değerlerin her birinin ilgili ağırlıklarla $w(i)$ ağırlıklandırılmalarıdır. Bir nöron genellikle, eşanlı olarak birçok sayıda girdi alır. Her girdinin kendi nispi ağırlığı vardır. Bu ağırlıklar, biyolojik nöronların değişen sinaptik etkililikleri ile aynı görevi üstlenirler. Her iki durumda da, bazı girdiler diğerlerine göre daha önemli hale gelirler. Bu sayede, işlem elemanının bir sinirsel tepki üretmesi işleminde daha fazla etkili olurlar. Ayrıca, ağırlıklar girdi sinyalin güçlülüğünü belirleyen adaptif katsayılardır. Yani, girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür. Bu bağlantı güçleri, çeşitli eğitim setlerine göre değiştirilebilirler.



Şekil 4.3. Yapay nöronun detaylı yapısı

Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler toplama fonksiyonuna gönderilirler. Toplama fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi, genelde toplama işlemi yapılmaktadır fakat bir çok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlıdır. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve sonra bu değerler ileri doğru gönderilir. Ek olarak, uygulamacı kendi fonksiyonunu oluşturup toplama fonksiyonu olarak kullanabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna ilemeden önce, sonuçları üzerinde ilave işlemler yaparlar. Bu işlem aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan işlemdir. Bir aktivasyon fonksiyonu kullanmanın amacı toplama fonksiyonu çıktısının zamana bağlı olarak değişmesini sağlamaktır.

4.2. Aktivasyon Fonksiyonu

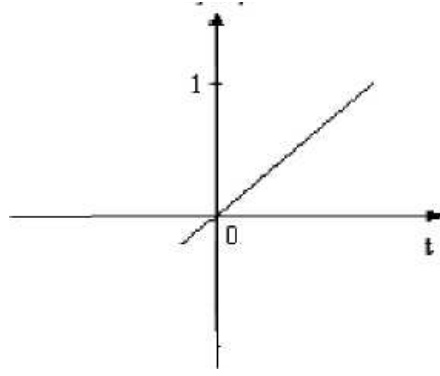
Transfer fonksiyonu olarak da geçen aktivasyon fonksiyonu, birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır. Geçiş fonksiyonları içinde en çok kullanılanı sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Örneğin eğer ağın bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid fonksiyon, ortalamadan sapmanın öğrenilmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyon kullanılması önerilmektedir.

Aktivasyon fonksiyonları bir YSA'da nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler genellikle $[0,1]$ veya $[-1,1]$ arasındadır. YSA'da kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevi alınabilir olması ve süreklilik arz etmesi gereklidir. Lineer veya doğrusal olmayan transfer fonksiyonlarının kullanılması YSA'ların karmaşık ve çok farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır.

Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır.

4.2.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA'da ya da genellikle katmanlı YSA'nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak $y=Av$ şeklinde tanımlanabilir. "A" sabit bir katsayıdır. YSA'ların çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon şekilde verilmiştir.



Çıkış

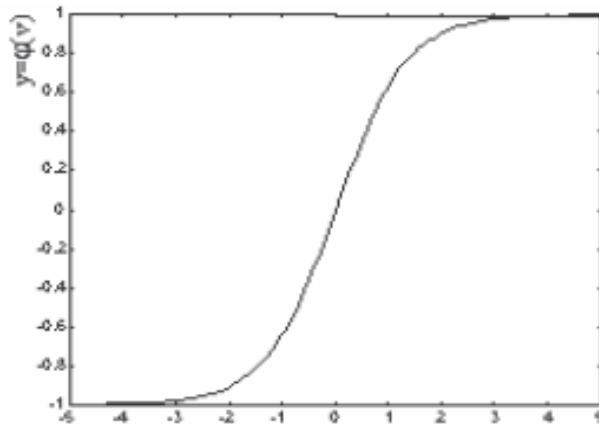
Şekil 4.4. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

4.2.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, girdinin her değeri için sıfır ile bir arasında bir değer üretir.

Fonksiyonun gösterimi şu şekildedir:

$$F(\text{NET}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{NET}}}$$



Şekil 4.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

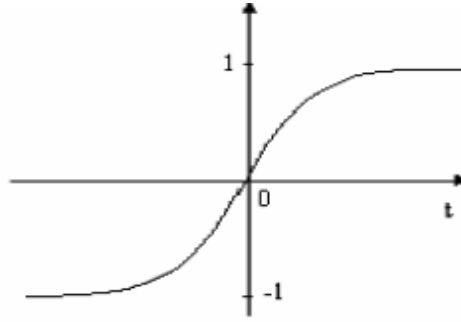
4.2.3. Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu

Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonunun biraz farklı şeklidir. Giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktivasyon fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonun çıktısı aralığı 0 ve 1 olurken, hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıktısı -1 ve 1 aralığında oluşmaktadır.

Fonksiyonun gösterimi şu şekildedir:

$$y = \frac{1 - e^{-2v}}{1 + e^{2v}}$$

Çıkış

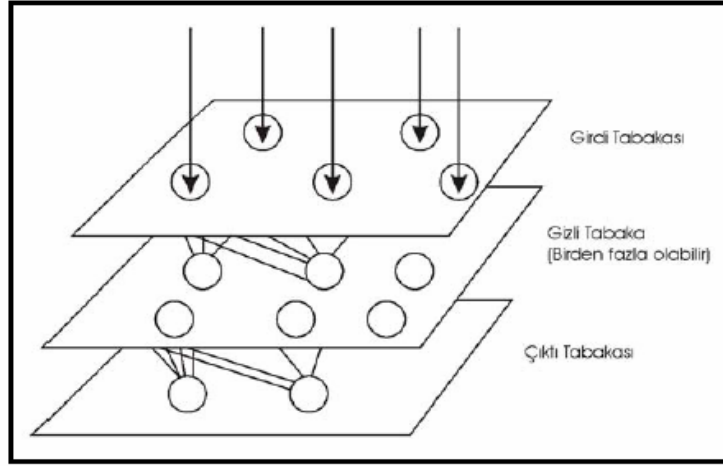


Şekil 4.6. Tanjant hiperbolik fonksiyonu

Tüm YSA'lar, yukarıda temel elemanları anlatılan bu temel yapı taşlarından yani nöronlardan oluşurlar. Bu yapı taşlarının dizaynı, sinir ağı sanatının, başka bir deyişle mimarisinin oluşturulmasının ilk bölümüdür. Bu sanatın ikinci bölümü ise bu işlem elemanlarının kümelendirilmesi ve birbirleri arasındaki bağlantıların oluşturulmasını içerir. Beyinde kümelendirme, bilginin dinamik, etkileşimli ve kendiliğinden organize bir şekilde işlenmesini sağlayacak şekildedir. Biyolojik sinir ağları üç boyutlu uzayda mikroskobik elemanlarla oluşturulur. Bu nöronlar hemen hemen sınırsız sayıda bağlantılar içerirler. Bu, yapay sinirler için mümkün değildir. Bugünkü teknoloji ile iki boyutlu ortamda ve

belirli sayıda bağlantı içeren nöronlar oluşturulabilmektedir. Bu durum, YSA'ların yetenek ve çeşitlerini sınırlamaktadır.

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



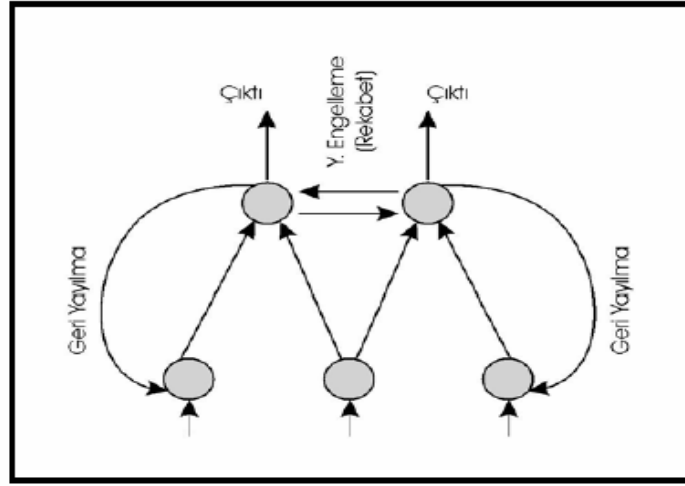
Şekil 4.7. YSA'ların genel yapısı

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

yaptıktan sonra ise çıktısını bir sonraki tabakanın tüm nöronlarına gönderir. Bu yapı ağıın çıktısı için bir ileri besleme patikası oluşturur. Bu bir nörondan diğerine olan iletişim hattı, sinir ağları için önemli bir parçadır.

Bazı ağlarda, bir nöron aynı tabakadaki başka nöronlara engel (inhibit) oluşturabilir. Bu, yanal engelleme veya rekabet olarak adlandırılır ve en çok çıktı tabakasında kullanılır.

Diğer bir bağlantı şekli ise geri yayılmadır (feedback). Geri yayılma bağlantısı, bir tabakanın çıktısının önceki tabakaya gönderilmesidir ve Şekil 4.8’de yanal engelleme ve rekabet kavramlarıyla birlikte örneklennmektedir.



Şekil 4.8. Geri yayılma bağlantı yapısı

Nöronların diğer nöronlara bağlanma şekli ağıın çalışmasını önemli derecede etkilemektedir.

Öğrenme (veya adaptasyon) YSA’ların yapısı içinde önemli bir yere sahiptir. Çünkü, YSA’ların bazı önemli özellik ve avantajlarının kaynağını oluşturmaktadır. Bu yüzden, YSA yapısı içindeki öğrenme sürecine yönelik elemanlar büyük önem taşımaktadır. Bu elemanların ilki öğrenme fonksiyonudur.

Öğrenme fonksiyonunun amacı her işlem elemanının girdilerine ait değişken bağlantı ağırlıklarını ayarlamaktır. Girdi bağlantı ağırlıklarının, istenilen sonucu elde edecek şekilde değiştirilmelerini sağlayan bu işlem adaptasyon fonksiyonu olarak da adlandırılmaktadır.

İkinci eleman ise hata fonksiyonudur. Öğrenme fonksiyonunun gerekli ayarlamaları yapabilmesi için yanılma payının biliniyor olması gerekmektedir. Hata fonksiyonu, bu amaca yönelik olarak, o anki çıktı ile istenilen çıktı arasındaki farkı, hatayı, hesaplar ve gerekiyorsa bir transformasyon uygular. Bu hata, literatürde cari hata olarak adlandırılır ve bu hata veya transformasyonu sağlanmış hali (geri yayılma değeri) genellikle önceki tabakaya geri yayılır. Bu geri yayılma değeri, bir sonraki öğrenme döngüsünde öğrenme fonksiyonu tarafından bağlantıları ayarlamak için, tabii ki gerekli ise, kullanılır.

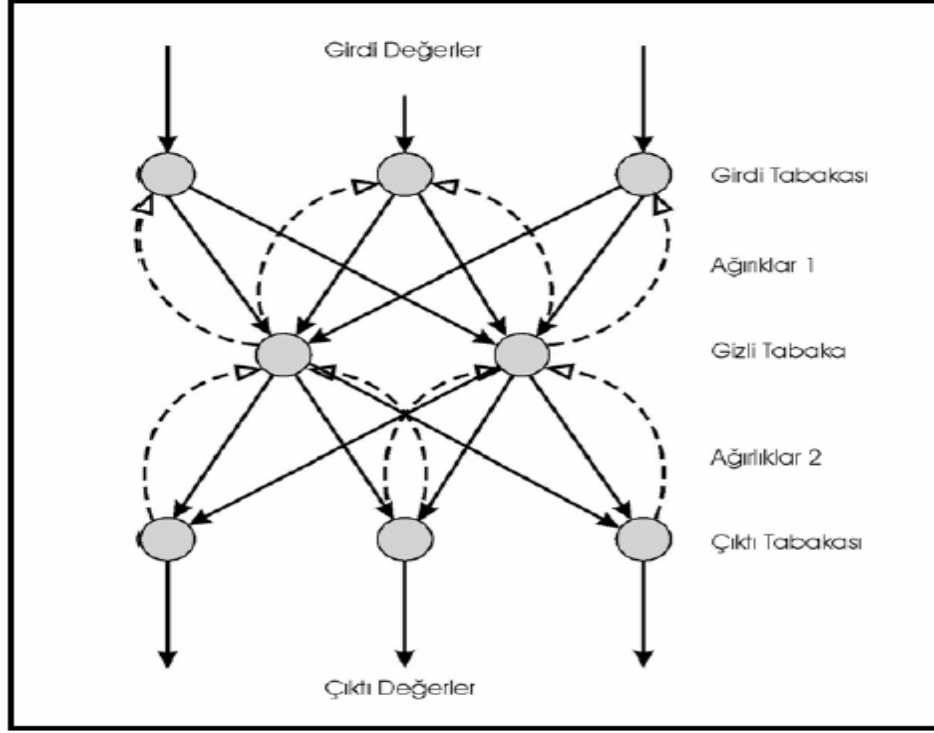
Diğer bir eleman ise öğrenme oranıdır. Öğrenme oranı, öğrenme sürecinin hızı ve işlevi açısından önemlidir. Çünkü, YSA'ların öğrenme gücü ile hızı ters orantılıdır. Basit bir şekilde, bir adımda daha fazla öğrenme, daha düşük bir hız ve dolayısıyla daha fazla zaman anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, daha fazla hız daha az öğrenme anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bir ağına ne kadar eğitileceği sorusu öğrenme oranına bağlıdır. Öğrenme oranının belirlenmesinde ise ağına karmaşıklık düzeyi, büyüklüğü, mimarisi, kullandığı öğrenme kuralı ve istenilen doğruluk derecesi gibi bir çok faktör rol oynar. Çoğu öğrenme fonksiyonu, öğrenme oranı için belirli standartlara sahiptir. Öğrenme oranı genellikle $[0,1]$ gibi bir aralık içinde belirlenir. Bu aralıkta, öğrenme oranının küçük değer alması, yavaş bir öğrenme süreci getirecektir. Diğer taraftan ise, öğrenme sürecinin küçük adımlar halinde olması maksimum doğruluk derecesine yakınsamayı getirebilecektir.

4.3. İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu

İleri beslemeli geri yayılma mimarisi 1970'li yıllarda geliştirilmiştir. Bu mimarinin geliştirilmesinde birbirlerinden bağımsız olarak birkaç araştırmacının katkıları olmuştur.¹ Asıl katkı ise Rumelhart, Hinton ve Williams (1986) tarafından yapılmıştır.

¹ Parker (1987), Rumelhart, Hinton ve Williams (1986).

Ortaya çıkışından sonra, hem etkili hem de çok kullanışlı olmasından dolayı büyük bir popülarite kazanmıştır ve hala en çok kullanılan ağ türü olarak bilinmektedir. İleri beslemeli geri yayılma mimarisi çok sayıda farklı uygulama alanında kullanılmaktadır ve en büyük özelliği doğrusal olmayan yapı içeren problemlerde de etkili olabilmesidir.



Şekil 4.9. İleri beslemeli geri yayılma ağların genel yapısı

Şekil 4.9’da, bir girdi tabakası, bir gizli tabaka ve bir çıktı tabakası içeren bir geri yayılma ağ yapısı örneklendirilmiştir. Tabakalar halinde düzenlenmiş daireler işlem elemanlarını yani nöronları temsil etmektedir. Girdi tabakasında üç nöron bulunmaktadır, yani ağa girdi olarak üç değişken tanıtılmaktadır. Bunun dışında gizli tabakada iki nöron, çıktı tabakasında ise üç nöron bulunmaktadır. Dolayısıyla, ağdan üç değişken olarak çıktı alınmaktadır. Girdi tabakasından, gizli tabakaya iletilen değerler “Ağırlıklar 1” ağırlık seti ile, gizli tabakadan çıktı tabakasına iletilen değerler ise “Ağırlıklar 2” ağırlık seti ile ağırlıklandırılmaktadır. Ağ yapısında, kalın oklar *anısama* sırasındaki bilgi akışını simgelemektedir. Anısama, eğitilmiş bir ağa yeni girdi verilerin

sunulması ve çıktısının alınması işlemidir. Bu yüzden, anımsama işlemi sırasında geri yayılma işlemi kullanılmaz.

Geri yayılma sadece eğitime sürecinde kullanılır, dolayısıyla eğitime sürecindeki bilgi akışı şekildeki tüm oklar ile gösterilmektedir.

4.3.1. İleri Beslemeli Geriye Yayılım Metodu Denklemleri

Her birinin girdi hücrelerinde x_i , $i=1, \dots, k$ girdi değerleri, çıktı hücrelerinde de T_n , $n=1, \dots, m$ çıktı değerleri kümesi bulunan toplam N adet girdi grubu bulunmaktadır. Girdi değerleri gizli hücrelerdeki ilk ara bağlantı ağırlıkları, w_{ij} , $j=1, \dots, h$, ile çarpılmakta ve sonuçlar i indeksi boyunca toplanmakta ve gizli birimlerin girdileri olmaktadır.

$$H_j = \sum_{i=1}^k w_{ij} x_i \quad j = 1, \dots, h \quad (4.1)$$

H_j , j gizli hücrenin girdisi, w_{ij} ise i hücresinden j hücresine doğru olan bağlantı ağıdır. Her gizli hücre bir sigmoid fonksiyonu yardımı ile bir gizli hücre çıktısı, HO_j , oluşturmaktadır. HO_j şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$HO_j = f(H_j) = \frac{1}{1 + \exp[-(H_j + \theta_j)]} \quad (4.2)$$

Burada H_j , j hücrenin girdisi, $f(H_j)$ hücre çıktısı, ve θ_j başlangıç veya taraflılık değeridir. Başlangıç değeri, θ_j , ağırlıklarla aynı şekilde öğrenilecektir. HO_j çıktısı bir sonraki birimin girdisi olmakta ve bu işlem çıktı birimine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. M adet çıktı hücrelerine ulaşan girdi şu şekilde bulunmaktadır:

$$IO_n = \sum_{j=1}^h w_{jn} HO_j \quad n = 1, \dots, m \quad (4.3)$$

Bu girdi değerleri daha önce tanımlanan sigmoid fonksiyonu tarafından işlenerek sinir ağı çıktı değerleri, O_n , elde edilmektedir. Daha sonraki ağırlık düzenlemesi ya da öğrenme süreci geriye doğru ilerleme algoritması ile sağlanmaktadır. Çıktı birimindeki, O_n , hedef değeri T_n ile aynı olmayacaktır.

Her girdi grubu için hata karelerinin toplamı, e_p , p'inci girdi grubu için şu şekilde bulunmaktadır:

$$e_p = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m (T_n - O_n)^2 \quad (4.4)$$

Ortalama sistem hatası ya da ortalama kare hatası (OKH), E, bütün girdi grupları için şu şekilde hesaplanır:

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{p=1}^N \sum_{n=1}^m (T_{pn} - O_{pn})^2 \quad (4.5)$$

Burada T_{pn} , p'inci grup için T_n hedef değeri, O_{pn} ise p'inci grup için O_n çıktı değeridir. Geriye doğru ilerleme algoritmasının amacı ortalama kare hatasının iterasyonla en aza indirilmesidir. Bu önce çıktı birimindeki her hücre için δ_n gradyanının hesaplanması ile gerçekleştirilir.

$$\delta_n = O_n (1 - O_n) (T_n - O_n) \quad (4.6)$$

Hata gradyanı δ_j daha sonra gizli birimler için bir önceki birimdeki hataların ağırlıklı toplamının hesaplanması ile bulunmaktadır.

$$\delta_j = HO_j (1 - HO_j) \sum_{n=1}^m \delta_n w_{jn} \quad (4.7)$$

Hata gradyanları daha sonra ağırlıklarını güncellemek için kullanılmaktadırlar:

$$\Delta w_{ij}(r) = \eta \delta_j x_i \quad (4.8)$$

$$w_{ij}(r+1) = w_{ij}(r) + \Delta w_{ij}(r) \quad (4.9)$$

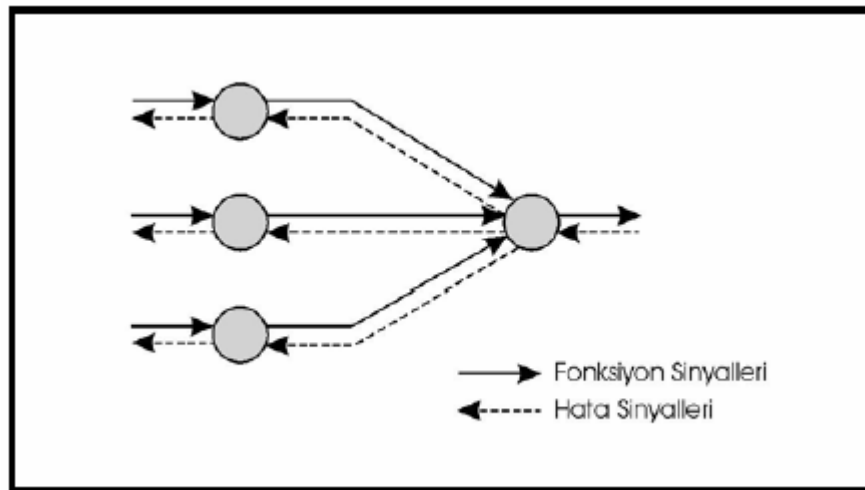
n'inci veri sunumundan sonraki ağırlık değişimi şu şekildedir:

$$\Delta w_{ij}(r) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ij}(r-1) \quad (4.10)$$

(Alp, 2004).

Burada, α , sonuca hızlı ulaşılmasını sağlayan momentum oran terimi, η , etap boyutunu ayarlayan öğrenme oranı r ise iterasyon numarasıdır (Raman ve Sunilkumar 1995).

Sonuç olarak, bu ağ yapısının eğitime sürecinde iki çeşit sinyal tanımlanmaktadır. Birbirine zıt yönde çalışan bu iki sinyal çeşidi *fonksiyon sinyalleri* ve *hata sinyalleri* olarak adlandırılmaktadırlar (Parker, 1987). Şekil 4.10'da küçük bir ağ bölümü kullanılarak bu sinyallerin yönleri gösterilmektedir. Şekilde, sol taraf girdi veri tarafını, sağ taraf çıktı tarafını ve yuvarlaklar ise nöronları göstermektedir.



Şekil 4.10. Eğitime sürecindeki sinyal çeşitleri

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

4.4. Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı

Specht tarafından uygulanmıştır. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağında iteratif bir eğitim prosedürü gerekmez (Specht, 1991). $F(x, y)$ ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilinmesi durumunda, bağımsız x değişkenine göre bağımlı y değişkeninin regresyonu:

$$E[y|X] = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} yf(X, y)dy}{\int_{-\infty}^{\infty} f(X, y)dy} \quad \text{şeklinde ifade edilir.} \quad (4.11)$$

Eğer olasılık yoğunluk fonksiyonu bilinmiyorsa gözlenen X^i ve Y^i değerlerinden bu fonksiyon tahmin edilir.

$$\hat{f}(X, Y) = \frac{1}{(2\pi)^{(p+1)/2} s^{(p+1)}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(x - x^i)^T (X - X^i)}{2s^2}\right] \exp\left[-\frac{(Y - Y^i)^2}{2s^2}\right] \quad (4.12)$$

Bu denklemde p, x vektörünün boyutu, n, gözlenen veri sayısı, s ise düzeltme parametresidir. D_i^2 ise bir skaler fonksiyondur.

$$D_i^2 = (X - X^i)^T (X - X^i) \quad (4.13)$$

Olarak tanımlanabilir.

Bağımsız x değişkenine göre bağımlı y değişkeninin regresyonu;

$$\hat{Y}(X) = \frac{\sum_{i=1}^n Y^i \exp\left(-\frac{D_i^2}{2s^2}\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{D_i^2}{2s^2}\right)} \quad (4.14)$$

4.5. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları

Radyal tabanlı fonksiyon ağlarında temel fikir, bir grup radyal taban fonksiyonu istenen f fonksiyonuna yaklaşacak şekilde ağırlıklandırarak toplamaktan ibarettir. Radyal taban üç katmanlı bir yapıdır. Giriş katmanı giriş vektör uzayı ile, çıkış katmanı da örüntü sınıfları ile ilişkilidir. Böylelikle tüm yapı, gizli katmanın yapısı ve gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların belirlenmesine indirgenir. Gizli katmandaki nöronların aktivasyon fonksiyonları bir C_j merkezi ve σ_j bant genişliği ile belirlenir.

Aktivasyon fonksiyonu,

$$\varphi_j(X) = \exp\left(-\frac{(x - C_j)^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (4.15)$$

eşitliği ile tanımlanan bir Gauss eğrisidir. Çıkış katmanındaki j nöronun çıkışı için genel eşitlik ise şu şekildedir:

$$s_j(X) = \sum_{i=1}^K w_{ij} \varphi_i(X) + b_j \quad (4.16)$$

Burada w_{ij} gizli nöron i ve çıkış nöronu j arasındaki ağırlık katsayısıdır (Paredes ve Vidal 2000).

4.6. Niçin YSA?

Teknolojik gelişme olarak da görülmesi gereken yapay sinir ağıları metodolojisi, özellikleri ve yapabildikleri sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bölümde, YSA'ların farklılık ve avantaj sağladığı noktalar incelenmektedir.

4.6.1. Doğrusal Olmayan Yapı

YSA'ların en önemli özelliklerinden birisi gerçek hayattaki olası doğrusal olmayan yapıları da dikkate alabilmesidir (Balkin, 2001). Beltratti ve arkadaşları YSA'ların doğrusal olmayan modeller olarak görülebileceğine dair bulgular ortaya koymuşlardır.

4.6.2. Öğrenme

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

4.6.3. Yerel İşlem ve Esneklik

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

4.6.4. Gerçek Zamanlı İşlem

YSA hesaplamaları paralel olarak yürütülebildiğinden gerçek zamanlı işlem yapabilir.

4.6.5. Genelleme

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

4.6.6. Hafıza

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

4.6.7. Kendi İlişisini Oluşturma

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

4.6.8. Sınırsız Sayıda Değişken ve Parametre

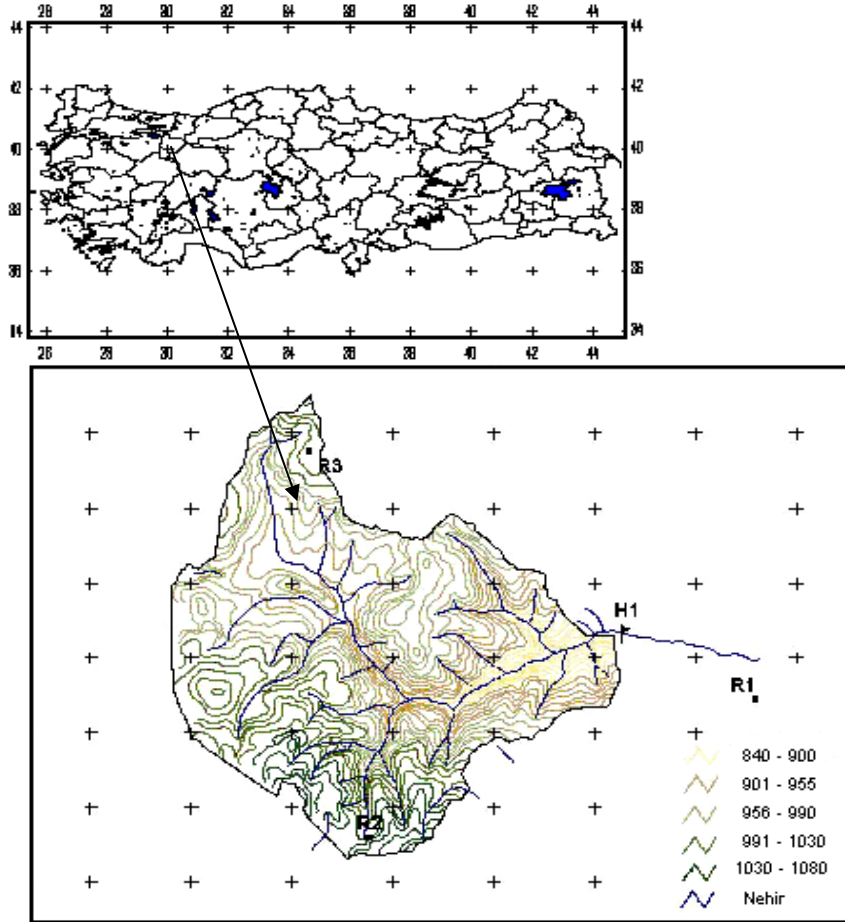
Diğer taraftan, YSA modelleri sınırsız sayıda değişken ve parametre ile çalışabilmektedir. Bu sayede mükemmel bir öngörü doğruluğu ile genel çözümler sağlanabilmektedir.

Karmaşık veya sorunlu veriden bile anlam çıkarabilmek gibi dikkate değer yetenekleriyle YSA'lar, insanlar veya bilgisayarlar tarafından anlaşılması zor trendleri belirlemek veya yapıları çıkartmak için kullanılabilirler. Tam eğitilmiş bir yapay sinir ağı modeli, analiz ettiği bilgi kümesi (veri tabanı) için uzman olarak düşünülebilir. Bununla birlikte, YSA'ların kullanımında göz önünde bulundurulması gereken bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlisi geniş veri seti gereksinimidir. Sinir ağlarının eğitilebilmesine ve test edilebilmesine yetecek genişlikte veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Yine de, yeterli veri seti genişliği için kesin bir kriter yoktur; bir noktada uygulamaya bağlıdır. Dezavantaj sayılabilecek diğer bir nokta ise basit olarak görülebilecek modelleme yapılarına rağmen uygulamanın zor ve karmaşık olabilmesidir. Bazı durumlarda, bir yakınsama sağlamak bile imkansız olabilmektedir fakat bu durum da uygulama alanına bağlıdır ve genellikle çok karmaşık problemlerde ortaya çıkmaktadır.

5. UYGULAMA ALANI

5.1. Kurukavak Deresi Havzası

Kurukavak Deresi Havzası, Bilecik İli'nin Pazaryeri ilçesine bağlı Küçükemmalı, Güde ve Bahçesultan köyleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Pazaryeri ilçesinin batısında yer alan havza, Pazaryeri'ne 7 Km, Bilecik'e 37 Km uzaklıktadır. Havza çıkış yerinin deniz seviyesinden yüksekliği 830 m olup, 40°01' kuzey enlem ve 29°47' doğu boylamındadır. Havza 4.25 km² drenaj alanına sahiptir. Havzada Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Eskişehir Araştırma Enstitüsü tarafından 1984 ve 1998 yılları arasında saatlik akım ve yağış verisi toplanmış ve araştırma havzası olarak kullanılan bu havzada yoğun toprak ve arazi ölçümleri yapılmıştır. 15 yıllık gözlem değerlerine bağlı olarak havzanın ortalama akımı 137.35 mm ve ortalama yağışı 705.7 mm'dir (Köy Hizmetleri Genel Müd. Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müd, 2000).

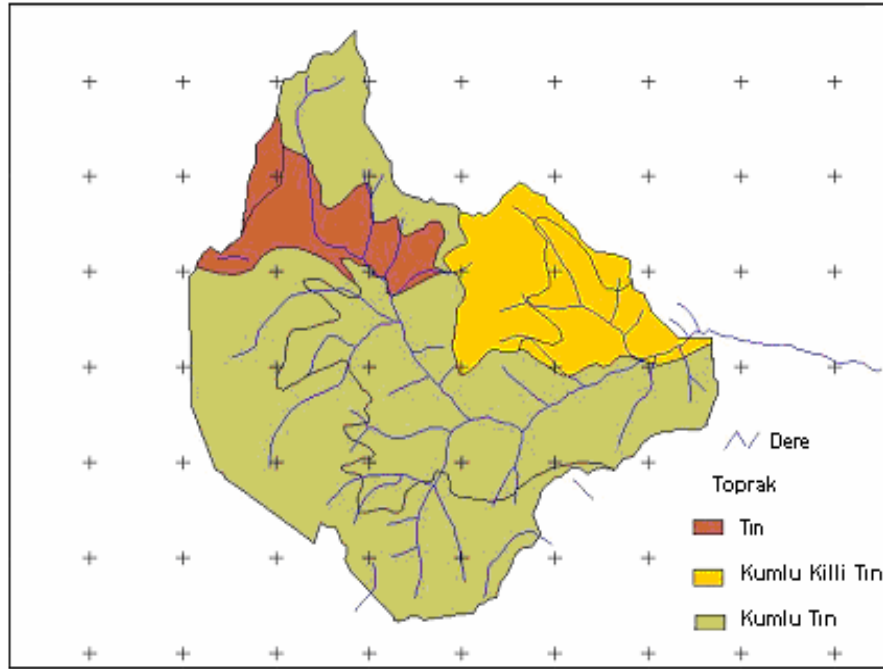


Şekil 5.1. Kurukavak deresi havzasının genel görünüşü

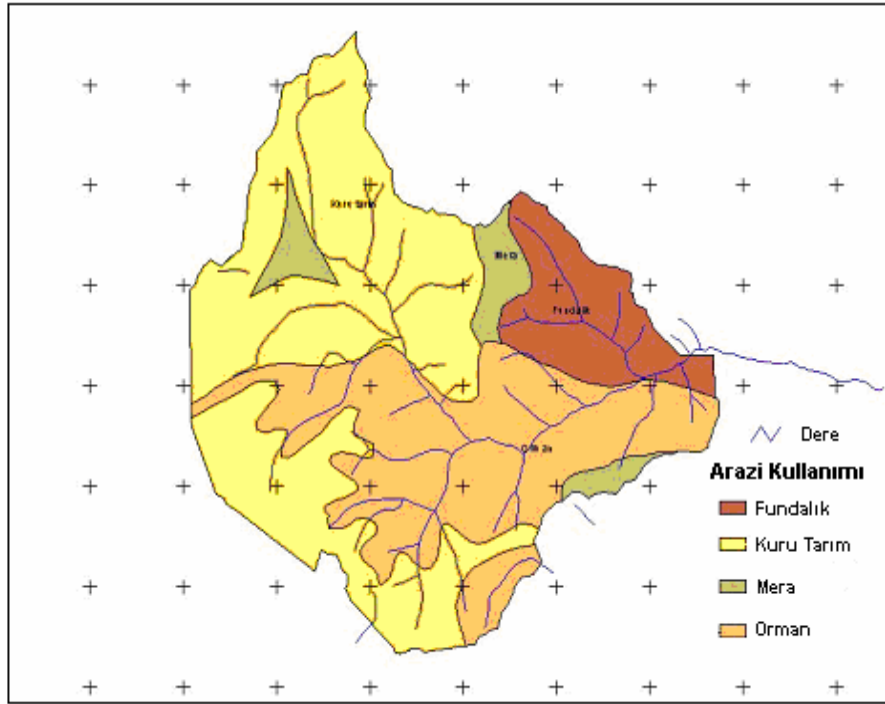
5.1.1. Toprak ve Arazi Kullanım Durumu

Havzanın en büyük toprak grubu kalkersiz kahverengi orman toprağıdır. Havza toprakları sığ (20-50 cm) ve çok sığ (0-20 cm) toprak derinliğine sahip, orta ve şiddetli erozyona maruz kalmaktadır. İçerisinde yaklaşık olarak %38 oranında kum, %38 oranında silt ve %25 oranında kil içeren zeminlere tın zemin ismi verilir. Zemin içerisindeki kum oranı belirtilen orandan fazla olan zeminler kumlu tın, kum ve kil miktarı belirtilen oranlardan fazla olan zeminler ise kumlu killi tın ismini alır. Havza toprakları kumlu tın, kumlu killi tın ve tınlı bünyeye sahiptirler. Eğim havzada çok değişkenlik göstermekte olup hafif (% 0-2) ile sarp (> %30) olan bu araziler fundalık, orman, mera ve kuru tarım alanı olarak kullanılmaktadır.

Bu arazilerin toprak derinliği sığ veya çok sığ olması arazinin çabuk bir şekilde suya doymun hale gelmesini sağlamakta ve eğimlerinin fazla olması yağışlı dönemlerde suyun toprakta tutulmayıp yüzey akışına geçmesine sebep olmaktadır.



Şekil 5.2. Havzanın toprak haritası



Şekil 5.3. Havzanın arazi kullanım durumu

5.1.2. İklim ve Su Kaynakları

Havza iklim bakımından Karadeniz ve Marmara Bölgesi arasında geçiş özelliği göstermektedir. Genellikle Batı Karadeniz iklimi etkisi altındadır. En düşük sıcaklıklara aralık ve mart ayları arasında rastlanır. Bölgede şiddetli donmalara rastlanmaz. Havzanın su kaynağını sadece yağışlar oluşturmaktadır. Her mevsimde yağışlı bir iklim görülür. Yağışlar genellikle sonbahar ve kış aylarında diğer mevsimlere göre daha fazla düşer. En fazla yağış alan aylar, eylül, ekim, kasım, aralık ve ocak aylarıdır. Bu aylarda çoğunluk kar ve karla karışık yağmur yağar. Yağışların %60'ı bu aylara rastlar. Hakim rüzgar kış aylarında lodos, mayıs ve haziran aylarında karayel, temmuz, ağustos ve eylül aylarında poyraz olup, temmuz ve ağustos aylarında rüzgar hızları diğer aylara oranla daha azdır.

5.2. Uygulama

Bu çalışmada ileri beslemeli geriye yayılım metodu, geliştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ve radyal tabanlı yapay sinir ağı metotları kullanılmıştır.

Çalışmada Bilecik İli Kurukavak Deresi Havzası'na ait daha önce ölçülmüş, günlük; yağış ve akış değerleri kullanılmıştır. 1988-1991 yılları arasında ölçülen bu veriler ile işlemler yapılmıştır. Bu verilerden 1988, 1989 ve 1990 yıllarına ait yağış ve akış değerleri öğrenme (eğitim) aşamasında, 1991 yıllarına ait veriler ise test aşamasında kullanılmıştır.

Modeller yapay sinir ağı işlemlerinin yapıldığı MATLAB 6.5 adlı bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı mimarisinde 3 gün önceye kadar olan yağış verileri girdi olarak alınmış, çıktı tabakasındaki akım değerleri hesaplanmıştır. Gizli tabakadaki hücre sayısı ve iterasyon (epoch) sayısı deneme–yanılma yoluyla belirlenmiştir.

İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağında girdi, gizli ve çıktı tabakaları kullanılmıştır. Girdi tabakasında yağış ve geçmiş akım değerleri kullanılmıştır. Gizli tabakada ise 2 ile 7 arası değerler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Gizli tabakada girilen değerler sonucu çeşitli simülasyonlar elde edilmiş ve grafiklerin elde edilmek istenen akım değerine yaklaştığı veya uzaklaştığı görülmüştür. İstenilen akım değerine en yakın grafiği veren gizli tabaka kullanılarak akım grafiği ortaya çıkmıştır. En uygun gizli tabaka değeri 5 dir. Çıktı bölümünde ise akım değeri elde edilmiştir.

Aktivasyon fonksiyonu olarak uygulamada tanjant hiperbolik fonksiyonu kullanılmış; girdi ve çıktı değerleri ayrı ayrı 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiştir.

$$\text{Ortalama kare hatası, (OKH)} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N} \text{ formülü ile hesaplanmıştır.}$$

Burada X_i gözlenen değerler, Y_i tahmin edilen değerlerdir. R^2 değeri ise belirginlik (determinasyon) katsayısıdır. R^2 nin 1'e yakın olması göz önüne alınan değişkenler arasında kuvvetli bir doğrusal bağımlılık bulunduğunu gösterir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right]^{0.5}}$$

Radyal tabanlı yapay sinir ağı modelinde yayılma parametresi en iyi sonucu verecek şekilde tespit edilmiştir. Yayılma parametresi $s=0.2$ alınarak en iyi akım değerlerine ulaşılmıştır.

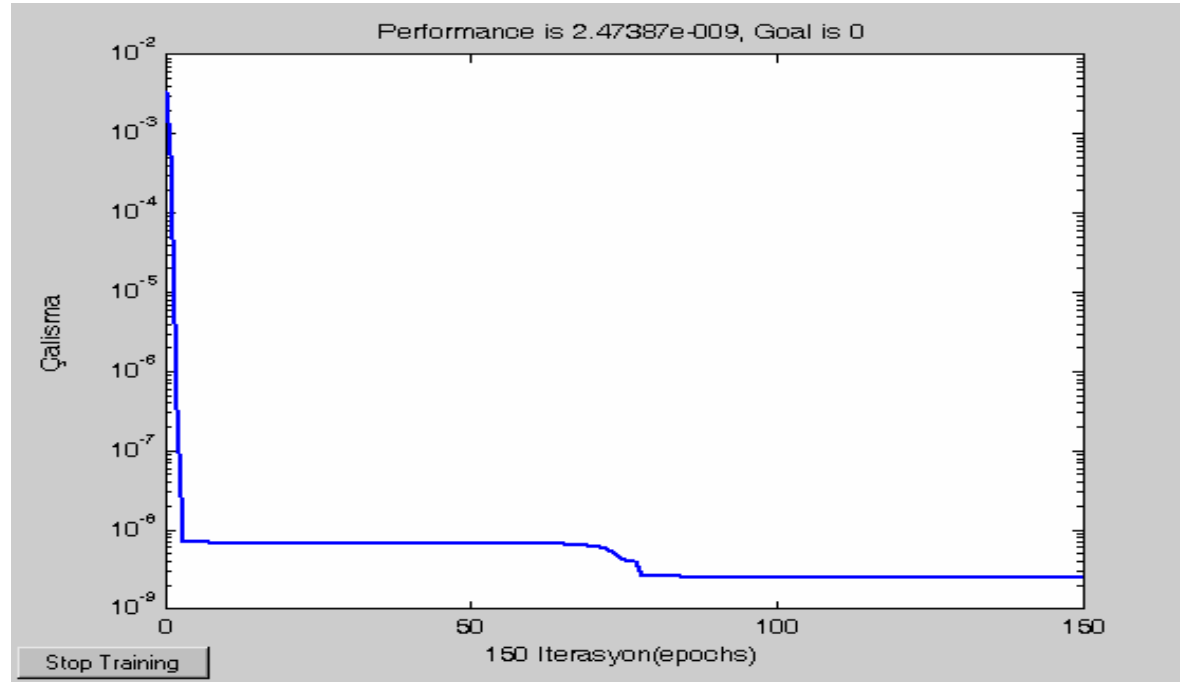
Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı yönteminde her bir alternatif için "s", düzeltme parametresi değerleri belirlenirken farklı düzeltme parametreleri için denemeler yapılmış ve en iyi sonuç olan $s=0.03$ değeri kullanılarak simülasyonlar sonuçlandırılmıştır.

YSA metotlarıyla bulunan ortalama kare hatası ve determinasyon katsayıları değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

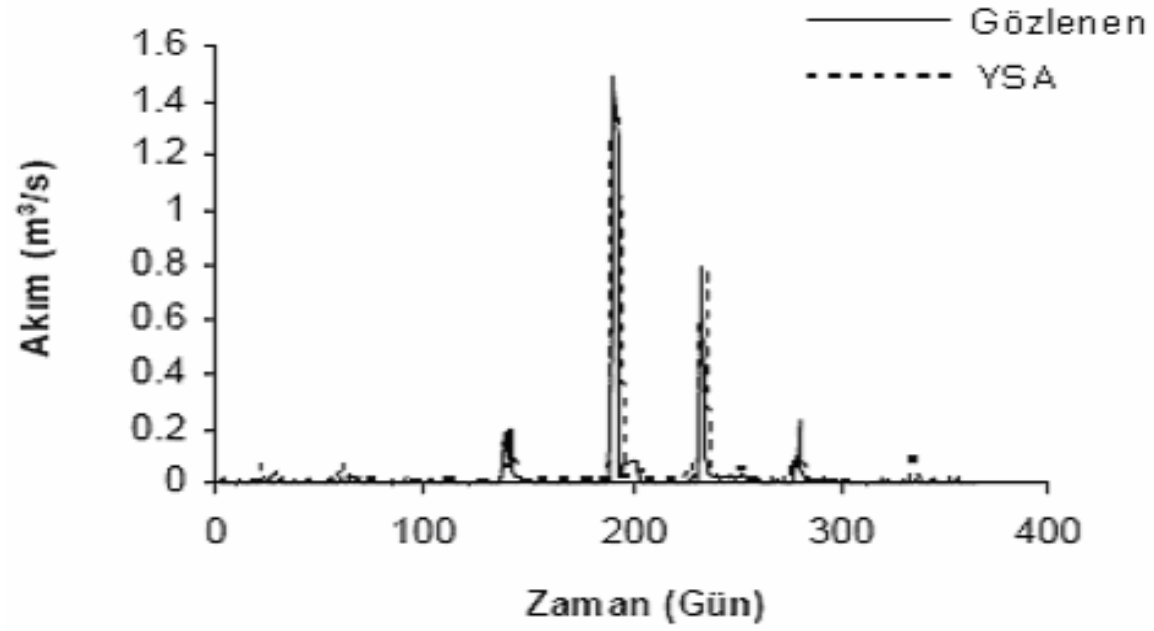
Çizelge 5.1. Farklı modellere ait ortalama kare hatası ve determinasyon katsayısı değerleri

Model	OKH (m^6/s^2)	R^2
İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağı	0.60	0.7263
Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı	0.63	0.7021
Radyal tabanlı sinir ağı	0.65	0.6987

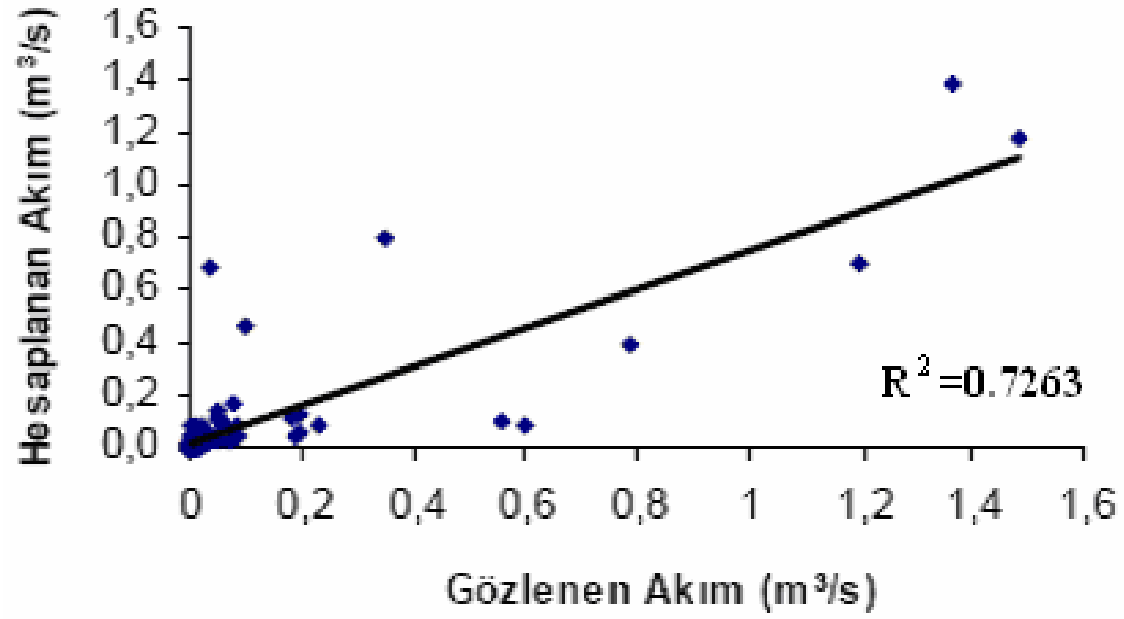
5.3. Uygulama Grafikleri



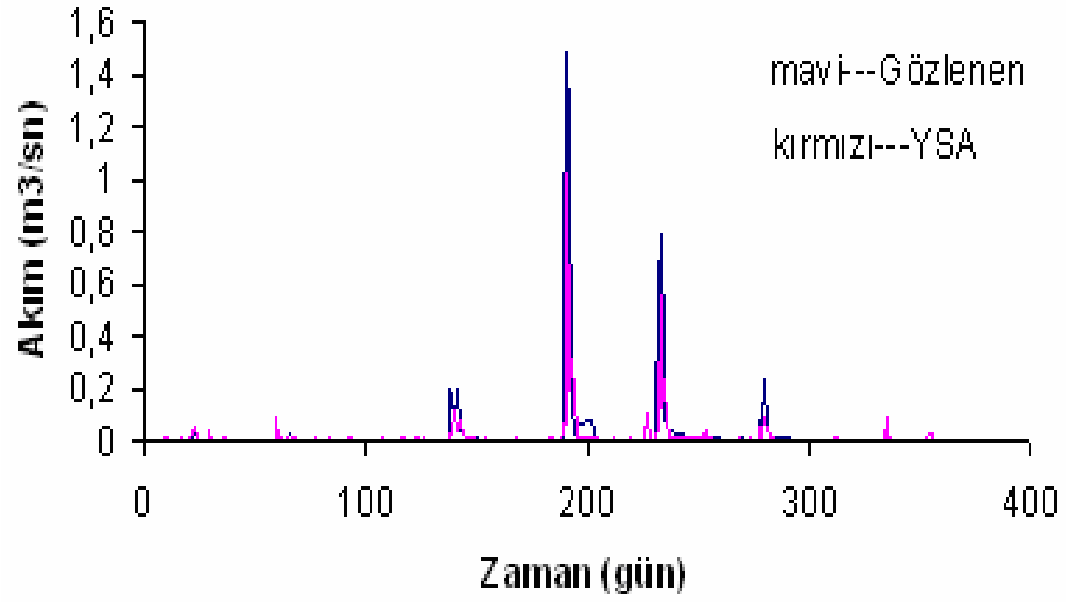
Şekil 5.4. Yapay sinir ağı modelinin eğitime aşamasında iterasyonlara göre hataların değişimi



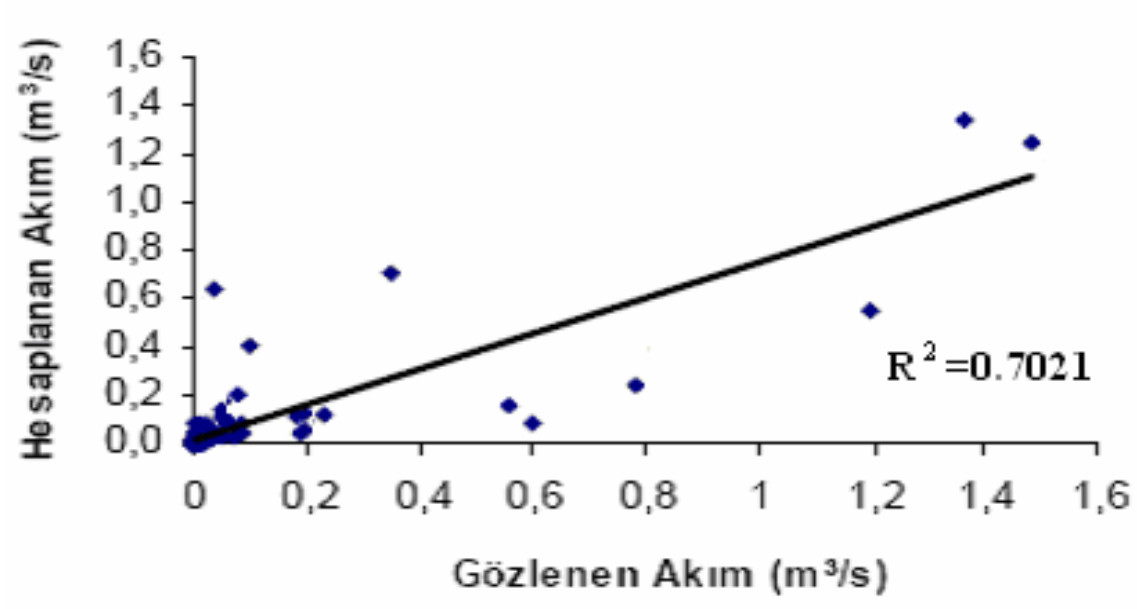
Şekil 5.5. İleri beslemeli geriye yayılım metodu ile akım tahmin grafiği



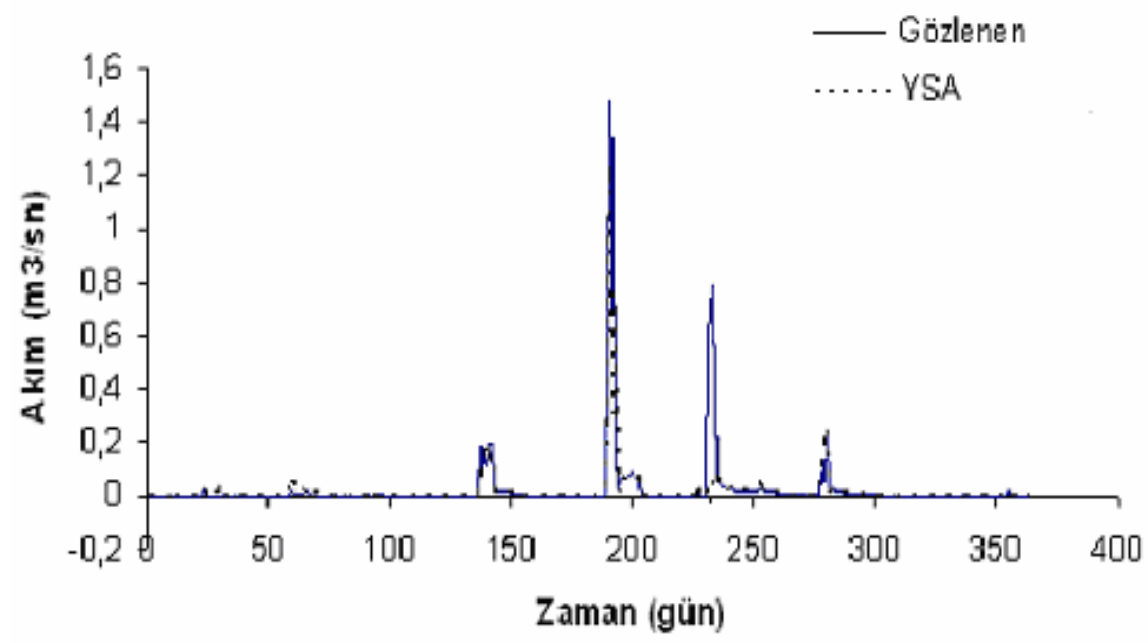
Şekil 5.6. İleri beslemeli geriye yayılım metodunda saçılma diyagramı



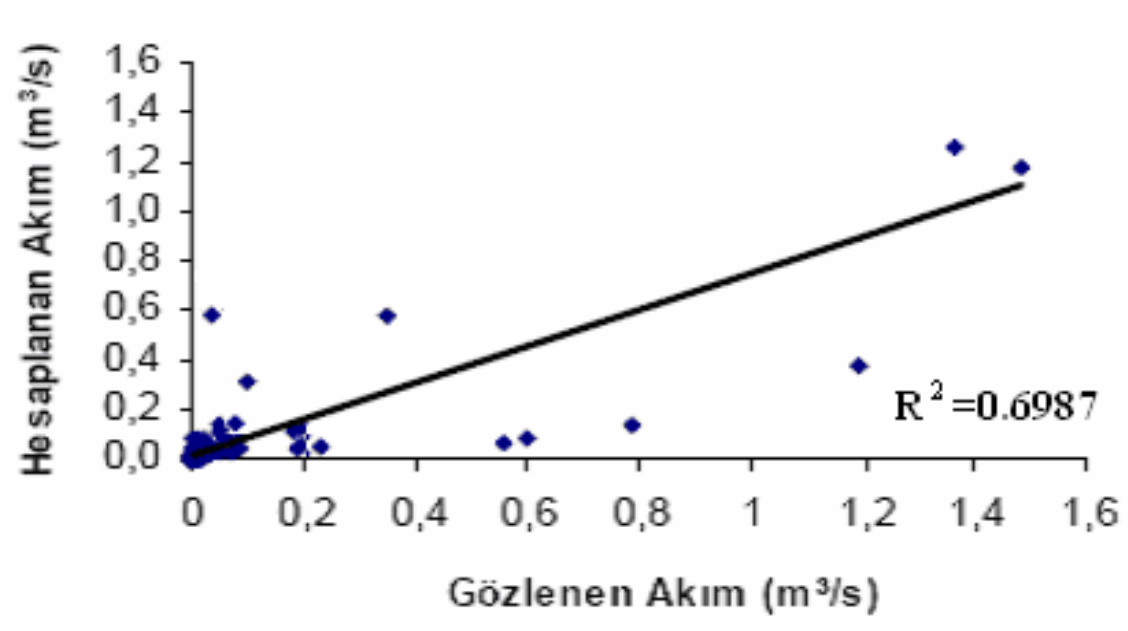
Şekil 5.7. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metodu ile akım tahmin grafiği



Şekil 5.8. Genelleştirilmiş regresyon sınır ağı metodunda saçılma diyagramı



Şekil 5.9. Radyal tabanlı sinir ağı metodu ile akım tahmin grafiği



Şekil 5.10. Radyal tabanlı sinir ağı metodunda saçılma grafiği

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada ileri beslemeli geriye yayılımı metodu, geliştirilmiş regresyon sinir ağı ve radyal tabanlı yapay sinir ağı olmak üzere üç farklı yapay sinir ağı metodu kullanılmıştır. Yağış-akış ilişkisi modellenerek akım tahminleri yapılmıştır.

Girdi tabakasında önce sadece yağış değerleri alınarak akım tahmin edilmeye çalışılmış, yapay sinir ağının girdi tabakasında yağış değerlerine ilave olarak üç gün önceki akım değerleri de eklenmiş ve sonuçların belirgin bir şekilde düzeldiği görülmüştür.

İleri beslemeli geriye yayılımı metodunda tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır ve bütün girdi değerleri 0 ile 1 arasında ölçeklendirilerek işlemler yapılmıştır.

Belirli bir yapay sinir ağı mimarisi ile en iyi ileri beslemeli geriye yayılımı metodu sonuçlarını elde etmek için çok sayıda simülasyon yapmak gerekmektedir.

İleri beslemeli geriye yayılımı, geliştirilmiş regresyon sinir ağı ve radyal tabanlı yapay sinir ağı metodlarında birçok simülasyonlar yapılarak en yakın akım değerleri elde edilmiş ve bunlar grafiklerle gösterilmiştir.

Genleştirilmiş regresyon sinir ağı yönteminde ise uygun bir düzeltme parametresi (s) seçildikten sonra, bir simülasyon değişmeyen tek bir sonuç vermektedir. Genleştirilmiş regresyon sinir ağı metodunda düzeltme parametresi simülasyonlara göre değiştirilmiştir. En yakın akım değerleri bulunarak, uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Radyal tabanlı yapay sinir ağı metodunda yayılma parametresi en iyi sonucu verecek şekilde değişik simülasyonlarla belirlenmiştir.

Çizelge 5.1.' de elde edilen sonuçlara göre, ileri beslemeli geriye yayılımı metodu diğer iki metoda göre daha iyi sonuç vermiştir. R^2 değerinin 0.7263 olması, yani diğer metotlarda bulunan R^2 değerlerine göre 1'e en yakın değer olmasından dolayı ve daha küçük kare hataya sahip olmasından dolayıdır. İkinci en iyi sonucu ise geliştirilmiş regresyon sinir ağı metodu vermiştir.

Herhangi bir sistemin yapay sinir ağına öğretilmesi işleminde, ağın eğitimi esnasında sistemden seçilmiş veriler ağına sunulurlar. Seçilen örneklerle eğitilen

yapay sinir ağı, aynı sistemde alınan farklı örneklerle test edilir ve test işlemi istenen sonuçları veriyorsa ağ başarılı olarak kabul edilir. Eğer yapay sinir ağından istenilen değerler alınamıyorsa ağ başarısız olmuş demektir. Bir yapay sinir ağından beklenen, mükemmellik değil; verebileceği en iyi sonuçtur. Ağın başarısız olmasındaki en önemli nedenlerden biri yapay sinir ağına gösterilen eğitim verilerinin sistemi ne kadar temsil ettiğidir.

Belli bir yapay sinir ağı mimarisi ile en iyi sonuçları elde etmek için çok sayıda simülasyon yapmak gerekmektedir. Her simülasyondan önce başlangıç ağırlık değerleri olarak farklı rastgele dağılmış değerler atanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada yağış ve buharlaşma verileri girdi olarak işleme konulmuş ve akım değerleri elde edilmiştir. Daha önce ölçülen akım değerleriyle yapay sinir ağının bulduğu değerler karşılaştırılmıştır. Bunlar elde edilen grafiklerle açıklanmıştır. Her farklı yapay sinir ağı mimarisi için en iyi sonuç elde edilene kadar çok sayıda simülasyon yapılarak en iyi sonuç elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar neticesinde yapay sinir ağlarının kısa bir zamanda gerçek sonuçlara yakın değerler verdiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrahart, R.J., See, L. ve Kneal, P.E. (2001), "Investigating the role of saliency analysis with neural network rainfall-runoff model," *Computers & Geosciences*, **27**, 921-928.
- Alp, M. (2004), *Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alp, M. ve Cıgızoğlu, H.K. (2004), *Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Balkin, S. D. (2001), "Statistical Aspects of Neural Networks", Notes of Presentation to Washington Statistical Society, Ernst & Young LLP.
- Bayazıt, M. (1998), *Hidrolojik modeller*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Brath, A. ve Toth, R. (1993), "Adaptive Calibration of a Conceptual Model for Flash Flood Forecasting," *Water Resources Research*, **29**, 2561-2572.
- Brikundavyi, S., Labib, R., Trung, H.T. ve Rousselle, J., (2002), "Performance of neural networks in daily streamflow forecasting," *Journal of Hydrologic Engineering*, **7**(5), 392-398.
- Cıgızoğlu, H.K. (2000), *Suspended Sediment Estimation and Forecasting using Artificial Neural Networks*, Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, İstanbul, Turkey.
- Cıgızoğlu, H.K. ve Alp, M. (2004), *Rainfall-runoff modelling using three neural network methods: Artificial Intelligence and Soft Computing*, ICAISC 2004, Lecture Notes in Artificial Intelligence, **3070**, 166-171.
- Demirpençe, H. (2005), *Akarsuda askı katı madde miktarının yapay sinir ağları metodu ile tahmini*, II.Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 21-24 Eylül 2005, İzmir, Türkiye.
- Erdemgil, M.N. (1995), *Su Getirme*, Bilim Yayınları, Ankara
- Fernando, D. A. K. ve Jayawardena, A.W. (1998), "Runoff forecasting using RBF networks with OLS Algorithm," *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE Water Resources Engineering Division, **3**, 203- 209.

- Hsu, K., Gupta H.V. ve Sorooshian, S. (1995), "Artificial Neural Network Modeling of the Rainfall-Runoff Process," *Water Resources Research*, **31**, 2517-2530.
- Keskin, M.E. ve Terzi, Ö. (2001), *Yapay sinir ağırları metodu ile buharlaşma miktarının belirlenmesi*, Mühendislikte Modern Yöntemler Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 107- 113.
- Kılınç, İ., Cıgızoğlu, H.K ve Alp, M (2004), *İstanbul'daki baraj haznelerinin işletilmesinde Yapay Sinir Ağları kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Hidrolik ve Su Kaynakları Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Köy Hizmetleri Genel Müd. Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müd. (2000), *Bilecik-Pazaryeri-Kurukavak Deresi Havzası Yağış ve Akım Karakteristikleri-Ara Rapor Eskişehir, 1984-1998*.
- Maier, H.R. ve Dandy, G.G. (2001), "Neural Network Based Modelling of Environmental Variables," In: *A Systematic Approach*, **33**, 669-682.
- Makarynsky, O., Pires-Silva, A.A., Makarynska, D. ve Ventura-Soares, C. (2002), "Artificial neural networks in the forecasting of wave parameters," *The 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Banff, Alberta, Canada, October*, **21-25**, 514-522.
- Minns, A.W. ve Hall, M.J. (1996), "Artificial neural networks as rainfall-runoff models," *Hydrological Sciences Journal*, **41**(3), 399-417.
- Müftüoğlu, R.F. (1991b), *Yağış-akış modelleri*, Hidrolik Analiz ve Tasarım, İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Onüçyıldız, M. ve Yarar, A. (2005), *Beyşehir Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi*, II.Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 21-24 Eylül 2005, İzmir, Türkiye.
- Öztemel, E. (2003), *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık Eğitim Bilgisayar Sis. San. ve Tic.A.Ş., İstanbul.
- Panagoulia, D., Maratos, N., Jaksa, M.B. ve Maier, H.R. (2001), "Water Resources-Hydraulic and Maritime Engineering." *Heron Polytechniou, Zographou, Athens, Greece*.
- Parades, G.A. ve Vidal, J.S. (1991), "Radial based neural networks for process control," *Computers and Industrial Engineering*, **17**, 24-26.

- Parker, D. B. (1987), "Optimal Algorithms For Adaptive Networks: Second Order Back Propagation, Second Order Direct Propagation, and Second Order Hebbian Learning," *IEEE 1st International Conference on Neural Networks*, **2**, 953-600, San Diego, CA.
- Raman, H. ve Sunilkumar, N. (1995), "Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural networks," *Hydrological Sciences Journal*, **40(2)**, 145-163.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G.E. ve Williams, R. J. (1986), "Learning Representations of Back-propagation Errors", *Nature (London)*, **323**, 533-536.
- See, L. Corne S., Dougherty, M. ve Openshaw, S. (1997), "Some initial experiments with neural network models of flood forecasting on the River Ouse," In: *Proceedings of the 2nd International Conference on GeoComputation*, Dunedin, New Zealand.
- Solomatine, D.P. ve Dibike, T. (1996), "Neural network approximation of hydrodynamic model in optimizing reservoir operation," In: *Proceedings of the second international conference on hydroinformatics*, Zurich, 201-206.
- Specht, D.F., (1991), A general regression neural network, *IEEE Transactions on Neural Networks*, **2(6)**, 568-576.
- Şen, Z. (2002), "İstatistik Veri İşleme Yöntemleri," *Su Vakfı Yayınları*, 243.