

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERKOS GÖLÜNE GELEN AYLIK DEBİNİN ÇEŞİTLİ METOTLARLA
TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil İbrahim TÜRKOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Temmuz 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERKOS GÖLÜNE GELEN AYLIK DEBİNİN ÇEŞİTLİ METOTLARLA
TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Halil İbrahim TÜRKOĞLU
(501101507)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ÖZGER

Temmuz 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101507 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Halil İbrahim TÜRKOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TERKOS GÖLÜNE GELEN AYLIK DEBİNİN ÇEŞİTLİ METOTLARLA TAHMİNİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mehmet ÖZGER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 18 Temmuz 2013
Savunma Tarihi : 25 Temmuz 2013

ÖNSÖZ

Canlı hayatı için önemi yüksek olan suyun, insan refahı için vazgeçilemez olmasından dolayı; su kaynaklarının gözlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetimi konusu büyük önem kazanmıştır. Su kaynaklarında entegre havza yönetimin sağlanabilmesi için, su kaynaklarının en verimli şekilde planlaması ve yönetimi su kaynakları verilerinin daha güvenli bir şekilde tahmin edilmesini gerektirmektedir. Literatürdeki su kaynakları verilerinin tahmininde kullanılan bir çok yöntem olmasına rağmen, gelecekte belli bir tarihte gelen debinin tahmin edilmesinde hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiği tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada gelecekte belli bir zamanda Terkos Gölüne gelen debinin tahmin edilmesinde hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit etmek için farklı yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması sırasında her anlamda yardımını, bilimsel katkı ve tecrübelerini esirgemeyen bana yol gösteren danışmanım, çok değerli Sayın hocam Doç. Dr. Mehmet ÖZGER'e, hayatımın her aşamasında beni destekleyen ve yanımda olan aileme ve eşime çok tesekkür ederim.

Temmuz 2013

Halil İbrahim TÜRKOĞLU
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	4
1.2 Literatür Araştırması	4
1.2.1 Zaman serileri ile ilgili çalışmalar	4
1.2.2 Yapay zeka yöntemler ile ilgili çalışmalar	8
1.2.3 Dalgacık dönüşümü (WAVELET) ile ilgili çalışmalar	16
2. ÇALIŞMA ALANI.....	21
2.1 Konumu	21
2.2 Terkos Barajı ve Havza Özellikleri	21
2.2.1 Istranca dereleri	23
2.2.2 Yağış	27
2.2.3 Sıcaklık (su sıcaklığı)	28
2.2.4 Sıcaklık	28
2.2.5 Buharlaşma.....	28
2.2.6 Sızma	29
2.3 Hidrolojik Çevrim	29
2.4 Doğal Çevre Özellikleri.....	30
2.4.1 İklim yapısı	30
2.4.2 Topoğrafik yapısı	30
2.4.4 Jeolojik yapısı.....	31
2.4.5 Jeomorfolojik yapısı	31
2.4.6 Topoğrafik yapısı	31
2.4.7 Toprak yapısı.....	32
2.4.8 Bitki örtüsü.....	32
2.5 Terkos Gölü Tarihçesi	33
2.6 İstanbul İçin Önemi	34
3. VERİ ve YÖNTEM.....	37
3.1 Veri	37
3.2 Yöntem	40
3.2.1 Zaman serisi modelleri ile debi tahmini	42
3.2.1.1 Periodiklik	44
3.2.2 Otoregresif modeller.....	44
3.2.2.1 Modelin belirlenmesi	45
3.2.2.2 Tahmin modelinin uygunluğu	45

3.2.3 Otoregresif hareketli ortalama modelleri	47
3.2.4 Yapay sinir ağıları yöntemi	48
3.2.4.1 Biyolojik sinir hücresi ve yapay sinir hücresi.....	48
3.2.4.2 YSA tanımı ve özellikleri	50
3.2.4.3 Tek tabakalı yapay sinir ağıları ve işletme ilkeleri	50
3.2.4.4 Çok tabakalı yapay sinir ağıları ve işletme ilkeleri	51
3.2.4.5 Yapay sinir ağıları ile eğitime ve modelleme	52
3.2.5 Dalgacık analizi (Wavelet)	54
3.2.5.1 Fourier analizine ve dalgacık teorisine giriş	54
3.2.5.2 Dalgacık	56
3.2.5.3 Frekans.....	58
3.2.5.4 Dalgacık analizi.....	58
3.2.5.5 Morlet dalgacığı	60
3.2.5.6 Sürekli dalgacık dönüşümü.....	60
3.2.5.7 Ayrık dalgacık dönüşümü	62
3.2.5.8 Dalgacık-yapay sinir ağıları yöntemi	63
4. BULGULAR VE YORUMLAR.....	65
4.1 Otoregresif (AR) Modeller	65
4.2 Otoregresif Hareketli Ortalama Modeller (ARMA)	69
4.3 Yapay Sinir Ağıları Yöntemi (YSA).....	72
4.4 Dalgacık Yapay Sinir Ağıları Modeli (Dalgacık-YSA)	76
5. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devleti
AR	: Otoregresif Yöntem
ARMA	: Otoregresif hareketli ortalama
ARIMA	: Otoregresif hareketli ortalamalar
ANFIS	: Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi
CANN	: Küme Esaslı Yapay Sinir Ağları
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
DHKD	: Doğal Hayatı Koruma Derneği
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ENSO	: El Nino-Güneyli Salınımlar
ENN	: Toplam Sinir Ağları
FL	: Bulanık Mantık
ESOM	: Lineer regresyon yaklaşımını
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
GA	: Genetik algoritma
GK	: Gustafson-Kessel
MSE	: Ortalama karesel hata
MSE_{EK}	: Ortalama karesel hataların en küçüğü
PANN	: Periyodik Yapay Sinir Ağları
PDSI	: Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
R²	: Determinasyon katsayısı
SA	: Simule edilmiş annealing
SC	: Subtractive kümeleme
SNN	: Tekil Sinir Ağları
SRC	: Sediment eğrisi
TANN	: Eşik değer esaslı Yapay Sinir Ağları
WFL	: Dalgacık-Bulanık Mantık Modeli
WANN	: Dalgacık-Yapay Sinir Ağları Modeli
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Terkos Barajının yıllık yağış miktarları	27
Çizelge 2.2 : Son 25 yıllık minimum ve maksimum yağış değerleri	27
Çizelge 3.1 : Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki debi miktarları	38
Çizelge 3.2 : Terkos Gölüne yağışlarla gelen suların temel istatistiksel özellikleri ..	38
Çizelge 3.3 : Istranca derelerinden Terkos Barajına aktarılan su miktarları	39
Çizelge 3.4 : Ölçek-Frekans ilişkisi.....	60
Çizelge 4.1 : AR model adları ve girdi değişkenleri	65
Çizelge 4.2 : AR modellerine ait R^2 , MSE ve kolerasyon katsayı değerleri	68
Çizelge 4.3 : ARMA model adları ve girdi değişkenleri	69
Çizelge 4.4 : ARMA modellerine ait R^2 , MSE ve kolerasyon katsayı değerleri	72
Çizelge 4.5 : YSA model adları ve girdi değişkenleri.....	72
Çizelge 4.6 : YSA modellerine ait R^2 , MSE ve kolerasyon katsayı değerleri	75
Çizelge 4.7 : Dalgacık-YSA model adları ve girdi değişkenleri.....	76
Çizelge 4.8 : Dalgacık-YSA modellerine ait R^2 , MSE ve kolerasyon katsayı değerleri	79
Çizelge4.9 : AR, ARMA, YSA ve Dalgacık-YSA modellerinin 1, 3, 6 ve 9 aylık tahmin süreleri için model sonuçlar	81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Terkos Barajı	21
Şekil 2.2	: Terkos Gölü havzası	22
Şekil 2.3	: Terkos ve Istranca havzaları	26
Şekil 2.4	: Hidrolojik çevrim.....	30
Şekil 3.1	: Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık su miktarları	39
Şekil 3.2	: Terkos Gölü (Durusu) havzası.....	40
Şekil 3.3	: Biyolojik bir sinir hücresi ve yapay sinir hücresi	49
Şekil 3.4	: YSA genel yapısı	50
Şekil 3.5	: Çok tabakalı YSA modeli	51
Şekil 3.6	: Hata-eğitim devresi sayısı	53
Şekil 3.7	: Kısa zaman Fourer Analizi.....	56
Şekil 3.8	: Dalgacık analizi için zaman-ölçek değişimi.....	56
Şekil 3.9	: Sinüs dalgası ve bir dalgacık örneği	56
Şekil 3.10	: Sinüsoid ve dalgacıkta ölçek faktörü	57
Şekil 3.11	: Zaman içerisindeki frekans değişimi	57
Şekil 3.12	: Dalgacık Analizi.	59
Şekil 3.13	: Morlet dalgacığı.	60
Şekil 3.14	: Sinyalin seçilen bölümüyle dalgacık arasındaki ilişki	61
Şekil 3.15	: Dalgacığın sağa kaydırılması.	62
Şekil 3.16	: Ölçeğin genişletilmesi.....	62
Şekil 3.17	: Gelen akım zaman serisinin 4 ayrı bant ile gösterilmesi	63
Şekil 4.1	: Otoregresif (AR) modellerin saçılma diagramları.....	66
Şekil 4.2	: ARMA modellerinin saçılma diagramları.....	69
Şekil 4.3	: YSA modellerinin saçılma diagramları.....	73
Şekil 4.4	: Dalgacık-YSA modellerinin saçılma diagramları	76

TERKOS GÖLÜNE GELEN AYLIK DEBİNİN ÇEŞİTLİ METOTLARLA TAHMİNİ

ÖZET

Su yapılarının projelendirilmesinde, bazı bilgi ve verilere ihtiyaç duyulur. Bunlarında başında da su miktarının gelecekte belli bir tarihte ne olacağının tahminidir. Bu tahminlerin doğru yapılması, taşkın kontrolü amaçlı haznelerin işletilmesinde, akarsudaki su potansiyelinin belirlenmesinde, bir hidroelektrik santral için kurak dönemlerde üretimin nasıl etkileneceğinin bilinmesinde, içme ve sulama suyunun dağıtımında ve akarsulardaki ulaşımın planlanmasında büyük önemi vardır. Gelecekteki su miktarlarının belirlenmesi ile ilgili olarak çeşitli tahmin yöntemleri kullanılabilmektedir. Geleneksel olarak otoregresif (AR), hareketli ortalamalar (MA) ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) gibi bir dizi zaman serisi yaklaşımlarıyla tahmin yapılabildiği gibi yapay zekâ teknikleri ile de yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, İSKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Terkos Gölüne gelen aylık bazdaki veriler kullanılarak; otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağları (YSA) ve Dalgacık Dönüşümü (WAVELET) yöntemleri ile aylık bazda sentetik diziler türetilmiş ve hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın Giriş bölümünde, tezin amacı açıklanmaktadır. Daha önce yapılan benzer çalışmalar araştırılıp çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, çalışma alanının konumu, iklim yapısı, hidrolojik, jeolojik, jeomorfolojik, topografik, toprak yapısı ve bitki örtüsü hakkında bilgi verilmiş ve İstanbul için önemi açıklanmaktadır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, 1995-2012 yılları arasında Terkos Barajına gelen aylık bazdaki debiler veri olarak kullanılmıştır. Terkos Barajına gelen aylık ortalama debilerin temel istatistiksel özellikleri verilmektedir. Çalışmada kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmektedir. En iyi model determinasyon katsayısı R^2 , ortalama karesel hata MSE ve kolerasyon katsayısı değerlerine göre belirlenmektedir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, İSKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Terkos Gölüne gelen aylık bazdaki veriler kullanılarak; otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağları (YSA) ve Dalgacık Dönüşümü-YSA (WAVELET-YSA) yöntemleri ile aylık bazda sentetik diziler türetilmiş ve hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın beşinci ve sonuç bölümünde, çalışılan mevcut metotlara göre alternatif olarak geliştirilen debi tahmin modellerinin, diğer modellere göre iyi performans göstermelerinden dolayı debi tahmini hesaplarında kullanılabilirliği görülmüştür. Geliştirilen modeller irdelendiğinde, Dalgacık-YSA modellerinin diğerlerine göre daha iyi performans gösterdikleri sonucu elde edilmiştir. Bu tür bir model debi

tahmini gerektiren hidrolojik çalışmalarda, eksik verilerin tamamlanması ve ileriye yönelik debi tahmininde kullanılabilir. Bununla birlikte Terkos Barajı için geliştirilen modeller Türkiye'nin diğerk barajlara gelen debi tahmininde de havza özellikleri dikkate alınarak kullanılabilir.

MONTLY INFLOW PREDICTION FOR TERKOS LAKE BY VARIOUS METHODS

SUMMARY

Throughout human history, water has been one of the most important factors that played a major role not only during natural disasters (floods, drought, desertification) but also in the development of human thought. Today, it has the same importance. It is for sure that no artificial matter can be used instead of water in the future, which makes water more significant. For this reason, it is a must to pay more attention to the balance of use and delivery of water. The utilizable amount of water is running low due to the development of technology along with increasing human population .

The use of water must be planned smartly according to the uses of water, which is one of the most important substances for a society's economical, social and industrial development. It is necessary to apply scientific methods while using water both individually and in common in order to derive benefits from it.

Today, the need for water is increasing due to explosion in population and development of industries. People need water and energy for living and running factories and industries. As the demand for water increases, there emerges an urgent need for the use of water sources in an optimum way. In our country, water might be a big source of considerable income if water sources systems are operated well. It is necessary to make decisions and analyze water sources systematically in advance to benefit efficiently from the projects which are in the planning process. Thus, potential problems can easily be predicted and necessary precautions can be taken. Moreover, different alternative ways could be followed and the best solutions could be searched.

Although we are in the beginning of 21st century, there isn't accurate data about water volume, inflow and conditions in many countries. As a result of this, it is very hard to define and calculate total water reserve of the world. As 97 % of water is salty in the world, it is unusable for agriculture and daily consumption. The remaining 3 % is fresh water. Unfortunately, this amount is not delivered equally all around the world. For this reason, a lot of regional and personal difficulties occur. Eventually, there is a need for planning and building infrastructures, and getting the water to the desired regions.

Hydraulic events are on a large scale and they have many uncertainties. As a result, it is impossible to carry out experiments in laboratories. For this reason, it is fundamental to record hydraulic variables frequently in nature as historical time series.

In engineering water structures, incoming water data amount is needed. Predicting the amount of water in the future at a specific time plays an important role in operating catching areas which controls water floods, determining potential of rivers and understanding how the production will be affected during dry seasons for

hydroelectric dams. Different prediction methods can be used to determine the amount of water in the future.

The estimation might be fulfilled either conventionally through various time-series analysis methods such as Autoregressive (AR), Moving Averages (MA) and Autoregressive Moving Averages (ARMA) or through artificial intelligence techniques.

During application of hydrology, there might be some problems concerning analysis of time series which has widespread usage. These problems can be defined as the abundance of parameters to determine, and loss of time during this process. In this study, in order to neglect the stated problems, considering the historical flow data records and using monthly flow income of Terkos Lake, it is aimed to determine the method which could best predict the flow accurately at a certain time in the future.

According to the related literature, autoregressive and artificial intelligence models were used both individually and together as hybrid models. For the prediction of flow, generally stochastic models were used, but recently hybrid models which can give more sensitive results can also be preferred. On the other hand, there aren't enough researches about prediction with hybrid models. In this study, to predict the incoming flow of Terkos Lake, autoregressive (AR), Autoregressive Moving Averages (ARMA), Artificial Neural Networks (ANN) and WANN methods and monthly synthetic series were invented, and they were compared with each other to determine the method that could give more sensitive results.

This model consists of combination of WAVELET and Artificial Neural Network (ANN) models. While the wavelet system decomposes time series into its bands, Artificial Neural Network (ANN) method forms a relationship between input and output variables which are separated into bands. In this study, it is tried to predict t -month ahead flow values using WAVELET-ANN models. Continuous wavelet is used to divide original time series into its bands. To determine the distribution of energy over the bands, average wavelet spectrum was used. For wavelet analyze, Morlet wavelet was used. After the separation of incoming flow series into subbands, each band was predicted according to the input variable's bands. The prediction method was Artificial Neural Network (ANN). Finally every predicted band was gathered and time series prediction result was achieved.

WAVELET-ANN model can be summarized in 3 steps. 1- Related time series are divided into subbands. In this study, incoming flow time series were divided into four bands. Each band has different characteristics. For example, the first band represents change in high frequency, while the fourth band represents the low frequency. Therefore, time series can be shown as several homogenous time series. 2- Considering each produced band as a separate time series, it could be predicted with Artificial Neural Network (ANN) using the same input variables in all band models. Consequently, we have four different band models. 3- The results were achieved after the prediction of four different bands within themselves and their total.

In this study, based upon the monthly data concerning Terkos Dam, which is issued by the General Management of İSKİ, monthly synthetic series have been derived by means of Autoregressive (AR) and Autoregressive Moving Averages (ARMA), Artificial Neural Networks (ANN) and WAVELET, which have also been compared with each other with a view to determining which method will yield more precise results.

The objective of the study has been explained in the Introductory Section thereof. Again, information has been given on the earlier similar studies as a result of a thorough examination thereof.

In the Second Section of the study, information has been given on the position of the operation field, climate structure, hydrologic, geologic, geomorphologic, topographic, soil structure and the flora, whereby explaining the significance thereof for Istanbul.

In the Third Section of the study, the monthly flows coming to the Terkos Dam between 1995 and 2012 have been used as data, whereby giving the basic statistical features of the monthly average flows coming to the Terkos Dam and giving information on the methods used in the study. The results were divided into two groups namely training and test data. One-third of the last data were tested and the remaining data was used for the training of model parameters. For the input variables, different combinations were used. Predictions were actualized 1, 3, 6 and 9 months later. The best model determination coefficient R^2 is fixed according to the Mean Square Error (MSE) and correlation coefficient values.

In the Fourth of the study, based upon the monthly data concerning Terkos Dam, which is issued by the General Management of İSKİ, monthly synthetic series have been derived by means of Autoregressive (AR) and Autoregressive Moving Averages (ARMA), Artificial Neural Networks (ANN) and WAVELET; and these have also been compared with each other with a view to determining which method will yield more precise results.

In the fifth and concluding part of the study, the current flow according to the methods developed as an alternative forecasting models, the estimated flow rate compared to other models because they show a very good performance has been the availability of accounts. When the developed models are examined, it is seen that the performance of wavelet-neural network models perform better than others. This kind of can be used for flow predictions in hydrological studies, completion of missing data, and forecasting of flows. The proposed models can be employed for inflow predictions of other dams in Turkey, considering the characteristics of the basin.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca su, sadece doğal afetlerin (taşkın, kuraklık, çölleşme, vb.) meydana gelmesinde değil, insanlık düşüncesinin gelişmesinde de başlıca rol oynayan unsurların başında yer almaktadır. Günümüzde de bu önemi devam etmektedir. Gelecekte suyun yerine geçebilecek bir yapay maddenin bulunamayacağı bilindiğine göre, suyun önemi daha da artmaktadır. Bu bakımdan, su kaynaklarının kullanımı ile dağıtımındaki dengelere her zamandakinden daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü, özellikle artan insan nüfusuna paralel olarak gelişen teknoloji ve bunun sonucunda suların kirlenmesi ile zaten sınırlı miktarda bulunan suların kullanılabilir kısmı daha da azalmaktadır.

Bir toplumun ekonomik, sosyal ve endüstriyel gelişmelerini etkileyen temel maddelerden en önemlisi olan suyun dünyada sınırlı miktarda bulunması, kullanım alanlarındaki sarfiyatının akıllı bir plana göre yapılmasını gerektirir. Su kaynaklarının zaman ve alan bakımından sınırlı oluşu, bunların en iyi biçimde tekil ve ortak işletimlerinin yapılarak fayda temin edilmesi için bilimsel yöntemlerin uygulanmasını gerektirmektedir.

Günümüzde nüfusun ve sanayinin artışı ile su kaynaklarına olan ihtiyaç da giderek artmaktadır. İnsanların günlük hayatında, fabrika ve endüstrilerin işletilmesinde su ve enerjiye ihtiyaçları vardır. Suya olan talep arttıkça, mevcut su kaynakları sistemlerinin en optimum şekilde kullanılması gereğini ortaya çıkartmaktadır. Özellikle ülkemizde su kaynakları sistemleri iyi bir şekilde işletildiği takdirde gerçekten büyük bir gelir kaynağı olabilecektir. Özellikle planlama aşamasındaki projelerden daha verimli sonuçlar alabilmek için su kaynaklarının ileriye dönük olarak ve sistem şeklinde analiz edilmesi ve ileriye dönük kararların önceden alınması gerekir. Böylece ileride çıkabilecek sorunlar erken tahmin edilip gerekli önlemleri almak mümkün olabilecektir. Ayrıca bir çok değişik alternatif sistemli bir şekilde takip edilerek en iyi çözüm aranabilecektir. Ülkemizde ilk hidroloji çalışmaları Osmanlı Devletinin son zamanlarında İstanbul'da yapılmıştır. Daha sonra ilk defa Cumhuriyet döneminde Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) gibi teşkilatlar kurularak

hidrolojik çalışmalara esas teşkil edecek şekilde yağış verilerinin sistematik biçimde ölçülerek gerekli veri kayıtlarının da tutulması için meteoroloji istasyonları kurulmuştur. Sonraki yıllarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) teşkilatları kurularak daha çok orta ve büyük su toplama havzalarında akarsu akış miktarındaki zaman salınımlarını tahmin edebilmek için debi ölçümlerine başlanmıştır (şen, 2003).

Yirmi birinci yüzyılın başlarında olmamıza rağmen su kaynaklarının hacimleri, akışları ve şartları hakkında birçok ülkede yeterli ve sağlıklı veri bulunmamaktadır. Bunun sonucunda, dünyadaki toplam su rezervinin tam tanımlanıp hesap edilmesi oldukça zordur. Dünyada bulunan suların % 97 'si tuzlu olduğundan içme ve tarım amaçları için kullanılamaz durumdadır. Geriye kalan %3 'lük kısım ise 35 milyon km³ tatlı sudur. Maalesef, bu su da dünya yüzeyine üniform olarak dağılmamıştır. Tatlı su kaynaklarının yeryüzünde üniform olarak dağılmış olmaması birçok bölgesel ve kişisel sorunların doğmasına ve suyu gerekli yerlere taşımak için insan faaliyetlerine bir ereve veren planlama ve gerekli inşaatların yapılması gibi etkinlikler ortaya çıkarmaktadır.

Hidrolojik olaylar büyük lklerde ve birçok belirsizliği ihtiva ettiği için laboratuarlarda model ve deneylerin yapılması mümkün değildir. İşte bu sebeple, hidroloji değişkenlerinin doğada yeterli sıklıktaki zaman aralıklarında ölçümlerinin yapılarak geçmiş yani tarihi veri dizisi şeklinde kayıt edilmesi çok büyük önem arz eder. İşte bunun zorunlu bir sonucu olarak da, hidroloji çalışmalarının başarı ile yapılması için aşağıdaki noktaların sıkı takip edilmesi gereklidir (Bayazıt, 1986; şen, 2002):

1. Yağış, akış, buharlaşma gibi temel hidroloji değişkenlerinin değişik istasyon ve zamanlarda yeterli sıklıkta ölçümlerinin sürekli olarak yapılması,
2. Ham olan ölçüm verilerinin basit birtakım istatistik ve veri güvenirliliği sınamalarına tabi tutarak işlenmiş bilgilerin bilgisayar ortamında elde edilmesi; veri dizilerinin istatistik parametrelerinin ve dağılım fonksiyonlarının elde edilmesi; değişik hidroloji verileri arasında olabilecek ilişkilerin istatistik ve regresyon yöntemleri ile işlenerek bulunması ve böylece ampirik ilişkilerin ortaya çıkarılması,

3. Ölçümlerden yararlanarak gerekli matematik modellemelerin yapılması sonucu hidrolojik değişkenliğin ortaya çıkmasına sebep olan kanunların bulunmasına çalışılması; uygun görülen modellerden elde edilecek tahminler ile yapılan ölçümlerin kıyaslanarak geliştirilen modellerin iyileştirilmesine çalışılması,
4. Belirlenen gelecek zaman aralıklarında incelenen hidroloji olayının tekrar görülmesi ve istenmeyen bazı davranışlarının ortaya çıkma yüzdelерinin ve sıklıklarının hesaplanması için ihtimaller hesabı ilkelerinden yararlanılması; bu bakımdan ihtimal hesabı ile istatistiğin hidrolojide kullanılması.

Su yapılarının projelendirilmesinde, gelebilecek su miktarı ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulur. Su miktarının gelecekte, belli bir tarihte ne olacağının tahmini, taşkın kontrolü amaçlı haznelerin işletilmesinde, akarsudaki su potansiyelinin belirlenmesinde, bir hidroelektrik santral için kurak dönemlerde üretimin nasıl etkileneceğinin bilinmesinde, içme ve sulama suyunun dağıtımında ve akarsulardaki ulaşımın planlanmasında büyük önemi vardır.

Bir modelinin geleceğe ait güvenilir tahminlerde bulunabilmesi için değişik açılardan sınanması gereklidir. Gelecekteki su miktarlarının belirlenmesi ile ilgili olarak çeşitli tahmin modelleri kullanılmaktadır. Geleneksel olarak otoregresif (AR), hareketli ortalamalar (MA) ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) gibi bir dizi stokastik zaman serisi yaklaşımlarıyla yapılabildiği gibi (YSA) yapay zekâ teknikleri ve birleşik dalgacık-YSA (WAVELET-ANN) gibi tahmin yöntemleriyde yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, gelecekte belli bir tarihte Terkos Gölüne gelen aylık bazdaki debinin tahmin edilmesinde hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için literatürde sıklıkla kullanılan otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağları (YSA) ve dalgacık-YSA(WAVELET-ANN) yöntemleri birbiriyle karşılaştırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Barajlar bir akarsu kesiti üzerinde veya göllerin mansap kısımlarında inşa edilen su yapılarıdır. Baraj haznesi için önemli bir beslenme kaynağı olan akarsuyun oluşturduğu su miktarı, yıl içinde çok fazla değişim göstermektedir. Bu değişimler özellikle mevsimlere ve yağış miktarlarına bağlı olmaktadır. Bununla birlikte, baraj hazneleri baraj yerinin akarsuyun membasında, orta bölümlerinde ya da mansabında olmasına göre de akarsuyun su miktarından etkilenmektedir.

Bundan dolayı su yapılarının projelendirilmesinde, gelebilecek su miktarı ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulur. Su miktarının gelecekte, belli bir tarihte ne olacağının tahmini, taşkın kontrolü amaçlı haznelerin işletilmesinde, akarsudaki su potansiyelinin belirlenmesinde, bir hidroelektrik santral için kurak dönemlerde üretimin nasıl etkileneceğinin bilinmesinde, içme ve sulama suyunun dağıtımında ve akarsulardaki ulaşımın planlanmasında büyük önemi vardır.

Hidroloji uygulamalarında, yaygın kullanıma sahip olan zaman serilerinin analizinde bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler, belirlenmesi gereken parametrelerin fazla olması ve dolayısıyla zaman kaybına neden olması şeklinde tanımlanabilirler. Bu çalışmada, belirtilen problemleri ortadan kaldırmak maksadıyla tarihi debi kayıtları dikkate alınarak Terkos Gölüne gelen aylık bazdaki debiler kullanılarak gelecekte belli bir tarihte gelebilecek debinin tahmin edilmesinde hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Zaman serileri ile ilgili çalışmalar

Carlson vd. (1970), St. Lawrence, Missouri, Neva ve Niger nehirlerine ait aylık akım verilerini kullanarak lineer rastgele modellerin uygunluğunu araştırmışlardır. Seçilen bu dört farklı akıma uyan otoregresif hareketli ortalamalar modelinin belirlenmesi için akımların otokorelasyon fonksiyonları belirlenmiştir. Missouri nehri için bir yıllık tahmin yapılmıştır.

Hipel vd. (1975), Nil nehri üzerindeki Aswan Barajı için stokastik dönüşüm fonksiyon modeli geliştirmiştir. Dönüşüm fonksiyonu sayesinde akım üzerindeki insan müdahalesi ya da doğal etkileri tahmin etmeye çalışmışlardır.

Hipel vd. (1977), Box Jenkins model yapısının tanımlanması, parametre tahmini ve seçimi için bazı yeni uygulama ve teknikleri vermişlerdir. St. Lawrence nehri akımları üzerinde yapılan çalışmada mevsimsel ve mevsimsel olmayan modellerin her ikisi için de ters otokorelasyon fonksiyonu ve ters kısmi otokorelasyon fonksiyonu önerilirken, parametrelerin daha iyi tahmin edilebilmesi için kareler toplamı yerine maksimum olabilirlik ve uygun model seçimi aşamasında da Akaike Bilgi Kriteri tavsiye edilmiştir.

Yazıcıgil vd. (1982), Kentucky’de bulunan Green nehrine ait günlük akımların tahmini için çok girdili lineer modelleri ve otoregresif hareketli ortalamalar yöntemini kullanmıştır. Her iki yöntemi de gözleniş akım verileri ile mukayese etmişlerdir ve çok girdili lineer modellerin, otoregresif hareketli ortalamalar yöntemine göre daha az saçılmalar gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Srikanthan vd. (1983), Avustralya’da bulunan 156 adet nehre ait aylık akım kayıtlarına bağımlılık tahkiki için otokorelasyon, Fisz, Kendall, Gold, Meacham ve kümülatif periyodogram analizlerini uygulamışlardır. Akım serilerinin %28’inin bağımlılık özelliği gösterdiği bulunmuştur. Her bir akım için lineer model yapısı belirlenirken otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları kullanılmıştır.

Ngan ve Russell (1986), Kanada’da bulunan Fraser nehri için akım tahmininde kullanılan ARMAX modelini Kalman filtresi ile bir arada kullanmışlardır. Öncelikle akım için uygun ARMAX modelini belirlemişlerdir. İkinci olarak, akım verilerini Kalman algortimasına dönüştürerek akım tahmini yapmışlardır.

Chang vd. (1987), Hindistan’da bulunan bir havza üzerinde günlük yağışları ayrık otoregresif hareketli ortalamalar yöntemi ile modellemişlerdir. Bu çalışma içerisinde kullanılan modellerden birinde lineer dönüşüm fonksiyonu ile günlük akım tahmini yapılmıştır. Birinci ve ikinci mertebe yağış girdilerine karşılık yine birinci ve ikinci mertebe akış çıktıları denenmiştir.

Bayazıt ve Bulu (1988), akım zaman serilerinin modellenmesinde kullanılan Markov modelleri için, üç farklı otokorelasyon fonksiyonu kullanarak uzun süreli karakteristiklerini ve dönüşüm olasılıklarını incelemişlerdir.

Bayazıt ve Bulu (1991), dört farklı modelden elde edilen sentetik serileri kullanarak elde edilen sentetik akım serileri yardımıyla ideal bir rezervuar kapasitesi için gerekli olasılık dağılımlarını ve bu dağılımlara ait parametreleri incelemişlerdir. Çalışmada

tüm değişkenleri standart hale getirerek çalışmışlardır ve akım kayıtları için log normal dağılımının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Haktanır (1991), Türkiye’de bulunan 45 akarsuyun yıllık akım verilerine farklı dağılımlar uygulamıştır. Dağılımların parametreleri momentler, maksimum olasılık ve ağırlıklı momentler yöntemleri ile belirlenmiştir. Log- Pearson dağılımı için entropy ve karışık momentler yöntemleri uygulanmıştır.

Lungu ve Sefe (1991), güneydoğu Bostwana’da bulunan akarsuların aylık akım serilerinin stokastik analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada aylık akımların nc mertebe otoregresif modellere uyduğu gözlenirken, toplam aylık akımların ise ikinci mertebe bütünleşik hareketli ortalamalara uyduğunu belirtmişlerdir.

Rao ve Hsieh (1992), çok sayıda istasyona önceki yıllara ait akım ve yağış verilerini kullanarak akım tahmini yapmaya çalışmışlardır. Tahminler mevcut verilere ait ortogonal fonksiyonlardan yapılmıştır. Elde edilen sonuçların hem uzun süreli hem de kısa süreli zaman serileri için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Crissman vd. (1993), Niagara nehrinin membasındaki akım miktarının, yaz aylarında bölgedeki bitki örtüsünden kış aylarında ise iklimsel farklılıklardan dolayı oluşan buz formasyonlarından büyük oranda etkilendiğini ve akım miktarlarında ani değişimler meydana geldiğini bu yüzden 1988 yılından itibaren New York Power Authority ve Ontario Hydro kuruluşlarının bölge akımları üzerinde çalışmalara başladığını belirtmişlerdir. Çalışmada akarsu akımı için bir taşkın öteleme modeli oluşturmuşlardır.

Bunun için kararsız taşkın öteleme yöntemi ile Kalman Filtresi yöntemini bir arada kullanmışlardır. Bölge akımı için oldukça uyumlu bir tahmin modeli geliştirmişlerdir.

Kuo ve Sun (1993), extrem hava durumları ile ilgili olarak Tayvan’daki Tanshui nehrine ait on günlük akım verilerini modellemek amacıyla Box Jenkins zaman serisi modellerinden yola çıkarak ara bir model oluşturmuşlardır. Model Sanshia lm istasyonundaki akım kayıtları için geliştirilmiştir. Model sonuçları otoregresif hareketli ortalamalar ile mukayese edilmiş ve tahmin yeteneğinin daha güçlü olduğu görülmüştür.

Vogel vd. (1993), Amerika’nın güneybatısında bulunan 383 akarsuya ait akım verileri için farklı frekans modellerinin uygunluğu üzerine çalışmışlardır. Normal

dağılım, Pearson dağılımı ve Gumbel dağılımının bölgedeki akarsular için uygun olmadığınıbununla birlikte log-Pearson dağılımının ve log normal dağılımın akım değerlerineuygun olduğunu belirtmişlerdir.

Bender (1994), Manitoba hidroelektrik tesisine gelen akımların uzun süreli olasılık dağılımlarını incelemiştir ve otoregresif hareketli ortalamalar yöntemi ile akım modellemesi yapmıştır. Model seçimi ile elde edilen artık terimler için hassasiyet analizi yapmıştır. Böylelikle tesisin öncelikli ihtiyaç miktarını belirlemek amacıyla tahminler sayesinde planlama kolaylığı sağlanabilmiştir.

Hsu vd. (1995), günlük rezervuar işletmeleri için gerekli olan günlük akım tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Doğrudan akış, taban akışı, sızma, buharlaşma, terleme ve yer altı su seviyesindeki değişimleri de dikkate almışlardır. Model parametrelerini Gauss-Newton algoritması ile elde etmişlerdir. Model performansı, korelasyon katsayısı, verimlilik katsayısı, bağıl hata, standart hata ve hacimsel hata terimlerine göre test edilmiştir. Önerilen model Tayvan'da bulunan üç istasyona ait tarihi akım verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Modelin günlük rezervuar işletmesi için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Jakeman vd. (1997), Avustralya'da Yukarı Murray havzasında bulunan, dokuz adet akım için yüzey akışını modellemişlerdir. Model öncelikle dokuz akarsudaki uzun süreli akım tahmini için oluşturulmuştur. Daha sonra havzanın beslediği Hume ve Dartmouth rezervuarları için tahmin edilen akımlar kullanılmışlardır. Artık seriler için en iyi model mertebesini belirleme de otoregresif hareketli ortalamalar modelini kullanmışlardır.

Pasternack (1999), hidrolojide yaygın olarak kullanılan zaman serileri analiz metotlarından korelasyon integral analizinin işleyişi, elemanları gibi özelliklerini irdelemiştir ve yeni bir günlük akım analizi yöntemi eklemiştir. Otoregresif hareketli ortalamalar yöntemine göre daha iyi sonuçlar veren bu yöntem de günlük akım kayıtlarını Fourier serilerine açmıştır.

Xu vd. (2003), yağışlı ve kurak dönemlerin rastgeleliklerini bir araya getirerek stokastik günlük akım tahmin modeli için markio çapraz korelasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Almanya'da bulunan Wupper nehri için yapılan bu çalışmada geçmiş kayıtlardan yararlanılarak günlük akım serileri üretilmiştir.

Pekarova ve Pekar (2006), Danube nehri üzerinde bulunan yedi adet istasyona ait uzun periyotlu debi gidiş çizgilerini belirlemeye çalışmışlardır. İstatistiksel analizlere göre 1840 yılından 1860'a kadar olan periyotta Avrupa'nın ortasında ve doğusunda kurak bir sezon gözlenmiştir. Bu yıllarda ortalama yıllık hava sıcaklığı 1990'lara göre 1 °C daha düşük ölçülmüştür. Bundan dolayı 1860'lar ve 1990'lar olmak üzere çalışma iki farklı zaman dilimine ayrılmıştır. Stokastik modellere bağlı olarak uzun süreli akım tahmini yöntemi araştırılmıştır. Harmonic modeller ve Box Jenkins modelleri de kullanılmıştır.

Wagener ve Wheaterb (2006), bölgesel parametrelerin tanımlanabilirliği ve havza karakteristikleri arasındaki ilişkinin ne olduğu, havzaların tek tek birleşerek bölgeyi nasıl yansıttıkları, havzalardan bölgelere geçilmesi ile bölgesel model yapısının belirsizliği nedir, bölgesel parametre belirsizlikleri ile ölçümlerin yapılmadığı havzalara nasıl geçiş yapabiliriz ve bunun sonucunda ne olur gibi sorulara cevap aramışlardır. İngiltere'nin güney doğusunda bulunan on havza için bu sorular üzerine çalışmışlardır. Ağırlıklı regresyon analizi kullanarak istasyonun bulunmadığı bölgelerde kalibre edilmiş parametrelerdeki belirsizliğin aşılabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

Chen vd. (2008), Tayvan'da bulunan Wu- Shi nehri üzerinde bulunan istasyona ait 10 günlük akım kayıtlarını kullanarak lineer olmayan zaman serisi modeli oluşturabilmek için iki aşamalı genetik algorithmadan faydalanmıştır. Analizler göstermiştir ki lineer olmayan zaman serileri lineer zaman serilerine göre daha uygun sonuçlar vermektedir.

1.2.2 Yapay zeka yöntemler ile ilgili çalışmalar

Liong vd. (1995), Singapur'da bulunan bir havza için havza kalibrasyon parametrelerinin en uygun değerlerini seçmek amacıyla optimizasyon yöntemi olan genetik algorithmayı kullanmıştır. Altı adet taşkın olayından üç tanesi modelin kalibrasyonu için kalan üç tanesi ise modelin testi için ayrılmıştır. Gözlenen ve tahmin edilen veriler arasında %0.045 ila %7.265 mertebelerinde tahmin hataları elde edilmiştir.

Hamlet ve Lettenmaier (1999), El Nino güney salınımlarını ve Pasifik'in son on yıla ait salınımlarını kullanarak akım tahmin yaklaşımı geliştirmişlerdir. Geliştirilen model performansının iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Zealand vd. (1999), kısa süreli akım tahmini için yapay sinir ağları yönteminin uygulanabilirliğini araştırmışlardır ve mevcut metotlarla mukayese etmişlerdir. Farklı girdi sayısı ve gizli tabaka sayısına sahip değişik yapay sinir ağları modelleri geliştirilmiştir. Çalışma 20,000 km² havza alanına sahip olan Kanada'da kuzeybatı Ontario'da bulunan Winnipeg nehrine ait veriler ile yapılmıştır. Mevcut metotlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Chang ve Chang (2001), yeni bir rezervuar işletme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çalışma iki ana süreçten oluşmaktadır: Genetik algoritma (GA) ve adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS). Çalışma alanı olarak Tayvan'da bulunan Shihmen rezervuarı seçilmiştir. Öncelikle GA kullanılarak verilen giren akım zaman serilerine bağlı olarak girdi çıktı eğitim veri setlerini oluşturmak amacıyla optimum rezervuar işletme histogramı oluşturulmuştur. Daha sonra rezervuardaki su derinliği ve giren akım şartlarına bağlı olarak en uygun işletme yapısı ve parametrelerini tahmin etmek ve tahliye edilecek su miktarını belirlemek için ANFIS modelleme yöntemi kullanılmıştır. Gelen suyun az olduğu zamanlardaki su açığını kontrol etmek için en iyi modeli geliştirilmişlerdir.

Chang ve Chen (2001), bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının bir arada olduğu bir uygulama sunmuşlardır. Bu model girdi verilerini kümeleyerek otomatik olarak kurallar oluşturmaktadır. Gerekli parametreler sistematik olarak model tarafından hesaplanmaktadır. Tayvan'da bulunan Da-cha nehrinin membasındaki yağış ve akışverileri kullanılarak bir yağış akış modeli oluşturulmuştur.

Xiong vd. (2001), on bir havza üzerinde yaptıkları bu çalışmada, birinci mertebe Tagaki Sugeno bulanık sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin ağırlıklı ortalamalar yöntemi ve yapay sinir ağları yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Taşkın tahmini için Tagaki Sugeno sistemi kombine bir sistem olarak tavsiye edilmiştir.

Birikundavyi vd. (2002), günlük akım tahmini için yapay sinir ağları yöntemini kullanmışlardır. Çalışma alanı olarak kuzeydoğu Quebec'de bulunan Mistassibi nehrini seçmişlerdir. Ortalama karesel hata ve Nash katsayısı geliştirilen modelin deterministik modellere göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Sonuçlar aynı zamanda Kalman filtresi ile birleştirilmiş otoregresif modellerle de mukayese edilmiş ve sonuçların daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Sivakumar (2003), Amerika'nın batısında bulunan 11 eyaletteki toplam 79 adet akım gözlem istasyonuna ait akım verilerini kullanmış ve akım tahmin modeli geliştirmiştir. Öncelikle istasyonlar üç grupta toplanmışlardır: ilk grup $2.832 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den daha az debiye sahip olanlardan, ikinci grup, $28.32 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den daha fazla debiye sahip olanlar ve son olarak $2.832 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $28.32 \text{ m}^3/\text{s}$ arasında debiye sahip olanlar. İlk gruba giren istasyonlarda modelin daha iyi bir performans sergilediğini söylemiştir.

Sudheer ve Jain (2004), yapay sinir ağlarının içsel fonksiyonel davranışını anlatan ve gösteren yeni bir metot olarak akarsu akımı modelini geliştirmişlerdir. Metot, yapay sinir ağlarının akarsu akımını modellerken aynı zamanda debi gidiş eğrisine benzer bir fonksiyonu da haritalayabileceğini varsaymaktadır. Modelleme ile bölgesel bir çalışma yapılmıştır ve varsayımın matematiksel analizi verilmiştir. Önerilen yaklaşım yapay sinir ağlarının performansını iyileştirecek diğer modeller için de kullanışlı bulunmuştur.

Huang vd. (2004), Apalachicola nehrine ait akım tahmini için bir yapay sinir ağları modeli geliştirmişlerdir. 1939 ve 2000 yılları arasındaki periyotta uzun süreli yağış ve akış gözlemleri kullanılarak yapay sinir ağları modeli eğitilmiş ve test edilmiştir.

Tahmin edilen ve gözlenen günlük, aylık, mevsimsel ve yıllık akım miktarları arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla, 0.98, 0.95, 0.91 ve 0.83 olarak bulunmuştur. Model sonuçları mevcut yöntemlerden otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) yöntemi ile mukayese edildiğinde, yapay sinir ağları ile geliştirilen modelin daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür.

Nayak vd. (2008), Hindistan'da Orissa eyaletinde bulunan Baitarani nehrine ait akımları modellemek için adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) uygulaması önermişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki ANFIS ile tahmin edilen akıma ait zaman serileri orijinal akım serisine ait istatistiksel özelliklerimuhafaza etmektedir.

Moradkhani vd. (2004), günlük akımların tahmini için yapay sinir ağlarında bulunan bir adım ötelemeli tahmin yöntemine kendi kendini organize eden radyal tabanlı fonksiyonun uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Verileri sınıflandırırken bu fonksiyonu self organizing haritalama ile bir arada kullanmışlardır. Yarı kurak iklimle sahip olan Tuz Gölü havzasında yapılan bu çalışmada denenen yöntemin iki farklı

yapay sinir ağıları algoritması üzerinde iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Aynı zamanda lineer regresyon analizinin uygulanabilirliğini de araştırmışlardır.

Chiang vd. (2004), biri statik diğeri dinamik olmak üzere iki farklı yapay sinir ağıları yönteminin mukayesesi üzerine çalışmışlardır. Tayvan'da bulunan Lan-Yang nehrine ait yirmi üç taşkın olayı ve 1632 adet yağış akış veri seti ile yapay sinir ağıları yöntemlerinin tahmin gücü belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlara göre statik ileri beslemeli yapay sinir ağıları sadece yeterli sayıda veri seti olduğunda iyi performans gösterirken, dinamik yapay sinir ağıları yöntemi daha kararlı akım tahminleri yapmaktadır.

Jeong ve Kim (2005), Kore'de bulunan çok amaçlı Daechong barajına ait aylık giren akımları tahmin etmek için toplam akım tahmini yöntemi olan ESP ile birlikte kullanılan TANK yöntemine alternatif olarak sırasıyla iki tip yapay sinir ağıları yöntemini kullanmışlardır: tekil sinir ağıları yöntemi (SNN) ve toplam sinir ağıları yöntemi (ENN). ENN yönteminin SNN yöntemine göre hataları daha iyi kontrol ettiği görülmüştür. Modellerin performansı bağıl hata ve ortalama karesel hataların karekökü ile belirlenmiştir. ENN yönteminin en iyi akış yağış modelini verdiği ve ESP'ye göre daha etkili olduğu bulunmuştur.

Cıgızoğlu (2005), sürekli akıma sahip olmayan nehirler için genelleştirilmiş regresyon analizli yapay sinir ağıları yöntemini denemiştir. Bu yöntemin sıklıkla kullanılan ileri beslemeli yapay sinir ağıları yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Yapay sinir ağıları yöntemindeki girdi değişkenlerinin sayısını belirleyebilmek için öncelikle otoregresif modelleme yapmıştır.

Deka ve Chandramouli (2005), Hindistan'da bulunan Brahmaputra nehri akımlarını tahmin etmek için yapay zeka yöntemlerinden, bulanık mantık ve yapay sinir ağıları metotlarını bir arada kullanmıştır. Modelin farklı değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkileri çok iyi yansıttığını belirtmişlerdir.

Coley ve Waylen (2006), güneybatı Florida'da bulunan ve şehir su şebekesi için önemli bir kaynak olan Peace Nehri için tarihi minimum, maksimum ve ortalama akım kayıtlarını kullanarak kış ve bahar ayları için akım tahmini yapmaya çalışmışlardır. 50 yıllık tarihi kayıtların 40 yıllık parçası model kalibrasyonu için kullanılırken, rastgele seçilmiş 10 yıllık kayıtlar modelin testi için ayrılmıştır. Kış

ayları için yapılan tahminlerin, bahar aylarına göre daha iyi olduklarını tespit etmişlerdir.

Şen ve Altunkaynak (2006), yüzey akışı katsayısının belirsiz olmasından dolayı farklı yüzey akış katsayıları dolayısıyla farklı yağış akış formülasyonları kullanarak farklı istatistik, olasılık ve bulanık modelleme sistemlerini denemişlerdir. Farklı alternatif yüzey akış hesaplama yöntemlerine göre bulanık modellemenin en düşük bağıl hatayı ve daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Bulanık modellemeyi daha sonraki çalışmalarda kullanmak üzere tavsiye etmişlerdir.

Chen vd. (2006), kendi kendine oluşan kural tabanı, ileri beslemeli bir ağ yapısı ve bulanık kontrol aritmetiğine sahip olan adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımını kullanmışlardır. Yağış akış kalıpları verildiği takdirde ANFIS sistematik ve etkili bir şekilde akım tahmin modelleri oluşturmaktadır. Tayvan'daki Choshui nehrine ait yağış ve akım verileri kullanılmıştır. Analiz sonuçları göstermiştir ki, membadaki akım durumu taşkın modellemesinde kilit özelliğe sahiptir. Bununla birlikte yağış girdisinin kullanılması da model performansını olumlu yönde etkilemektedir. Çalışmanın sonucunda ANFIS'in mevcut yapay sinir ağları yöntemine göre de daha iyi sonuçlar verdiği de gösterilmiştir.

Wang vd. (2006), yüzey akışını etkileyen yağış gibi karmaşık değişkenler olmaksızın, günlük akımların tahmini için karakutu yöntemini kullanmışlardır. Bunun için tek değişkenli zaman serilerini kullanan hibrit yapay sinir ağları yöntemlerinden üçünü denemişlerdir: eşik değer esaslı yapay sinir ağları (TANN), küme esaslı yapay sinir ağları (CANN) ve periyodik yapay sinir ağları (PANN). Çalışmanın sonucunda en iyi performansın PANN modeline ait olduğu bulunmuştur.

Paride vd. (2006), Bostwana'da bulunan ve çok hızlı şehirleşme hızına sahip olan Notwane havzasına ait yüzey akış katsayılarının tahmin etmek için, yapay sinir ağları metodunu kullanmışlardır. Optimum girdi vektörlerinin seçimi, gizli tabaka ve gizli tabakada ki nöronların sayılarının tespiti, eğitim algoritması ve transfer fonksiyonunun belirlenmesi bakımından 1978'den 2000 yılına kadar hesaplanmış yüzey akış katsayıları kullanılarak en uygun ağ yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ yapısı 2020 yılına kadar yüzey akış katsayılarının tahmininde kullanılmıştır. Her yıl yüzey akış katsayılarının %1 oranında arttığı gözlenmiştir. Bunun %48'inin

iklimsel faktörlerden, %52'sinin ise arazi kullanımı ve bitki örtüsünden kaynaklandığı bulunmuştur.

Srinivas ve Srinivasan (2006), periyodik akımların stokastik tahmini için yeni bir hibrit model önermişlerdir. Öncelikle otogerresif hareketli ortalamalar yöntemi kullanılarak artık seriler elde edilmiştir. Elde edilen artık seriler uyarlanmış büyük önyükleme (matched-block bootstrap) yöntemi kullanılarak, yeniden örnek zaman serileri oluşturulmuştur. Modelleme çalışmaları Amerika'da bulunan Weber nehri üzerinde yapılmıştır.

Keskin vd. (2006), Türkiye'de orta Akdeniz bölgesinde bulunan Dim çayına ait aylık ortalama akımları tahmin etmek maksadıyla akım tahmin çalışması yapmışlardır. Çalışmada öncelikle aylık akımların stokastik incelemesi ve buna bağlı olarak otoregresif modellemesi yapılmıştır. AR(2) sürecine uyduğu belirlenen akım için sentetik akım serileri üretilmiştir. İkinci olarak akım adaptif ağ temelli bulanık tabanlı yapay sinir ağları sistemi ile modellenmiştir. İki aşamada yapılan bu kısımda ilk olarak sadece tarihi akım verileri kullanılırken, ikinci aşamada AR(2) süreci ile üretilen sentetik seriler de kullanılarak tahmin yapılmıştır. Sonuçta AR(2) ile üretilmiş sentetik seriler ve tarihi akım serisi bir arada kullanılarak oluşturulan ANFIS modelinin performansının daha iyi olduğu görülmüştür.

Chiu vd. (2007), simule edilmiş annealing (SA) ile birlikte genetik algoritma (GA) kullanarak optimum bir rezervuar işletme planı sunmuşlardır. Rezervuar işletmesinin amaçlarını ve elemanlarını bulanık model ile analiz etmişlerdir. Uygulama alanı olarak Tayvan'daki Shihmen rezervuarını seçmişlerdir. Farklı hidrolojik şartları yansıtacak şekilde üç yıllık periyoda ait aylık ortalama giren akımları kullanmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki; bulanık kural tabanı ile en uygun rezervuar işletme planı oluşturulmaktadır ve GA-SA hibrid modeli ile daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Chang vd. (2007), taşkın akımı tahmini için kendi kendini düzenleyen haritalama (self organizing map- SOM) ile birlikte lineer regresyon yaklaşımını (ESOM) kullanmışlardır. Aynı zamanda taşkın verilerini kullanarak ESOM'la birlikte yapay sinir ağları yöntemini araştırmışlardır. Çalışma alanı olarak Tayvan'daki Da Chia nehrine ait taşkın verileri kullanılmıştır. ESOM- yapay sinir ağları yönteminin özellikle pik akımları tahmin etmede üstün performans gösterdiği bulunmuştur.

El-Shafie vd. (2007), Nil nehri üzerindeki Aswan barajına aylık olarak giren akımı tahmin etmek için adaptif ağ temelli bulanık tabanlı çıkarım sistemi (ANFIS) modeli önermişlerdir. Bu bulanık sistemin en büyük avantajı gerçekte oluşmamış ve belirsiz olan giren akım tahminini yapabilmesidir. ANFIS girdi setini bulanık alt kümelere ayırarak, çıktıları da lineer fonksiyonlar kullanarak haritalamaktadır. ANFIS modelini eğitmek ve performansını test etmek amacıyla son 130 yıla ait tarihi akım verileri ile bir veri tabanı oluşturulmuştur. ANFIS modelinin performansı yapay sinir ağları metodu ile test edilmiştir. Sonuçlar, ANFIS metodunun özellikle yüksek giren akım değerleri için yapay sinir ağlarına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Gopakumar vd. (2007), nemli iklime sahip tropikal bir akarsu havzasında, yaygın olarak kullanılan verimlilik indisleri ile mevsimsel yağış kalıplarını incelemişlerdir ve buna bağlı olarak günlük akarsu akımlarını modellemek için yapay sinir ağları yöntemini denemişlerdir. Geliştirdiği tahmin modeli yağışlı dönemlerde uygun sonuçlar vermekle birlikte, kurak dönemlerde pik değerleri tam olarak yakalayamamıştır. Model sonuçlarını iyileştirebilmek amacıyla haritalama yöntemi ile yapay sinir ağları yöntemini bir arada kullanarak tahminler yapmıştır. Bu şekilde özellikle med cezir dönemlerinde model performansını artırmayı başarmıştır.

Duan vd. (2007), Bayesiyen model ortalamasının kullanımı üzerine çalışmışlardır. Bu yöntemle diğer hidrolojik modellerden daha kararlı ve güvenli olasılıklı tahminler yapmışlardır. Bayesiyen modelini değerlendirmek ve test etmek amacıyla dokuz üyeli hidrolojik tahmin grupları oluşturmuşlardır. Bu gruplamalar üç bölgeye ait ana fonksiyonları kullanarak, üç farklı hidrolojik modelin kalibrasyonu sayesinde sağlanmıştır. Bu ana fonksiyonlar birim hidrografları belirli kalıplara uyduracak şekilde seçilmişlerdir. Bayesiyen model ortalamasıyla elde edilen tahminler tek başına denenen tahminlere göre ortalama karesel hataların karekökü ve ortalama bağıl hata bakımından daha uygun bulunmuştur.

Fırat ve Güngör (2008), Türkiye'nin batısında yer alan Büyük Menderes nehri için ANFIS metodunu kullanarak akıma ait zaman serilerini tahmin etmeye çalışmışlardır. 1985 ile 2000 yılları arasındaki periyoda ait 5844 adet günlük akım verisini kullanmışlardır. Modelleme esnasında farklı girdi çıktı yapıları araştırılmış ve en iyisi bulunmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte modelleme sırasında eğitim ve test veri setleri seçilirken cross validation method kullanılmıştır. En iyi model seçilirken yapay sinir ağları yöntemi ve geleneksel zaman serileri analizi de

yapılmıştır. En hassas ve doğru sonuçların ANFIS metodu ile elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kiş (2008), yapay dalgacık tekniğini kullanarak aylık akım miktarını tahmin etmeye çalışmıştır. Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Çanakdere nehri üzerindeki Gerdelli istasyonu ve Göksudere nehri üzerindeki İsaköy istasyonuna ait veriler için yapay dalgacık tekniği ile elde ettiği tahminlerin performansını çok tabakalı yapay sinir ağları metodu, çoklu regresyon metodu ve otoregresif modeller ile mukayese etmiştir. Önerilen modelin mevcut modellere göre daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür.

Nayak ve Sudheer (2008), Hindistan'da bulunan Narmada havzasındaki rezervuara giren akımları tahmin etmek için Tagaki Sugeno bulanık kural tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sırasıyla Gustafson-Kessel (GK) ve subtractive kümeleme (SC) olmak üzere en yaygın kullanıma sahip iki adet kümeleme yöntemini kullanmışlardır. GK yaklaşımının uzun öteleme zaman dilimleri için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Adarnowski (2008), yeni bir akım tahmin yöntemi olan dalga ve çapraz dalga analizlerini kullanmıştır. Dalga ve çapraz dalga analizi akım zaman serilerini ve meteorolojik zaman serilerini ayırtmaktadır ve 1, 2 ve 6 gün önceki akımları kullanarak sabit bileşenli dalga oluşturmaktadır. Geliştirilen dalga tahmin modeli çoklu lineer regresyon modeli, otoregresif hareketli ortalamalar yöntemi ve yapay sinir ağı yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Uygulama bölgesi olarak Kanada'da bulunan Ontario'da ki Rideau nehrinden alınan veriler kullanılmıştır. 1970 yılından 1997'ye kadar olan veriler modeli eğitmek için kullanılırken 1998'den 2001 yılına kadar olan veriler modeli test etmek amacıyla kullanılmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki, dalga tahmin yöntemi özellikle 1 ve 2 günlük akım ötelemelerinde oldukça hassas yaklaşımlar yapmaktadır. 1 günlük öteleme için en iyi model performansı gözlenmiştir ve ölçülmüş veriler ile model sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı 0.9753 olarak elde edilmiştir.

Makkeasorn vd. (2008), güney Teksas'da yarı kurak havzalarda bulunan yüzey akışını tahmin etmek amacıyla deniz suyu su yüzeyi sıcaklığını, alansal ve zamansal yağış dağılımını, yerel istasyonlardan elde edilen meteorolojik verileri ve tarihi akım verilerini kullanmışlardır. Genetik programlama ve yapay sinir ağları yöntemleri ile

modelleme yapmışlardır. Meteorolojik verilerin kullanılmasının tahminlerin doğruluğunu artırdığı görülmüştür.

1.2.3 Dalgacık dönüşümü (WAVELET) ile ilgili çalışmalar

Geçmiş çalışmalarda su kaynakları verilerinin en uyumlu kullanıldığı çalışmalardan birisi Lafreniere ve Sharp tarafından yapılmıştır (Lafreniere ve Sharp, 2003). Çalışmada Kanada'nın Alberta bölgesindeki Banff ulusal parkında bulunan bir gölü besleyen iki ayrı kaynak incelenmiştir. Bunlardan birisi Wapta bölgesindeki bir buzul alanında oluşan buzul alan, diğeri ise kar erimesi sonucu Bow nehrinin taşıdığı akımdır. Çalışmada bu iki akımın saatlik zaman serilerinin yanında, hava sıcaklığı ve yağış verileri kullanılmıştır. Kullanılan saatlik veriler yardımıyla göle olan beslemenin yıldan yıla ve dönemsel olarak nasıl değiştiği incelenmeye çalışılmıştır. Karşılaştırmalarda bu değişkenlerin dalgacık dönüşümleri kullanılmıştır. Kullanılan veriler 1997-2000 yılları arasındaki dört adet yaz dönemine ait (Haziran-Eylül) hava sıcaklığı ve alan verileri ve 1999-2000 yazlarına ait yağış ve akım verileridir. Verilerin elde edildiği dönem içinde, 1998 yılına denk gelen El-nino olayı da inceleme sırasında dikkate alınmıştır.

Bir çok çalışmada yağış verilerinin ölçek davranışları üzerinde durulmuştur. Bu gibi çalışmalarda temel sınırlama belirli bir olayın zamansal yersenim bilgilerinin yetersizliğidir. Bu durumda sürekli dalgacık dönüşümünün kullanılması yıllık veya mevsimsel olayların belirlenmesinde önem kazanır. Gaucherel genellikle 200 m' den düşük rakıma sahip ve neredeyse tamamı yağmur ormanları ile kaplı düz bir bölge olan Fransız Guyana' smdaki havzalar üzerinde çalışmıştır (Gaucherel, 2002). Bu çalışmada yılın belirli bir dönemine ait akım değişimlerinin gözlenmesinde dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Güney Amerika gibi geniş ve uzak bölgelerde veri toplama genellikle yetersizdir. Bu durumda havza çıkışı gibi uygun seçilmiş yerlerden veri toplama daha uygun ve ekonomik bir yoldur. Akım verilerinin havza ölçeğinde iklimsel değişimleri ve özel değişimleri ihtiva ettiği göz önünde bulundurularak, çalışmada 11 ayrı havzanın akım verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada havzaların birbirlerine göre periyodik farklılıklarının bulunup bulunmadığı test edilmeye çalışılmıştır. Fourier spektrumu ve otokorelasyon eğrileri kullanılarak periyodik olan ve olmayan davranışlar incelenmiştir. Fakat 11 havza içinde birbirine göre belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

Nehir akımları ile ilgili yapılan çalışmada Smith ve diğerleri ABD ve tropik adalardaki toplam 91 nehir akım ölçümünü dalgacık spektrumu analizi yardımıyla serilerin karakterlerini ortaya koyup sınıflandırmaya çalışmışlardır (Smith ve diğ., 1998). Global spektrumun şekli olayların zamanlamasını, değişkenliğini ve akarsuya su gelimi mekanizmasını ortaya çıkaran zaman-ölçek eksenlerindeki dağılım yardımıyla belirlenebilmektedir.

Su kaynakları sahası içine girebilecek bir başka çalışma da Labat ve diğ. tarafından karstik yapıya sahip bölgelerdeki yağış ve akış ilişkisinin ortaya çıkarılmasında kullanılmıştır (Labat ve diğ., 2000). Çalışmada Morlet dalgacığının kullanıldığı sürekli dalgacık dönüşümü ve çok çözünürlüklü analiz teknikleri uygulanmıştır. Çalışmada Fransa'daki iki ayrı bölgedeki (Pyrenees dağları, Ariège ve Larzac, Aveyron) saatlik ve günlük yağış ve akım serileri kullanılmıştır.

Dalgacık dönüşümünün YSA ile birlikte kullanımı konusunda da bazı çalışmalar yapılmıştır. Hidrolojide YSA ve Dalgacık tekniğinin birlikte kullanılması ile ilgili ilk çalışmalardan birisi Wang ve Ding (2003) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada YSA ve dalgacık analizinin kombinasyonundan oluşan yeni bir model önerilmiştir. Orijinal zaman serisi dalgacık dönüşüm tekniği ile alt-zaman serilerine ayrıştırılmış, bu serilerin orijinal seri hakkında detaylı bilgi verdiği ve her ayrılmış serinin farklı bir davranışı olduğu belirtilmiştir. Burada W_i detay, C_p ise yaklaşık serisidir. Daha sonra YSA modelinde bu ayrılmış seriler girdi olarak kullanılarak orijinal zaman serisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yani veriler kendi alt zaman serileri tarafından tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu araştırmacılar, bu yöntemi günlük akım tahmini ve yeraltı suyu seviyesinin tahmini olmak üzere iki ayrı uygulama ile denemişlerdir. Sonuçları ARMA modeli sonuçları ile kıyaslamışlar ve sonuçta ileri sürülen Dalgacık-YSA modelinin tatmin edici ve başarılı olduğunu bulmuşlardır.

Webster ve Hoyos (2004) çalışmalarında, Hindistan da Güney Asya muson yağmurlarının değişkenlik belirleyicileri olan bölgesel ve uzak sınır efektleri kullanarak bir kaç ay önceden mevsimsel ortalama yağışı tahmin etmeye çalışmışlardır. Güney Asya bölgelerinde 15-30 gün boyunca 5 günlük ortalama yağış değişkenliğini tahmin etmek için dalgacık-bantlama tekniği ve lineer regresyon kullanmıştır. Tarım ve su kaynakları yönetimi uygulamaları için bu tahminlerin fayda potansiyellerini ve yeni bir tür sayısal model gelişimi için rehber olarak ampirik düzeni kullanımı ile birlikte tartışılmaktadır.

Partal ve Kişi (2007) çalışmalarında, Dalgacık-Nöro-Bulanık Modellerini birlikte kullanarak yeni bir yağış tahmini yöntemi önerilmiştir. İki yöntem birlikte kullanılarak Türkiye'deki üç istasyonda gözlenen günlük yağış verileri ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak bazı alt-serisi ayrıştırılmış ve daha sonra uygun olan alt serileri günlük yağış tahmin için nöro-bulanık modelleri için girdi olarak kullanılmıştır. Sonuçlar klasik nöro-bulanık mantık modeli ile karşılaştırılmıştır. Dalgacık yöntemi ile birlikte kullanılan modelin klasik nöro-bulanık mantık modelinden önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Partal ve Cigizoglu (2008) çalışmasında, Dalgacık modeli ile Yapay Sinir Ağlarını kombine ederek nehirlerde askıda olan sedimen yükünü tahmin etmeye çalışmışlardır. Ölçülen veriler ayrık Dalgacık dönüşümü ile dalgacık bileşenlerine ayrılmış ve seçilen dalgacık bileşenlerinin toplamından oluşan yeni seri YSA modeline girdi olarak kullanılmıştır. Dalgacık-YSA modeli test süresi için gözlenen verilere iyi bir uyum sağlamıştır. Sonuçlar, geleneksel YSA ve sediment eğrisi (SRC) yöntemi ile mukayese edilmiştir. Dalgacık-YSA model ile elde edilen tahminler geleneksel YSA modeli ve SRC modellerine göre önemli ölçüde üstün olduğunu göstermiştir.

Özger (2010), ABD'nin batı kıyılarındaki şamandıralardan elde edilen dalga yüksekliği verilerini kullanarak belirgin dalga yüksekliği ile ortalama dalga yüksekliğini önceden tahmin etmek için Dalgacık-Bulanık Mantık modeli kullanılmıştır. Belirlenen aynı veriler kullanılarak Dalgacık-Bulanık Mantık (WFL) yöntemi, Bulanık Mantık (FL), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) karşılaştırılmıştır. Dalgacık-Bulanık Mantık (WFL) yöntemi her durumda performansının daha yüksek olduğu görülmüş olup üstünlüğü özellikle 48 saatlik tahminlerde çok belirginleşmiştir.

Özger vd. (2011), Teksas'da kuraklığı karakterize etmek için yağış, sıcaklık, toprak nemi ve önceki Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) verilerini kullanarak Dalgacık-Bulanık mantık modeli (WFL) geliştirmişlerdir. Sonuçlar geleneksel Bulanık Mantık modeli performansı ile karşılaştırılmış ve Dalgacık-Bulanık Mantık modelinin geleneksel Bulanık Mantık modelinden daha iyi performans göstermiştir.

Özger vd. (2012) çalışmalarında, El Nino_ Güneyli Salınımlar (ENSO) değişkenliği ve kuraklık özellikleri için Dalgacık-Bulanık Mantık (WFL) modelini uzun süreli

kuraklık tahmini için geliştirmişler. Çalışmanın sonuçları Yapay sinir ağı (YSA) modeli ve Dalgacık-YSA (WANN) modelleri ile karşılaştırılmış ve Dalgacık-Bulanık Mantık(WFL) modelinin kuraklık tahmini için daha doğru sonuçlar verdiği görölmüşür.

İncelenen literatür ışığında otoregresif modeller ve yapay zeka modellerinin tek başına kullanıldığı gibi bir arada kullanılması konusunda farklı hibrit modeller ile de çalışılmıştır. Debi tahmininin belirlenmesinde genel olarak stokastik modellerden yararlanıldığı ancak son zamanlarda hidrolojik problemlerin çözümünde hibrit modellerin daha hassas sonuçlar verdiği için tercih edildiği görölmektedir. Fakat literatürde Hibrit modeller ile uzun dönemli tahminler için çalışma yapılmadığı görölmüşür. Bu çalışmada Terkos Gölüne gelen debi tahmini için, otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağıları (YSA) ve dalgacık-YSA (WAVELET-YSA) yöntemleri ile aylık bazda sentetik diziler türetilmiş ve hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

2.1 Konumu

Terkos Gölü; Kemerburgaz'ın kuzeybatısında ve İstanbul'a 40 km uzaklıkta olup, 40' 19" kuzey ve 28' 32" doğu koordinatları arasında bulunan, lagün kökenli, az tuzlu bir göldür (Güner, 2006). 32 km².lik yüz ölçüme sahip olan göl, ortalama 12 km uzunluğunda ve 5 km enindedir. Gölün ortalama derinliği 3.4 metredir.

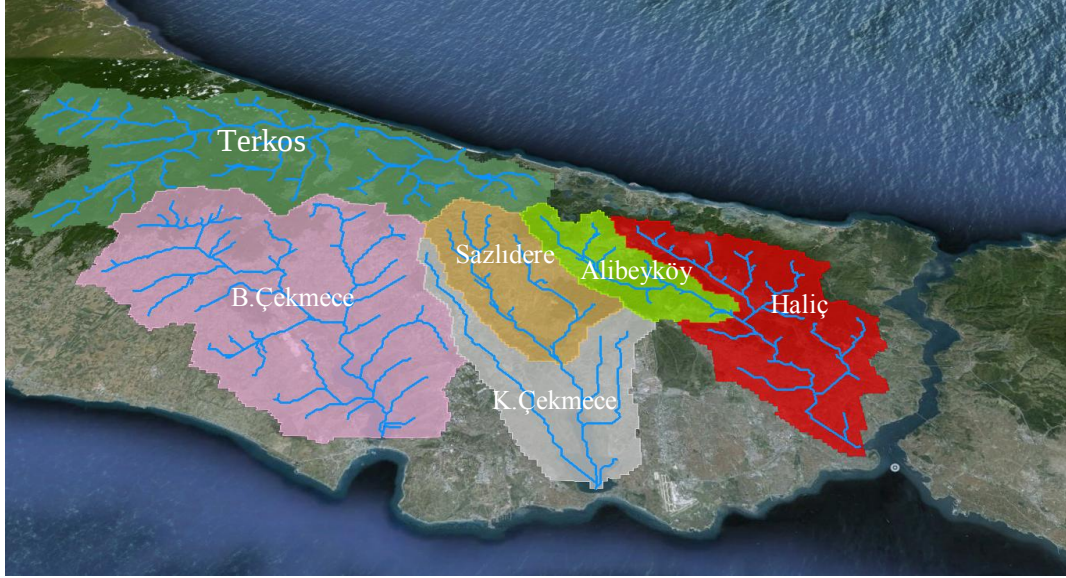
2.2 Terkos Barajı ve Havza Özellikleri

Gölün en derin yeri -5 metre olan doğal bir göl iken, 1883 yılında İstanbul'un içme suyu gereksiniminin karşılanması için Yıldız Deresi'nin gölün kenarından Karadeniz'e açılan ağzı bir regülatörle kapatılmasıyla gölün kotu + 3.25 metreye çıkarılmış böylece gölün derinliği 8.25 metre olmuştur. 1962 yılında regülatörün yenilenmesi ile göl kotu + 4.5 metreye çıkarılmış ve gölün derinliği 9.5 metre olmuştur (Özuluğ, 2003).



Şekil 2.1 : Terkos Barajı.

Genel olarak göl çevresinde az engebeli bir morfoloji görülmektedir. Terkos Baraj Gölü ile Karadeniz arasındaki kıyı çizgisi kısmen dik falezli, kısmen de plajlı bir kıyı tipi göstermektedir. Terkos Baraj Gölü'ne, çoğunlukla yaz mevsiminde kuruyan irili ufaklı pek çok dere karışmaktadır. Kış mevsiminde debisi artan bu dereler, birçok yan kol ile birbirine bağlantılıdır. (Tüfekçi ve diğ., 2006).



Şekil 2.2 : Terkos Gölü havzası.

Terkos Gölü kendisini besleyen dereler açısından zengindir. Havzadaki bütün yüzeysel akış ve dereler Göl'e boşalmaktadır. Bu noktalar Istranca isale hattı (Istranca'dan İSKİ tarafından yapılan isale hattı vasıtasıyla gelen sular), Kanlıyazma Deresi ve Yeniköy Deresi, Ustuluk Deresi, Çeko Deresi Kolları, Tayakadın Deresi, Sinanköprü Taşlıbayır Deresi, Malakçı Deresi, Kaptan Çayırı Deresi, Ana Dere, Derin Dere, Fitirgan Dere, Koca Dere, Sivas Köy Deresi, Eğrek Dere, Suluklu Dere ve Keçikerme Deresi Yolu, Kurt Deresi, Ayazma Dere, Karaca Köy Deresi, Istranca Deresi, Pınar Dere ve Belgrat Dere, Ceviz Dere, Sinir Dere, Karasu Deresi (ve 3 kolu), Balçık Dere, Çatalcakaya Dere, Şeytan Dere, Kaci Dere, Binkılıç Dere, Büyükdere, Molla Hüseyin Deresi, Karatina Deresi, Arı Dere, Tumba Dere, Mekan Dere, Kısa Dere, Çeşme Deresi, Kürk Dere, Ceviz Dere, Karamandıra Dere, Sukarışığı Dere, Mandıra Dere, Şeytan Dere, Istranca Dere, Dışbudaklık Deresi ve Dingil Dere, Kürek Dere, Gümüşparası Dere, Taşlıgeçit Deresi, Kuru Dere, Kütüklü Dere, Mürverçeşme Dere, Şişkafe Dere Kolları'dır.

Göl'ün toplam drenaj alanı 776 km² ve yüzey alanı ise yaklaşık olarak 32 km²' dir. Terkos Gölü ortalama 12 km uzunluğunda ve 5 km. enindedir. Göl' ün minimum aktif su seviyesi -2 metre, maksimum su seviyesi + 4.5 metredir.

Terkos gölüne su sağlamak maksadı ile Yıldız Dereleri isale hattı inşa edilerek Pabuçdere Barajı'ndan başlayarak Büyükdere Barajı'nda Istranca dereleri isale hattına birleştirilmiş ve Büyükdere Barajları'nda toplanan su Terkos Gölü'nün bir kolu olan Çavuşoğlu Deresi'ne aktarılmıştır. Göl'e güneyden gelen ve doğudan gelen dereler ise, kısa boylu ve debisi fazla olmayan derelerdir. Terkos Gölü'nün hidrolojik dengesindeki kayıplar barajdan taşan sular ve İstanbul'a aktarılan sulardır.

2.2.1 Istranca dereleri

Düzdere Barajı, Istranca Dereleri Projesi'nin ilk deresidir. Batı ve kuzeyinde Kuzuludere drenaj alanıyla çevrilidir. Düzdere havzası geçirimsiz Paleozoyik yaşlı şistler, gnaysler ve granitlerden oluşur. Değişik şistlerden oluşan birim oldukça sert topoğrafya verir. Yöre ormanlık olup, drenaj alanında yerleşim yeri dahi görülmez. Kretase birimleri üzerinden aktığı için dere yatağı dar ve dik yamaçlı vadi oluşturur. 10.23 km² drenaj alanına sahip Düzdere havzasında Kovankaya, Haşimpınarı, Pazarbaşı, Kaynık, Taşdelen dereleri vardır. Karadenize dar bir çıkışla boşalır. Barajın inşa edildiği zamanki teknoloji, drenaj alanının azlığı ve yağışın değişkenliği dikkate alınarak Düzdereden yıllık 4.5 milyon m³ suyun sağlanabileceği öngörülmüştür.

Istranca Dereleri Projesinin ikincisi olan Kuzuludere Barajının inşasına 18 Ağustos 1994 tarihinde başlanılmış ve 6 Ağustos 1995 tarihinde hizmete alınmıştır. Batısında Büyükdere, doğusunda ise Düzdere drenaj alanlarıyla çevrilidir. Değişik şistlerden oluşan birim oldukça sert topoğrafya verir. 33.50 km² drenaj alanına sahip Kuzuludere havzasında bulunan dereler Sulu, Sarp, Bileğitaşı (Aziz), Milas, Saklısu, Karlı, Küçükböğürtlen, Büyükböğürtlen, Makara, Davulyolu, Aziz, Çilingöz, Kaynaklar, Seremet, Çanakça, Muşmula, Karpıca, Motor, Seymen, Kaynak, Çavdar dır. Karadeniz'e dar bir çıkışla boşalır. Kuzuludereden yıllık 11.30 milyon m³ suyun sağlanabileceği öngörülmüştür.

Büyükdere Barajı Istranca Dereleri Projesinin 3. Deresi olan Çilingözdere üzerine inşa edilmiştir. Baraja 2 Temmuz 1995 tarihinde başlanılmış ve 19 Kasım 1995'te hizmete alınmıştır. Büyükdere Barajı alüvyon türü zemine oturduğundan suyun

tabandan kaçmaması için jet-grouting metodu uygulanarak 7678 m² geçirimsizlik perdesi oluşturulmuştur. Drenaj alanında pliyosen örtünün geliştiği alanlarda yamaç eğimleri azalmakta ve yerleşim yerleride görülmeye başlamaktadır 78.3 km² drenaj alanına sahip Büyükdere havzasında bulunan dereler Çomakçı, Üçpınar, Büyükerikli, Gümüş, 1.Kavaklı, Erikli, Demirci, Çiçek, Gürgen, 2.Kavaklı, Çanakçı, Aktaşlar, Aktaş, Çavdar, Küçükerikli'dir. Karadeniz'e dar bir çıkışla boşalır. Dere uzunluğu 22 km dir. Büyükdere den yıllık 28.4 milyon m³ su sağlanabileceği öngörülmüştür.

Elmalidere Istranca Derelerinin 4'üncüsü ve Yıldız Dereleri Projesinde ilk tesisidir. Temeli 21 Ekim 1995 tarihinde atılarak, 26 Nisan 1997 tarihinde hizmete alınmıştır. Elmalidere Regülatörü alüvyon türü bir zemine oturması sebebiyle zeminden su kaçmasının önlenmesi için jet-grouting uygulanarak beton perde oluşturulmuştur. Elmalı Dere, Sultanbahçe ve Büyük Dere arasında yer alır. Drenaj alanı 27.33 km² ve havzasında bulunan dereler Elmalı, Erikli, Yarımdağ, Küçük Elmalı, Dışbudakeğreği, Kurteğreği' dir. Yaşlı kristalen şist ve gnaysler birimleri üzerinde olduğu için vadi yamaçları sarpıdır. Vadi tabanında alüvyal düzlük görülmez. Drenaj alanında yerleşim yeri yoktur. En önemli yan deresi Erikli koludur. Dere 350 metre kotlarından doğar. Kasatura Körfezi yakınlarında Karadeniz'e dökülür. Regülatörün inşası esnasında yapılan hesaplamalara göre yıllık kullanılabilir debi 11.6 milyon m³ dür.

Sultanbahçedere, Istranca Derelerinin beşinci ve Yıldız Dereleri Projesinde ikinci tesisidir. Tesis beton gövdeli baraj, terfi merkezi, şalt binasından müteşekkil olup 1 Haziran 1997 tarihinde hizmete alınmıştır. Sultanbahçedere; Batıdan Kazandere, doğudan Elmalidere ve Büyükdere ile drenaj alanı sınırlanır. Bahçeköy güneyinden doğar. Genelde yaşlı birim üzerinde aktığından drenaj alanının eni dar olup, tabanında düzlük görülmez. Sadece Bahçeköy yerleşim yeri civarında genç Pliyosen birimler olduğu için bu alanda yersel düzlük oluşur. Yerleşim de bu nedenle burada gelişmiştir. Daha sonra Kretase birimleri üzerinden aktığı için dere yatağı dar ve dik yamaçlı vadi oluşturur. Drenaj alanı 50.78 km² ve havzasında bulunan dereler Eşek, Hamza, Bahçe, Sürgü yolu, Gürgen, Büyükhoca, Kayınlı, Asmalı, Kuru, Ağıl, Hafızın, Kulübetarla, Cehennem, Kayınlar, Küçük hoca, Yanıkkulübel, Dultarla'dır. Sultanbahçedere havzasında Karadeniz'e dar bir çıkışla boşalır. Dere uzunluğu 22 km dir. Sultanbahçe deresinden yıllık 19.4 milyon m³ su sağlanabileceği öngörülmüştür.

Yıldız Dereleri Projesi'nin 3'üncüsü ve Kazandere Barajı ve Terfi Tesislerinin temeli 30 Kasım 1996 tarihinde atılmış, 2 Ağustos 1997 tarihinde hizmete alınmıştır. Kazandere Barajı temelinin alüvyona oturması sebebiyle temelden su kaçmasının önlenmesi maksadı ile slurry-trench perdesi teşkil edilmiştir. Kazandere ile Pabuçdere arasında 4.5 metre çapında irtibat tüneli açmak suretiyle Kazandere'ye gelen feyezan (taşkın) suyunun, biriktirme hacminin müsait olması sebebiyle Pabuçdere Barajı rezervuarında toplanması sağlanmıştır. Pabuçdere Barajı yeri zemininin killi ve siltli, taşıma gücü zayıf olması sebebiyle ana kayaca kadar bu zemin tamamen kazılarak atılmıştır. Ayrıca suyun geçirimsizliği için kesişen beton kazık sistemi uygulanmış, kontak, konsolidasyon ve perde enjeksiyonu yapılmıştır. Pabuçdere Barajı, deprem ve sel baskınlarına karşı da yüksek mukavemette inşaa edilmiştir. İşletme aşamasında Pabuçdere ve Kazandere birlikte işletilmektedir. İkisinin kret kotu birbirine çok yakındır. İkiz baraj uygulaması vardır. Kazandere Barajı'nın çanak hacmi daha küçüktür. Bundan dolayı da Kazandere'ye gelen fazla su Pabuçdere rezervuarında biriktirilmektedir. Toplam çanak hacimleri 77 milyon m³ tür.

Kazan Deresi, Pabuç Deresi'nin doğusunda yer alır. Sergen yakınlarına kadar güneydoğuya akar. Sergen yakınlarında üzerinde aktığı yaşlı birimlerin jeolojik yapısına bağlı olarak doğu-kuzeydoğu yönüne döner. Bu kesimde dere Eosen birimleri üzerinden aktığı için birçok yan kollar oluşturur. Küçük yayla, Kömürköy ve Balkaya yerleşim yerlerinin yakınından geçer. Aksicim yakınlarında doğudan gelen Aksicim Deresi ile birleşir ve Karadeniz'e dökülür. Toplam 42 km uzunluğunda bir akarsudur. Mansaba yakın kesimde yatak eğiminin azalması nedeniyle, vadi tabanında 100-300 metre eninde alüvyal düzlükler oluşmaktadır. Drenaj alanı 327.44 km² ve havzasında bulunan dereler Kazandere, Lale Dere, Soğuksu Dere, Mandıraeğreği, Kotil, Çerkezeğreği, Arpatarla, Köserelik, Çayır, 1.Kiraz, 2.Kiraz, Erikli, Taromba, Helvabayır, 1.Soguksu, 2.Soguksu, Yakıbn (Yakup), Hacıhaşım, Dingil (Kuti), Pirentepe (Pirenli), Saklısu, Domuz, Kurugöl, Yenesuyu, Yurt, Gürgeankışla, Moloz, 1.Sulu, Yüksekkeğrek, 2.Sulu, Darıtarla, Gübre, Kesikkoru, Güvenli, Ayıdeliği, Beypınar, Kuru, İncekoru, Kalıncoru, Terzimağara, Kabalar, Eşek, Kalamir, Köprü, Kalemir (Kalem), Şakirinkeleme, Geyikalan (Keyikalan), Kuruçeşme, Köprü, Telefondireği, Kuyukaynaklar, Fındık, Çavdar, Aksu, Haşlama, Nalbantçeşme, Kayınpınar, Değirmen, Kazan, Ana, Yurt,

Kalem, Kuru, Sandıklar, Z.Derin, Çamaşır, Yaşarağanın, Sazlık, Sazlıkpınar, Yazkışla, Dingilli, Başgöl, Yalanlı, 1.Derin, Abduşunçeşme, Maksudun Pınarı, Sınır, Kömürcü, Gülgen Pınar, Nalhanlıpınar dır. Kazan Deresinden yıllık 100 milyon m³ su sağlababileceği öngörülmüştür.

Yıldız Dereleri Projesi'nin 4'üncü deresidir. Pabuçdere Barajı ve Terfi Tesislerinin temeli Şubat 1998 tarihinde atılmış, 30 Aralık 1998 tarihinde hizmete alınmıştır. Barajın oturduğu yerin siltli ince kumlu bir zemin olması sebebiyle temeli -20 metre kotundaki sağlam zemine oturtulmuştur. Barajın memba batardosunda slurry – trench ve ayrıca temelde ise enjeksiyon yapılmıştır. Pabuç Deresi, en batıda yer alan akarsudur. Drenaj alanında Paleozoyik yaşlı eski kütleler yer aldığı için önemli bir yan kolu yoktur. Vadi yamaçları da oldukça sarpıtır. Balaban deresinin kaynaklandığı sırtların doğu yamacında 700 metre kotlarından akışa geçer. Batı-güneybatıdan başlayan, eni 7-8 km olan kuş uçuşu 32 km uzunluğunda olan bir deredir. Havzasında bulunan dereler Kaldırım, Cevizli, 4.Geçit, Demetyolu, Taşpınar, Pabuç, Uskumru, Kepçe, Kışlacık, Balıkpınar, Sarıgeçit, Mağara, Fırinhendeği, Şişmanot, Kurt, Sazlı, Kavaklar, Kuru, Kocataş, Dedepınar, Acıçeşme, Baltacı, Koru, Kiremit, Kovantaşı, Kiremithane, Kuşkaya, Kokmuştarla, Arka, Gürgen, Karamanpınarı, Pendik, Çayır, Palamut, Karanlık, Kokmuşpınar, Kereviz, Tekkaya, Panayot. Yıldız dereleri projesinin yıllık 60 milyon m³ su sağlanabileceği öngörülmüştür. Şekil 2.3'de Terkos ve Istranca derelerinin havzaları gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Terkos ve Istranca havzaları.

2.2.2 Yağış

1995-2012 yılları arasında Terkos Barajına düşen en yüksek yağış miktarı 310.48 mm ile Eylül ayında görülmektedir. 1995 – 2012 yılları arasında Şile Meteoroloji İstasyonunda ölçülen yağış değerleri aşağıda Çizelge 2.1' de sayısal olarak verilmiştir.

1995-2012 yılları arası aylık toplam yağış verileri bulunan istasyonun 17 yıllık yağış ortalaması 797.19 mm/yıl'dır. 1995-2012 yılları arası aylık yağış ortalaması 66.43 mm/ay'dır. En az yağış Haziran-Temmuz aylarında olmaktadır. En fazla yağış ise Kasım ve Aralık aylarında olmaktadır. 1995-2012 yılları arasında en fazla yağış 310.48 mm/ay ile Eylül ayındadır.

Çizelge 2.1 : Terkos Gölü yıllık yağış miktarları (mm) (Şile Meteoroloji İstasyonu).

	Aylar												Yıllık	Yıllık
Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam	Ortalama
1995	173.76	26.40	62.52	26.24	14.42	8.18	89.67	43.39	58.22	19.28	59.70	29.30	611.08	50.92
1996	46.99	97.32	63.60	42.83	26.00	7.30	2.95	14.80	48.93	75.04	36.27	132.73	594.76	49.56
1997	23.88	66.46	46.07	92.72	15.35	25.63	46.16	103.09	11.78	164.10	26.58	166.77	788.59	65.72
1998	21.94	66.29	137.84	51.61	75.79	12.45	21.78	0.00	61.57	98.58	119.28	117.19	784.32	65.36
1999	49.39	119.38	67.37	11.07	16.90	42.42	34.63	42.61	56.94	28.88	106.75	117.67	694.01	57.83
2000	72.59	68.09	57.45	60.08	61.23	17.13	36.95	9.15	91.21	107.28	5.46	47.30	633.92	52.83
2001	92.60	71.20	44.00	48.05	20.40	23.80	0.00	6.80	59.12	19.20	161.40	254.20	800.77	66.73
2002	8.10	24.30	56.60	42.10	9.30	9.20	41.90	35.41	184.28	64.60	93.00	83.78	652.57	54.38
2003	160.80	108.30	50.60	79.00	0.00	0.00	2.20	0.00	65.30	213.95	137.02	105.10	922.27	76.86
2004	166.46	50.02	123.96	20.60	58.20	143.80	7.20	49.70	12.00	102.20	39.70	90.70	864.54	72.05
2005	109.70	82.60	80.70	13.60	74.25	11.90	55.10	36.90	86.80	86.30	138.00	189.80	965.65	80.47
2006	105.80	97.50	121.25	19.10	4.00	51.20	6.70	21.60	129.70	145.70	91.00	44.50	838.05	69.84
2007	25.50	41.40	40.68	6.20	59.95	15.20	1.50	15.50	34.10	93.60	233.75	106.20	673.58	56.13
2008	37.90	59.80	64.20	11.00	2.20	4.40	20.30	3.90	118.80	64.00	78.09	102.00	566.59	47.22
2009	125.20	182.00	152.67	66.20	20.73	1.71	5.92	40.11	310.48	187.87	88.80	172.44	1354.13	112.84
2010	138.40	110.35	87.21	34.24	6.80	52.76	66.95	4.49	47.23	242.40	51.87	134.17	976.87	81.41
2011	105.49	50.17	38.41	99.75	18.48	12.91	20.29	26.58	13.33	253.39	23.98	120.82	783.60	65.30
2012	68.15	101.24	47.74	94.54	39.01	6.26	23.52	38.75	34.11	143.31	73.44	173.97	844.04	70.34

Terkos Gölünde ölçülen son yirmibeş yıllık minimum ve maksimum yağış değerleri aşağıda Çizelge 2.2' de mm olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Son 25 yıllık minimum ve maksimum yağış değerleri (mm).

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
Minimum	8.10	9.60	32.90	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	5.46	29.30	93.76
Maksimum	173.76	182.00	152.67	116.40	102.60	143.80	220.10	103.09	310.48	253.39	251.00	254.20	2263.49

2.2.3 Sıcaklık (su sıcaklığı)

Terkos Gölü'nde su sıcaklığının zamana ve ölçüm noktalarına bağlı değişiminde mevsim şartlarının doğrudan etken olduğu anlaşılmıştır. Su sıcaklığı ölçüm noktalarının tamamında atmosferik şartlara bağlı olarak homojen dağılım göstermiştir. Göl suyunda ölçülen en düşük su sıcaklığı değeri Şubat 2005 tarihinde 7.5 metre derinlikte 4.4 °C olarak ve en yüksek sıcaklık değeri Ağustos 2005 tarihinde 0.5 metre derinlikte 26.8 °C olarak ölçülmüştür. Çalışma süresinin tamamına ait ortalama su sıcaklığı 14.5 + 7.3 °C olarak hesaplanmıştır. Su derinliğinin az ve su yüzey alanının geniş oluşu nedeniyle, atmosferik şartlardaki değişimler su kütlesi üzerinde etkili olmuştur. Bu durum mevsimler arasında gözlenen sıcaklık değişimiyle doğru orantılıdır. Tüm istasyonlarda yüzey ve dip arasında su sıcaklığının homojen dağıldığı ve özellikle yaz mevsimini temsil eden aylarda bile su sıcaklığında tabakalaşma olmadığı gözlenmiştir (Özçalkap 2007).

2.2.4 Sıcaklık

1970 – 2011 yılları Florya Meteoroloji İstasyonu Gözlem kayıtlarına göre en yüksek sıcaklık 38.5 °C ile Ağustos ayında, en düşük sıcaklık ise -10.0 °C ile Şubat ayında görülmektedir. 1970 – 2011 yılları Kumköy Meteoroloji İstasyonu Gözlem kayıtlarına göre en yüksek sıcaklık 41.4 °C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise -10.4 °C ile Şubat ayında görülmektedir.

2.2.5 Buharlaşma

Terkos Gölünde Kasım ve Mart ayları arasında buharlaşma görülmezken, Nisan ve Ekim ayları arasında görülmektedir. Terkos Gölünde en yüksek aylık buharlaşma değeri Temmuz ayında 229.07 mm olarak ölçülmüştür. Terkos Gölünün net buharlaşma miktarı belirlemek için bölgede buharlaşma rasatları yapan, Terkos (DMİ) meteoroloji istasyonu buharlaşma ve yağış değerleri kullanılarak göl yüzü buharlaşması için pan (tava) katsayısı 0.70 olarak dikkate alınmış ve göl yüzü buharlaşma değerleri hesaplanmıştır. Göl yüzü aylık buharlaşma değerlerinden Terkos aylık ortalama yağışlarının çıkarılması ile yıllık net buharlaşma miktarı 295.5 mm/yıl bulunmuştur.

Terkos Gölünün aylık ortalama net buharlaşma değerleri gölün amaçlanan seviyelerdeki yüzey alanları ile çarpılarak söz konusu göle ait buharlaşma kayıpları m^3 cinsinden yıllık ortalama 6.37 milyon m^3 olarak bulunmuştur.

2.2.6 Sızma

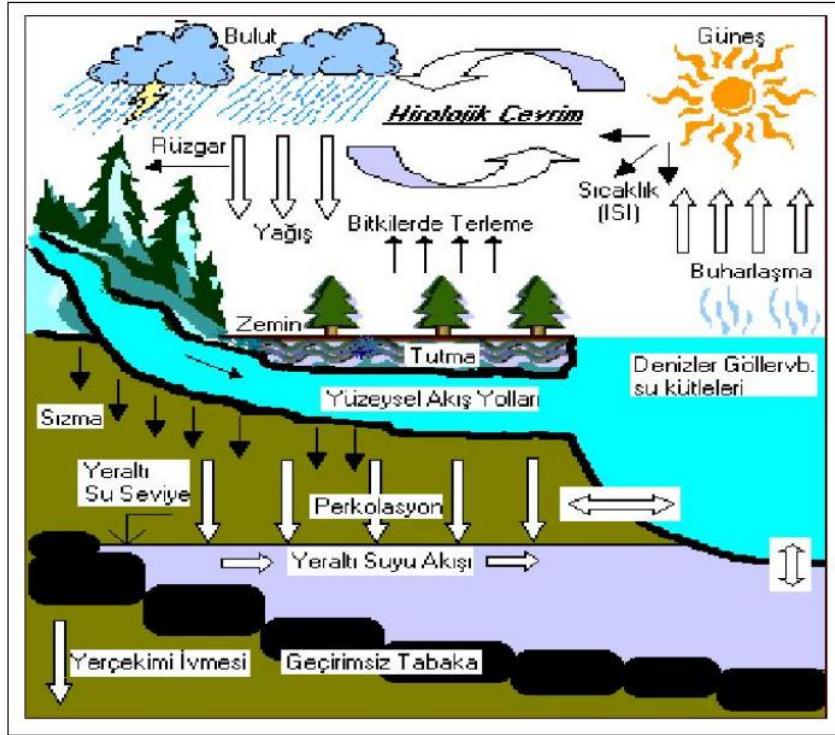
Terkos Gölü'nün Karadenize en yakın olan kesimi olan Çakıl İskelesi bölgesinde genel olarak ince kum ve killi kumdan oluşmuştur. Bu kesimde, hızlı bir kıyı oyulması meydana gelmiştir. Bu oyulmalar sonucu, göl ve deniz arasında kalan kısmın genişliği giderek azalmış ve dolayısıyla gölden denize doğru sızmalar çoğalması ve borulama olması ve hatta göl ve deniz arasındaki kesimde şev kaymaları meydana gelme tehlikesi baş göstermektedir (Ağırlioğlu vd. 1987).

Genel olarak bölgede belirlenen en büyük permeabilite katsayısı 4×10^{-2} cm/sn dir. Tabakaların üst kısımlarında permeabilite katsayısı 2×10^{-2} cm/sn den azdır (Ağırlioğlu vd. 1987).

2.3 Hidrolojik Çevrim

Su doğada çeşitli yerlerde ve çeşitli hallerde (sıvı, katı, gaz) bulunmakta ve yer küresinin çeşitli kısımları arasında durmadan dönüp durmaktadır. Suyun doğada dönüp durduğu yolların tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrimi gözden geçirmeye herhangi bir noktasından başlayabiliriz. Atmosferden başlayacak olursak, atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen suyun büyük bir kısmı (%60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alı konur (tutma), bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma). Geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve onlar yoluyla denizlere veya göllere ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yer altı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılarak göllere veya denizlere ulaşır.

Denizlere veya göllere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Görüldüğü gibi su katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve çeşitli yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Yerküresinin iklim sistemi ile yakından ilişkili olan hidrolojik çevrim günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir.



Şekil 2.4 : Hidrolojik çevrim.

2.4 Doğal Çevre Özellikleri

2.4.1 İklim yapısı

Topoğrafyanın ve yakınındaki su kaynaklarının, iklim şartlarını doğrudan etkilediği Terkos Gölü çevresinde, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında, bir geçiş iklimi ve bunun yanı sıra karasal iklim özellikleri görülmektedir.

2.4.2 Topoğrafik yapısı

Terkos Gölü çevresinde yeraltı suyu taşıyan başlıca birimler, Eosen yaşlı Kırklareli, Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu, Pliyosen yaşlı Belgrad Formasyonu, alüvyonlar ve kumullardır (Baki 1997). Terkos Havzasını sınırlayan su bölümündeki kayaların genellikle geçirimsiz veya az geçirimli olmaları, komşu havzalarla su alışverişini önlemektedir. Karadeniz ile Göl arasındaki kumulların bazı kesimlerde geniş olması ve kumulların tabanındaki jeolojik formasyon nedeniyle, Göl'den Karadeniz'e su kaçağı olmayacağı sonucuna varılmıştır (Bargu ve ark. 1995).

2.4.4 Jeolojik yapısı

Terkos Gölü çevresinde temeli, Paleozoyik ve Mesozoyik dönemlere ait metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Metamorfik temel kayaları üzerinde çeşitli dönemlere ait örtü kayaları, bunların üstünde genç çökeller ve daha üstte ise Ergene grubu bulunmaktadır. Terkos Gölü çevresinde, Göl'e dökülen derelerin tabanında sınırlı alanlar Kuvaterner-Güncel, alüvyonlarla kaplıdır (Akşiyar ve ark. 1990, Bargon ve ark. 1995).

2.4.5 Jeomorfolojik yapısı

Terkos Gölü'nün oluşum süreci, Flandriyen Transgresyonu ile yükselen Karadeniz sularının karaya doğru ilerleyip bir koy meydana getirmesiyle başlamıştır. Koy zaman içinde kıyı seti ile denizin bağlantısının kesilmesiyle göle dönüşmüştür. Ayrıca, Karadeniz kıyısına paralel uzanan Istanca Deresi'nin ağız kesiminin alüvyon bir setle kapanması da Göl'ün oluşum sürecine katkıda bulunmuştur. Oluşumu itibarıyla Terkos Gölü, kıyı set gölü; lagündür. Göl, Karadeniz'den genişliği 250 metre - 5 km arasında değişen ve ortalama genişliği 2 km olan kum tepeleri ile ayrılmıştır. Alanın kuzeyinde yer alan ve Terkos Gölü ile Karadeniz arasında kalan Terkos Kumulları, İstanbul Boğazı'nın 25 km batısından başlayıp Karadeniz kıyısı boyunca 30 km.lik bir sahaya yayılmaktadır (Köken 1991, Aygün 1994).

2.4.6 Topoğrafik yapısı

Terkos Gölü, 100-150 metre yüksekliğinde tepelik bir alanın kenarında, Karadeniz sahil çizgisine paralel uzanmaktadır. Göl çevresinde dalgalı düzlükler ve batıya doğru yükseklikleri giderek artan yüksek eğimli tepeler bulunmaktadır. Genel olarak Göl çevresinde az engebeli bir morfoloji görülmektedir (Akşiyar ve ark. 1990, Çetiner ve ark. 1995).

Terkos Gölü ile Karadeniz arasındaki kıyı çizgisi kısmen dik falezli, kısmen de plajlı bir kıyı tipi göstermektedir. Göl ve çevresindeki yükseltilerde eğim, %0-3, batıya doğru gidildikçe ise % 3-15 arasında değişmektedir ve alanın kuzeybatısında % 15-25 arasında olduğu yükseltiler mevcuttur. Göl çevresindeki toprakları oluşturan ana materyallere bakıldığında erozyona eğimli bir yapı görülmektedir (Eruz ve ark. 1995).

2.4.7 Toprak yapısı

Terkos Gölü yakın çevresinde altı büyük toprak grubu saptanmıştır. Göl'ün batı kesiminde ve Göl'e su taşıyan doğu ve güneyden gelen dere kenarlarında, toplam arazinin % 10'unu kaplayan, alüvyal topraklar bulunmaktadır. Göl'ün batı ucunda, hidromorfik alüvyal topraklar bulunmaktadır. Doğusunda ve kuzeybatısında ise geniş bir alana yayılmış kıyıya kadar uzanan kireçsiz kahverengi orman toprakları ve kahverengi orman toprakları yer almaktadır. Göl'ün genellikle batı ve kuzeybatısında kırmızımsı sarı podzolik topraklar bulunmaktadır. Göl çevresinin güney ve doğusunda, toplam arazinin % 45'ini oluşturan Rendzinalar yer almaktadır. Göl'ün güneybatısında çok küçük bir alanda Vertisoller dikkati çekmektedir (Akşiy ve ark. 1990).

2.4.8 Bitki örtüsü

Göl ve yakın çevresinde üç ana bitki tipi görülür. Bu bitki tipleri; Göl ile Karadeniz arasında yer alan kumul bitkisi, Göl içi, Göl kıyısı ve derelerin Göl'e birleştiği yerlerdeki ıslak alan vejetasyonu ve içlerinde yer yer baltalık orman ağaçlarının bulunduğu maki vejetasyonudur (Byfield ve Özhatay 1993).

İstanbul Kenti yakınında bulunan en büyük ve önemli kumul sistemini temsil eden Terkos Kumulları, çok sayıda dar yayılışlı ve bölge için endemik olan türleri içermesi nedeniyle, uluslararası önem kazanmaktadır. Bu kumullarda Bern Sözleşmesi kapsamında yer alan ve tehlike altında olan türler bulunmaktadır. *Alyssum stribrnyi*, *Cionura erecta*, *Cyperus capitatus*, *Festuca sp.*, *Jurinea kilaea*, *Isatis arenaria* ve *Peucedanum obtusifolium* gibi türler Terkos kumullarının karakteristik türleri arasında sayılabilir (Byfield ve Özhatay 1993).

Terkos Gölü'nün coğrafi olarak Avrupa ve Anadolu floraları arasında bulunması, lokal ve nadir bitki türleri içeren son derece zengin bir ıslak alan vejetasyonunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Göl'ün sığ sularında ve Göl kıyısındaki bataklıklarda 50'yi aşkın ıslak alan bitkisi saptanmıştır. Bunlar arasında *Stratioses aloides* ve *Vallisneria spiralis* gibi türler, Türkiye'de çok dar bir alanda yayılış gösteren bitkilerdir. Göl kenarının büyük bölümünde ve Göl'e su temin eden ana su kaynağının kollarına ait vadilerde ağırlıklı olarak, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* ve *Typha sp.* gibi topluluklar gelişmiştir (Byfield ve Özhatay 1993).

Göl'ün kara tarafında, yaklaşık 100 metreye kadar yükselen komşu tepeler çoğunlukla yarı doğal çayırliklar, baltalık orman ve çalılık/orman bitki topluluğu ile kaplıdır (Byfield ve Özhatay 1993). Alandaki fundalık ve çalılık bitki topluluklarında ağırlıklı olarak, Karadeniz'e özgü (Euxine) fundalıkların, İstanbul civarında rastlanan karakteristik özelliklerini oluşturan Erica arborea, E. manipuliflora, Arbutus unedo, Philyrea media gibi türler bulunmaktadır (Byfield ve Özhatay 1993).

2.5 Terkos Gölü Tarihçesi

Sultan Abdülaziz, Avrupa seyahati sırasında doğal filtrasyonla şehre su verildiğini görmüş ve aynı şekilde İstanbul'da şehre 40 Km. uzaklıkta bulunan Terkos Gölü'nden şehre su getirilebileceğini düşünmüştür. 1874'de bir yabancı şirketin temsilcileri mühendis Terno ve Hariciye Teşrifatçısı Kamil Bey adına 40 yıllık bir imtiyaz verilmiştir. Yapılan sözleşmeye göre, Terkos Gölü'nden alınacak suyun Beyoğlu, Galata ve Halic'in batı sahiline ve Boğaziçi'nin Rumeli yakasına İsale hattıyla ulaştırılması; hastane, kışla mektep ve belli yerlerdeki 12 çeşmeye günün belli saatlerinde ücretsiz su verilmesi karşılığında geri kalan suyun şirket tarafından, tesisat kurularak halka satılması kabul edilmiş; böylece evlere bağlanan ilk şehir suyu ve su aboneleri başlamıştır, Halk arasında Terkos Şirketi diye anılan ve asıl Dersaadet Anonim Su Şirketi olan su şirketi 1882'de bir Fransız şirketinin temsilcisi olan Karabet Sivacıyan'a devredilmiştir.

Terkos Gölü pompa istasyonu, 1883-1885 yılları arasında altı adet pompa ile devreye alınmıştır. Ülkemizin ilk pompa istasyonunu oluşturan buharlı pompalar üç grup halindedir. Her grup 100 Hp gücünde ve günde İstanbul'a 11,000 m³ su basma kapasitededir. Bu pompalar aynı zamanda Titanic gemisindeki pompaların bir benzeridir. İlk dönemde enerji kaynağı Zonguldak'taki kömür ocaklarından elde edilen yüksek kalorili taş kömürüdür. 1951'de Silahtar-Terkos havai elektrik hattı inşaa edilmiş ve pompalar elektrik enerjisi ile çalıştırılmıştır.

Cumhuriyetin ilanı ile Dersaadet Anonim Su Şirketi satın alınarak faaliyetlerini İstanbul Sular İdaresine devretmiştir. 1981 yılında İstanbul Sular İdaresi ve Mecralar Müdürlüğü birleştirilmiş ve İSKİ adında yeni bir genel müdürlük kurulmuştur.

2.6 İstanbul İçin Önemi

İstanbulun nüfüsü yakın zamanda hızla artarak 13 milyona ulaşmıştır. Dünyanın karşı karşıya kaldığı ve etkisini gittikçe daha belirgin bir şekilde hissettirmeye başlayan küresel ısınma gerçeği, küresel ölçekte yaşanan kuraklık bütün dünyada olduğu gibi ülkemizi ve İstanbul'u da olumsuz etkilemektedir.

Günümüzde su kaynakları ve ilişkide oldukları doğal çevrenin geleceği tehlike altında olduğu kabul edilen İstanbul, gerek hızlı nüfus artışı gerekse su kaynaklarına ilişkin sorunları en belirgin biçimde yaşıyor olması nedeniyle, bu çerçevede ele alınması gereken öncelikli kentlerden biri durumundadır.

Geçmişte su kaynakları açısından “zengin” bir ülke konumunda olan Türkiye, günümüzde su kaynakları ve ilişkide oldukları doğal çevrenin geleceği tehlike altında olduğu kabul edilmektedir. İstanbul ise, gerek hızlı nüfus artışı gerekse su kaynaklarına ilişkin sorunları en belirgin biçimde yaşıyor olması nedeniyle, bu çerçevede ele alınması gereken öncelikli kentlerden biri durumundadır. Bu bağlamda İstanbul Kenti’ nin, altı büyük su kaynağından biri olan, Kent’in Avrupa yakasının su ihtiyacını 1800’lü yıllardan beri karşılayan ve metropolitan alan sınırları dışında yer alan Terkos Gölü;

- İstanbul Kenti’ nin en temiz su kaynağı olması,
- İstanbul Kenti’ nin yaşam destek sistemlerinden olan, doğal ve doğala yakın önemli alanlardan biri olması,
- coğrafi konumu itibarıyla çok çeşitli ekolojik özelliklere sahip olması,
- doğal Terkos Gölü; 142 milyon m³/yıl su tutma kapasitesi ve sahip olduğu su kalitesi açısından İstanbul için oldukça önemli bir içme ve kullanma suyu kaynağı olması.

Terkos Baraj Gölü ve çevresindeki ormanlık alan ve kıyı şeridi (orman, fundalık, sulak alan, kumul ve kayalık alanları) özellikle tatlısu ve kumul ekosistemi açısından uluslararası önemi olan bitki alanlarımızdan biridir. İstanbul kumul ve su florası niteliği taşıyan bölge zengin florası, küresel ve ülkesel ölçekte nadir bitki türlerine sahip olmasından dolayı uluslararası sözleşmeler ile koruma altına alınmıştır.

Bölge aynı zamanda Karadeniz Bölgesi’ndeki en geniş kumul sahası olup, Terkos Baraj Gölü’nü doldurmaması için Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel

Müdürlüğü tarafından 2102 hektarlık alan İstanbul-Çatalca Terkos Durusu Kumulu Projesi ile ağaçlandırılmıştır (Tüfekçi ve diğ., 2006). Terkos Baraj Gölü kenarında ve su kaynaklarında son derece nadir bitki türleri ve yaşam alanları mevcuttur. Alan aynı zamanda; Bern Sözleşmesi kapsamında kuşlar için; göç, üreme ve yaşam alanı olup, göl alanı hem yaban hayatı açısından, hem de amfibiler açısından önemli habitata sahiptir.

Coğrafi olarak geçiş bölgesinde olması, Terkos Gölü ve çevresinin fauna açısından da zenginlik göstermesine neden olmaktadır. Göl çevresinde halen *Sus scrofa scrofa*, *Canis aureus*, *Canis lupus*, *Felis silvestris*, *Meles meles*, *Lutra lutra* ve *Capreolus capreolus*'a rastlanmaktadır. Alanda varlığı tespit edilen *Lutra lutra* ve *Canis aureus*, Bern Sözleşmesi Ek Liste II'de yer alan ve uluslararası ölçekte koruma altında olan türlerdendir. Terkos Gölü ve yakın çevresi, yırtıcı kuşların, leyleklerin ve binlerce kuşun yılda iki kez geçtiği ve bazılarının da durup beslendiği, yeryüzündeki ana göç yollarından biri olan ve İstanbul Boğazı üzerinden geçen önemli kuş yolları üzerinde bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda Terkos Gölü ve çevresinin, 16'sı alanda üreyen, 140 kuş türüne ev sahipliği yaptığı saptanmıştır. Bu türlerden 57'si Avrupa Ölçeğinde Uluslararası Öncelikli Kuş Türleri Listesi'nde yer almaktadır. Göl ve çevresinde yaşamını sürdüren 86 kuş türü de, Bern Sözleşmesi Ek Liste II' de yer almaktadır (Yalçın ve ark. 2002).

3. VERİ ve YÖNTEM

Çalışmada, İSKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki veriler kullanılarak; otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağları (YSA) ve Dalgacık YSA yöntemleri ile aylık bazda sentetik diziler türetilmiş ve hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada 1995-2012 yılları arasında Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki debiler veri olarak kullanılmıştır. Yöntem kısmında ise modelleme sırasında kullanılacak zaman serisi modelleri, yapay sinir ağları ve Dalgacık-YSA bulanık çıkarım sistemleri ile ilgili teorik bilgiler sunulmuştur.

3.1 Veri

Çalışmada 1995-2012 yılları arasında Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki debiler veri olarak kullanılmıştır. Terkos Barajına yağışlarla gelen debi miktarları m^3/ay olarak Şekil 3.1'de ve Çizelge 3.1'de; aylık ortalama debilerin temel istatistiksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki debiler ile Terkos havzasına ait bilgiler İSKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Terkos Gölüne gelen sular, yağışlar ve Istranca isale hattı vasıtası ile göle gelen sulardır. Bu çalışmada kullanılan veriler göl kot-hacim-alan tablolarından tespit edilmiştir. Yani okuma yapılan gündeki kota karşılık gelen göl haciminden, bir sonraki günde okunan kota karşılık gelen göl hacimi ile Istranca'dan o günde Terkos göle aktarılan su miktarının çıkarılması sonucu bir günde göle gelen su miktarı elde edilmiş olur. Günlük miktarların toplanması sonucu aylık debiler elde edilmiştir. Elde edilen bu debiler Çizelge 3.1'de m^3/ay olarak verilmiştir.

Terkos Gölüne yağışlar dışında, İSKİ tarafından Istranca derelerinden su aktarılmaktadır. Bu aktarılan su miktarları Çizelge 3.3'de m^3/ay olarak verilmiştir. Bu aktarılan sular doğal yollar ile Terkos Gölüne gelmediği için bu çalışmada dikkate

alınmamıştır. Çalışmada 1995-2012 yılları arasında Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki debiler veri olarak kullanılmıştır.

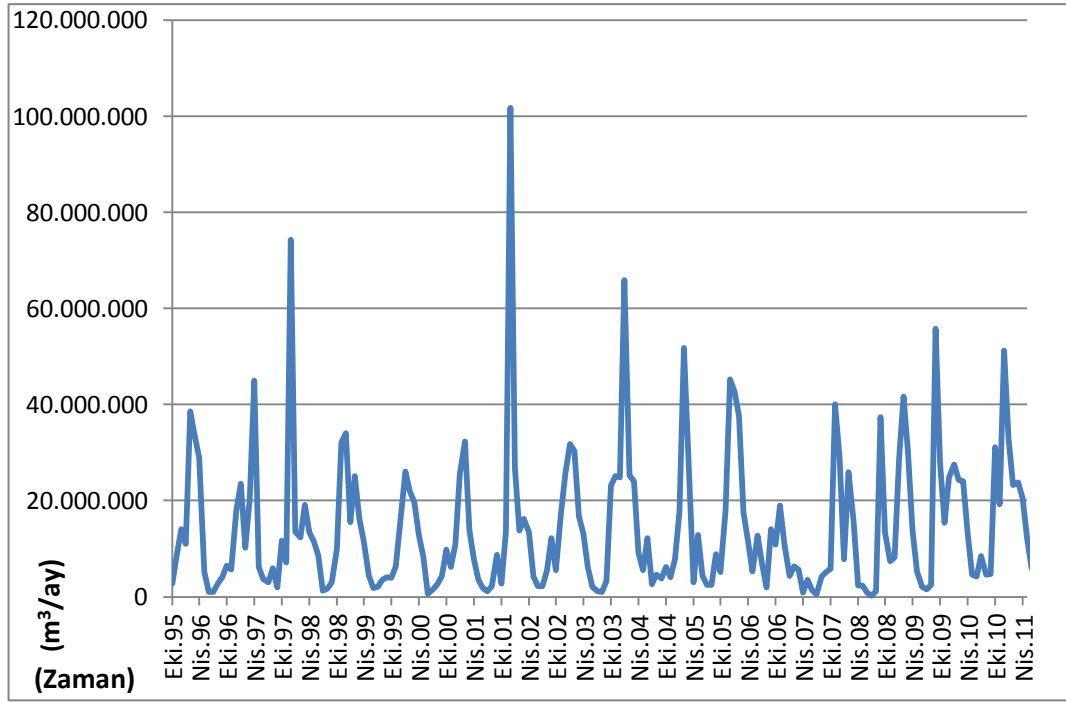
Çizelge 3.1 : Terkos Gölüne yağışlarla gelen aylık bazdaki debi miktarları (m³/ay).

AYLAR /YILLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1995	91,283,447	16,617,003	12,938,087	10,529,671	1,836,818	1,702,406	3,882,047	1,500,694	3,419,001	2,747,461	8,698,677	14,095,940
1996	11,048,340	38,642,309	33,481,904	28,852,900	5,164,004	974,660	961,629	2,705,588	4,035,210	6,478,036	5,720,355	18,056,450
1997	23,577,284	10,147,249	20,567,961	44,975,635	6,210,516	3,622,813	2,962,509	5,907,246	1,978,932	11,718,485	7,155,371	74,316,223
1998	13,547,760	12,325,660	19,124,305	13,367,604	11,521,670	8,633,355	1,320,078	1,637,021	2,992,547	9,898,312	32,014,952	34,089,260
1999	15,534,209	25,062,309	16,287,105	11,588,797	4,291,627	1,757,404	2,059,066	3,546,227	4,062,619	3,974,396	6,280,473	16,875,313
2000	25,992,291	21,952,456	19,632,263	12,859,954	8,281,579	641,510	1,559,566	2,595,325	4,291,756	9,759,420	6,174,563	10,928,814
2001	25,513,081	32,376,627	13,806,922	7,750,278	3,598,402	1,802,704	1,104,209	2,266,458	8,787,642	2,718,717	13,545,790	101,690,155
2002	26,825,764	13,830,383	16,214,212	13,377,247	4,174,957	2,204,084	2,217,085	5,408,426	12,161,381	5,508,921	17,410,789	25,744,693
2003	31,718,983	30,362,657	16,742,871	13,183,739	6,077,407	2,112,244	1,136,598	1,046,598	3,308,671	23,155,613	25,141,763	24,788,620
2004	65,940,628	25,282,303	24,004,873	9,104,081	5,499,153	12,160,409	2,570,488	4,631,958	3,744,474	6,167,678	4,087,412	7,747,982
2005	17,623,654	51,809,845	29,045,371	2,951,623	12,897,560	4,341,567	2,487,938	2,414,972	8,808,153	5,198,805	17,889,523	45,197,125
2006	42,667,387	37,700,349	17,498,449	11,670,248	5,260,880	12,726,924	6,801,552	1,989,876	14,090,814	10,892,889	18,976,412	10,912,338
2007	4,375,726	6,389,738	5,626,696	922,897	3,489,804	1,453,940	462,256	4,261,449	5,128,823	5,829,709	39,994,369	29,135,860
2008	7,786,855	25,954,119	15,613,508	2,287,154	2,387,776	917,959	226,086	1,202,129	37,367,216	13,391,973	7,464,002	8,179,724
2009	28,675,713	41,670,528	29,951,521	13,858,713	5,267,730	2,012,040	1,595,912	2,474,176	55,777,853	27,788,654	15,390,401	24,913,131
2010	27,549,001	24,367,861	24,004,148	13,390,891	4,647,672	4,174,263	8,452,262	4,547,510	4,700,200	31,150,785	19,283,205	51,210,572
2011	32,868,018	23,249,846	23,815,262	20,503,436	12,124,643	5,977,361	4,895,471	3,358,317	3,674,165	29,407,884	7,511,645	30,033,314

Çizelge 3.2 : Terkos Gölüne yağışlarla gelen suların temel istatistiksel özellikleri.

Terkos Gölüne yağışlarla gelen suların temel istatistiksel özellikleri (1995-2012)	
Ortalama (μ) (m ³ /ay)	14,387,364
Standart Sapma (σ) (m ³ /ay)	15,398,984
Maksimum Değer ($x_{\max}$) (m ³ /ay)	101,690,155
Minimum Değer ($x_{\min}$) (m ³ /ay)	462,256
Değişkenlik Katsayısı (C_v)	1.0703
Çarpıklık Katsayısı (C_s)	2.3961
Sivrilik Katsayısı (C_k)	8.3613

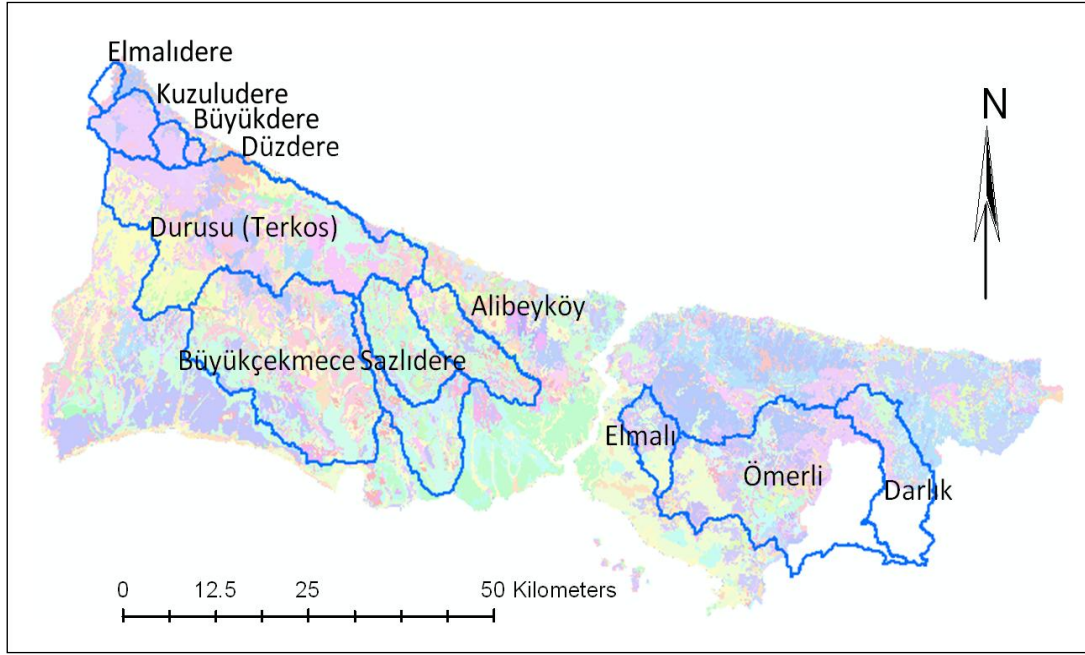
Çizelge 3.2 'de çarpıklık katsayısının 2.3961 olduğu görülmektedir. Bu da serinin normal dağılımda olmadığını gösterir. Seriyi normal dağılıma çevirmek için Logaritmik dönüşüm uygulanmış ve seri normal dağılıma çevrilmiştir.



Şekil 3.1 : Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık su miktarları (m³/ay).

Çizelge 3.3 : Istranca derelerinden Terkos Barajına aktarılan su miktarları (m³/ay).

YILLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	4,703,470	3,307,667	5,838,797	4,984,949	4,282,446	1,686,096	0	0	0	0	0	1,565,567	26,368,992
1997	4,478,649	3,335,764	3,691,365	5,859,577	4,412,692	1,004,576	39,977	1,749,560	142,944	3,791,884	2,176,140	371,866	31,054,994
1998	10,004	18,984	0	0	271,558	1,573,996	8,208,297	6,221,750	1,357,102	1,519,944	642,271	23,508	19,847,414
1999	15,732	25,578	10,916	821,788	1,348,640	4,188,934	1,768,240	1,879,693	2,409,669	4,951,547	6,111,919	3,547,210	27,079,866
2000	6,159,927	4,148,430	12,924	6,652,531	5,628,847	14,776,164	14,115,344	7,531,620	9,335,391	6,084,098	2,034,253	2,856,083	79,335,612
2001	9,731,953	13,620,701	10,127,558	8,447,267	9,088,775	2,491,295	67,427	67,046	3,145,986	13,861,106	9,543,407	6,235,582	86,428,103
2002	19,015	22,116	39,852	41,096	2,175,005	10,330,244	10,638,182	18,113	128,462	161,411	39,596	57,650	23,670,742
2003	14,396,370	11,782	26,740	354,108	6,924,666	950,317	30,664	68,475	53,330	49,650	36,700	46,144	22,948,946
2004	25,784	51,580	39,275	42,634	530,170	60,237	229,028	69,714	514,575	11,796,905	13,051,544	11,697,584	38,109,030
2005	16,006,929	1,438,442	2,342,873	13,018,382	11,673,522	102,394	100,090	1,572,734	14,118,143	12,579,855	5,205,485	5,785,219	83,944,068
2006	260,856	18,728	644,330	312,275	55,090	2,729,949	2,512,351	9,027,200	9,613,537	34,039	1,524,745	11,975,244	38,708,344
2007	16,730,819	16,086,710	16,855,965	15,823,413	17,206,545	14,891,847	9,693,739	1,177,934	4,289,501	4,116,864	11,151,177	11,636,675	139,661,189
2008	12,668,818	13,336,243	20,656,480	17,356,772	7,300,355	1,988,437	1,921,771	650,071	4,091,471	17,156,447	17,194,046	15,887,780	130,208,691
2009	19,897,334	9,903,943	46,425	3,732,530	10,555,100	1,614,238	4,007,828	4,095,243	1,304,279	380,868	117,321	51,172	55,706,281
2010	53,014	49,090	426,344	886,542	8,203,279	8,191,557	7,037,406	197,522	192,994	258,949	176,970	435,645	26,109,312
2011	406,644	286,811	266,315	289,919	183,268	177,571	176,616	8,168,945	12,596,762	5,410,634	3,323,253	15,540,458	46,827,196



Şekil 3.2 : Terkos Gölü (Durusu) havzası.

3.2 Yöntem

Gelecekte belli bir tarihte görülebilecek debinin tahmini, taşkın uyarılarının yapılması, taşkın kontrolü maksatlı haznelerin işletilmesi, akarsuyun su potansiyelinin belirlenmesi, kurak dönemlerde hidroelektrik üretimin şehir suyu ve sulama suyunun dağıtımı ve akarsularda ulaşımın planlanması açısından önemlidir.

Debinin tahmin edilmek istendiği süre uzadıkça, tahminlerde oluşması beklenen hatalar büyür. Çok ileri bir tarih için yapılacak tahminlerde sadece istatistik ortalamalar kullanılabilir. Taşkın uyarıları ve su kaynakları sistemlerinin işletmesi bakımından kısa süreli tahminler önemlidir. Akarsuyun sağlayabileceği su miktarının belirlenmesi ve kurak dönemlerde su tasarruf planlarının uygulanabilmesi için uzun süreli tahminler önemlidir (Bayazıt, 1998).

Çalışmada Terkos Barajına gelen debi için tahminler yapılmıştır. Belli bir süre sonrası için tahmin edilen akım $F_{i(model)}$, aynı an için gözlenen akım $F_{i(gerçek)}$ ile gösterilirse tahmin sırasında oluşan hatalar nedeniyle $F_{i(model)} \neq F_{i(gerçek)}$ olacaktır. Tahmin hataları belli bir nedene bağlı olarak oluşan sistematik hatalar ile rasgele hataların toplamıdır. Tahminlerin hataları ile ilgili olarak aşağıdaki büyüklükler tanımlanabilir:

$$R^2 = \frac{F_0 - F}{F_0} \quad (3.1)$$

$$F_0 = \sum_{i=1}^n (F_{i(gerçek)} - F_{i(ort)})^2 \quad (3.2)$$

$$F = \sum_{i=1}^n (F_{i(gerçek)} - F_{i(model)})^2 \quad (3.3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_{i(gerçek)} - F_{i(model)})^2 \quad (3.4)$$

Burada, n, gözlenmiş akım verilerinin sayısı ve F_{ort} , ortalama ölçülmüş aylık akım değeridir. En iyi model determinasyon katsayısı R^2 , ortalama karesel hata MSE ve korelasyon değerlerine göre belirlenmektedir. Determinasyon katsayısının 1'e , ortalama karesel hatanın da 0'a ve korelasyon değerinin -1'e veya 1'e yakınlığı tahmin modellerinin yeterliliğini göstermektedir.

Korelasyon katsayısı, iki nicel değişken arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü belirlemek için r ile gösterilen Pearson korelasyon katsayısı veya basit korelasyon katsayısı şeklinde hesaplanır. Bu katsayı, $-1 \leq r \leq 1$ aralığında değer alır. Pozitif korelasyon katsayısı değişkenlerden birinin değeri arttığında diğerinin de değerinin arttığını; negatif korelasyon katsayısı ise değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin değerinin azaldığını belirtir. $r = \pm 1$ olduğunda, söz konusu iki değişken mükemmel/tam ilişki içindedir. Buna karşılık $r = 0$ olması iki değişkenin hiçbir ilişki içinde olmadıklarını gösterir. r -0.50 ya da +0.50 etrafında bir değer aldığına ise değişkenler arasında orta düzeyli bir ilişkinin varlığından söz edilir. Korelasyon en az iki değişken için tanımlansa da, bir değişkenin kendisi ile korelasyonu +1'dir.

Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı yardımıyla belirlenirken bu katsayının değerine bağlı olarak zayıf, orta ve güçlü ilişki gibi nitelermeler söz konusu olur. Bağımlı değişkende meydana gelen değişmelerin ne kadarının bağımsız değişkendeki değişmelerle açıklanabileceğini belirlemek amacıyla belirlilik katsayısı kullanılır. Belirlilik katsayısı Pearson korelasyon katsayısı r'nin karesinin alınması ile hesaplanır ve 0 ile 1 arasında değerler alır, R^2 sembolü ile gösterilir.

Belirlilik katsayısı 1 ise Y'deki değişimin %100'ünün öne sürülen model tarafından açıklanabildiği kabul edilir. Belirlilik katsayısı 0.50 ise ilgilenilen olaydaki değişimin %50'sini model tarafından açıklanabildiği kabul edilir. Belirlilik katsayısı 0 ise olayı hiç açıklayamıyor demektir.

3.2.1 Zaman serisi modelleri ile debi tahmini

Bir rastgele değişkenin aldığı değerlerin zaman içerisinde belli aralıklarla (Δ_t) izlenmesi durumunda bir zaman serisi ($X_1, X_2, \dots, X_i, \dots$) elde edilir. Ardışık zamanlarda X_i ve X_{i+1} değerleri arasında istatistik anlamda bir bağımlılık bulunması halinde X_i bir stokastik süreç oluşturur. Stokastik süreç özelliğinde bulunan bir zaman serisinden alınan bir örneğe ait istatistik analizde X değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonunun ve parametrelerinin bilinmesi yeterli değildir. Sürecin iç bağımlılığının da incelenmesi gerekmektedir.

Bir zaman serisinde ardışık anlardaki değerlerin arasındaki iç bağımlılık otokorelasyon katsayıları ile ölçülebilir. Aralarındaki zaman aralığı $k\Delta_t$ olan iki andaki X_i ve X_{i+k} değerleri iki ayrı rastgele değişken gibi düşünülürse, bunların arasındaki korelasyon katsayısı $\rho_k = \text{Cov}(X_i, X_{i+k}) / \sigma_x^2$ k aralıklı otokorelasyon katsayısı olarak adlandırılır. Bu katsayı eldeki n elemanlı örnekten denklem 3.5 ile tahmin edilir:

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad k=1, 2, \dots \quad (3.5)$$

Bununla birlikte denklem 3.5'nin verdiği tahmin tarafsız bir tahmin değildir. Tarafsız bir tahmin elde etmek için yaklaşık olarak denklem 3.6'deki ifade kullanılabilir:

$$\hat{r} = r_k + \frac{1}{n-k} \quad (3.6)$$

r_k 'nin örnekleme dağılımının standart sapması

$$\sigma_{rk} = \frac{(n-k-1)^{\frac{1}{2}}}{n-k} \approx \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (3.7)$$

k'nın farklı değerleri için hesaplanan r_k otokorelasyon katsayıları sürecin korelogramını oluşturur. Örneğin $k=1$ için kısaca otokorelasyon katsayısı da denen 1-aralıklı otokorelasyon katsayısı elde edilir.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x})(x_{i+1} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.8)$$

Stokastik sürecin önemli özelliklerinden biri kararlılıktır. Kararlı bir süreçte X_i değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu zamandan bağımsız olduğu için otokorelasyon katsayıları da zamandan bağımsızdır.

$$f(X_i) \equiv f(X), \mu_{x_i} \equiv \mu_x, \sigma_{x_i} \equiv \sigma_x, \rho_{k_i} \equiv \rho_k \quad (3.9)$$

Bir çok durumda sürecin sadece ortalaması, standart sapması ve otokorelasyon katsayılarının zamandan bağımsız olması yeterli görülür. Bu durumda 2. Mertebe kararlılık söz konusudur.

$$\mu_{x_i} \equiv \mu_x, \sigma_{x_i} \equiv \sigma_x, \rho_{k_i} \equiv \rho_k \quad (3.10)$$

Bir zaman serisinin istatistik analizi yapılırken aşağıda verilen bileşenlerine ayırarak yapmak uygun olur:

1. Trend (eğilim), sıçrama: Eğilim, sürecin parametrelerinin zaman içerisinde giderek artmasını veya azalmasını ifade eder. Sıçrama ise ani bir artma veya azalma demektir.
2. Periyodik bileşen: Sürecin parametrelerinin belli bir T periyodu ile değişimleri halinde bir periyodik bileşen mevcuttur.
3. İç bağımlı bileşen: Zaman serisinin X_i değerinin bundan önceki anlardaki $X_{i-1}, X_{i-2}, \dots$ değerleri ile istatistik olarak bağımlılığını ifade eder.
4. Rastgele bağımsız değişken: Diğer bileşenler zaman serisinden ayrıldıktan sonra geriye kalan bileşendir (Bayazıt, 1996).

3.2.1.1 Periyodiklik

Belli zaman aralıklarında tekrar eden sürece periyodiklik, bu tür fonksiyonlara periyodik fonksiyonlar denir. Sinüs ve kosinüs gibi trigonometrik fonksiyonlar birer periyodik fonksiyonlardır. Örneğin sinüs fonksiyonu kendini 2π de bir tekrar eder. Bu tekrarlama süresine "periyot" adı verilir ve genellikle " T " ile gösterilir.

Fonksiyonun her tekrarında bir dalga oluşur. Teorik olarak her dalganın birbirine eş değeri olması beklenir. Ama uygulamada hatalar nedeniyle bir önceki dalga ile bir sonraki dalga birbirine benzemez. Periyodun tersi "salınım hızı" olarak da bilinen frekansı verir. Bu geçen dalga sayısıdır ve " f " ile sembolize edilir.

3.2.2 Otoregresif modeller

Bir zaman serisi, belli bir zaman ya da mekânda eşit aralıklarla düzenlenmiş gözlemler grubu olarak tanımlanmaktadır. Zaman serileri, antropoloji, kriminoloji, kronoloji, hayvan bilimi gibi pek çok farklı disiplin tarafından kullanılmaktadırlar (DeLurgio,1998).

Zaman serilerinin analizinde işlem yapma ve türetme terimleri arasında temel bir farklılık vardır. Gözlenmiş bir zaman serisindeki gerçek değerler bu değerlerden türetilmiş bazı görünmeyen işlemlerin ortaya çıkmış halleridir. Zaman serileri analizinde, ortaya çıkarma (yani gözlenmiş örnek değerleri) ve işlem yapma (yani istatistik süreç) arasındaki ilişki, istatistik bir hipotez testinde ele alınan örnek ve populasyon arasındaki ilişki ile benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla bir zaman serisi türetilmiş serilerden oluşan stokastik işlemin bir örneğidir.

Hidrolojide zaman serilerinin analizinde en çok kullanılan metotlardan biri otoregresif (Auto Regressive – AR) modellerdir (Box vd., 1994).

Model oluşturma zaman serilerini sistematik bir şekilde tanımlama ve tahmin yapma işlemi olduğundan, kısaca AR analizinin amacı, zaman serilerinin geçmişteki ve gelecekteki kalıplarını doğru bir şekilde temsil eden bir model ortaya koymaktır. Hidrolojik çalışmalarda kullanılan zaman serileri genellikle yıllık, mevsimlik, aylık ve haftalık kayıtlardan oluşmaktadır. Yıllık bir zaman serisi için model kalıbı denklem 3.11'de ifade edilmektedir:

$$X_t = Model + \varepsilon_t \quad (3.11)$$

Burada, t indisi zamanı, X bu zaman aralıklarındaki değişkeni, ε_t artık kısmı göstermektedir. Model ise rastgelelik, mevsimsellik, eğilim, oransallık bileşenleri olabileceği gibi, tüm bunların bir birleşimi de olabilir (DeLurgio, 1998).

Yıllık seriler dışındaki diğer serilere, periyodik zaman serileri adı verilmektedir. Periyodik zaman serileri bir yıldan daha küçük zaman dilimlerine ait kayıtları içeren serilerdir. Periyodik bir seride yılın her hangi bir bölümüne ait istatistiksel karakteristikler aynı yılın diğer bölümlerine ait olanlardan farklıdır. Bu gibi hallerde, 1 yıla eşit bir periyot bulunmaktadır ve zaman aralığı küçüldükçe sürecin iç bağımlılığı da artmaktadır (Bayazıt, 1996). Periyodik serilerde, t zaman indisinin gösteriminde zaman dilimini de dikkate almak gerekir ve zaman dilimi “ τ ” ile gösterilirken, yıl “ v ” ile ifade edilmektedir.

3.2.2.1 Modelin belirlenmesi

Hidrolojik stokastik model yaklaşımında, ilk olarak zaman serisinin normal dağılıp dağılmadığı ya çarpıklık katsayısına göre ya da ki-kare testine göre kontrol edilmektedir. Şayet seriler normal değilse, uygun bir dönüşüm fonksiyonu ile normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Çarpıklık katsayısına göre normalite tayininde, N^1 yıl uzunluğundaki seriye ait ortalama çarpıklık katsayısının (γ) $\alpha^*=0.02$ önem derecesindeki $\gamma_{\alpha^*}(N^1)$ değerlerinden küçük olması gerekmektedir. Periyodik seriye ait, μ_τ periyodik ortalamalar ve σ_τ periyodik standart sapmalar hesaplandıktan sonra, her bir veriden aritmetik ortalamanın çıkarılmasıyla elde edilen sapmaların, standart sapmalara bölünmesi ile bu karakteristikler seriden uzaklaştırılarak ortalaması 0, standart sapması 1 ve boyutsuz olan standart seri elde edilmekte ve periyodiklik ortadan kaldırılmaktadır (Şen, 2002).

3.2.2.2 Tahmin modelinin uygunluğu

Bu aşamada sentetik seriler üretilmektedir ve üretilen seriler ile zaman serisinin ortalama, standart sapma ve korelogramlar gibi istatistiksel karakteristikleri karşılaştırılmaktadır. Daha sonra, bilgisayar yardımı ile kolaylıkla üretilen üniform dağılıma uyan rasgele sayılardan, standart normal rasgele sayılar elde edilmektedir. Bu sayılar denklem 3.13’de yerine koyularak boyutsuz, standart haldeki Z_t serisi elde edilmektedir.

$$Z_t = \phi_1.Z_{t-1} + \phi_2.Z_{t-2} + \dots + \phi_p.Z_{t-p} + \sigma_\varepsilon.\xi_t \quad (3.13)$$

Burada, $\phi_1, \dots, \phi_p$, modele ait otoregresif parametreleri ; Z_{t-p} , p ay önceki debiyi ; σ_ε , artık seri standart sapmasını, ve ξ_t , standart normal rasgele sayıları göstermektedirler. İlk yıla ait olan Z_t değerinin belirlenebilmesi için, p yıl öncesine kadar olan değerlerin bilinmesi gerektiğinden, denklem 3.13’de $Z_0, Z_{-1}, \dots, Z_{-p+1}$ terimlerinin 0 olduğu kabul edilmektedir. Aynı şekilde, bilgisayar yardımıyla üretilmiş olan ξ_2 sayısı ve bir önceki adımda hesaplanan Z_1 terimi de kullanılarak Z_2 terimi hesaplanmaktadır. Bu esnada da $Z_0, Z_{-1}, \dots, Z_{-p+1}$ terimleri 0 kabul edilmektedir. Bu prosedür seriye ait $Z_1, Z_2, \dots, Z_N$ terimleri elde edilinceye kadar tekrarlanmaktadır. Daha sonra Z_t terimleri kullanılarak, aşağıdaki bağıntı ile periyodik sentetik zaman serisinin aylık $Y_{1,1}, Y_{1,2}, \dots, Y_{v,\tau}$ terimleri hesaplanmaktadır:

$$Y_{v,\tau} = Z_{v,\tau} * \sigma_\tau + \mu_\tau \quad (3.14)$$

Burada, $Y_{v,\tau}$ terimleri periyodik sentetik zaman serisinin aylık değerleri, σ_τ aylık standart sapmayı, μ_τ ise aylık ortalamayı göstermektedir. $Y_{v,\tau}$ değerlerine, ilk adımda kullandığımız dönüşüm fonksiyonunun tersini uygulayarak X_t değerleri elde edilmektedir. Bu şekilde üretilen sentetik serilerin her biri için ortalamalar, standart sapmalar ve korelogramlar gibi istatistiksel karakteristikleri hesaplanmakta ve tarihi serininkiler ile mukayese edilmektedir (Salas, 1980). Bu karakteristiklerin seçiminde (Karabörk 1997) referans alınmıştır. Örnek olarak korelogramların mukayesesi için,

- Ortalama r_k olan $\bar{r}_k$, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\bar{r}_k = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a r_k(i) \quad i=1,2,\dots,a \quad (3.15)$$

Burada a adet seri üretildiği varsayılmıştır ve her bir gecikme derecesi (lag) k için bu işlem yapılmaktadır.

- r_k ‘ların standart sapması aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$s(r_k) = \left[\frac{1}{a-1} \sum_{i=1}^a (r_k(i) - \bar{r}_k)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \delta s(r_k) \quad (3.16)$$

- r_k 'nın her bir gecikme derecesi için güven aralıkları da aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$\delta s(r_k) = [\bar{r}_k \pm c * s(r_k)] \quad (3.17)$$

Burada c güven derecesine bağlı olan bir katsayıdır. Örneğin %5 güven seviyesi için c katsayısı 1.96 alınabilir (Salas, 1980).

3.2.3 Otoregresif hareketli ortalama modelleri

Otoregresif hareketli ortalama modelleri (ARMA) otoregresif modellerle (AR), hareketli ortalamaların birleşiminden oluşmaktadır.

$$Z_t = \phi_1.Z_{t-1} + \phi_2.Z_{t-2} + \dots + \phi_p.Z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1.\varepsilon_{t-1} - \theta_2.\varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q.\varepsilon_{t-q} \quad (3.18)$$

En basit hali ile denklem 3.18'deki şekilde ifade edilmektedir. Denklem 3.18'de ϕ otoregresif parametreleri, Θ ise regresyon katsayılarını, ε artık terimleri göstermektedir. Model oluşturulurken mümkün olduğu kadar parametre sayısı düşük tutulmalıdır. Parsimoni kuralı olarak bu bilinen bu kriter nedeni ile bir ARMA(p,q) modeli için $p+q < n/15$ olması gerekmektedir (Bayazıt, 1996).

Modelin otoregresif bileşeninin p mertebesini belirlemekte kısmi otokorelasyon fonksiyonu yardımcı olmaktadır. $\phi_{k,k}$ kısmi otokorelasyon katsayısı k-1 inci mertebede AR modeli uydurulduktan sonra sürecin geriye kalan kısmı için otokorelasyon katsayısıdır. Buna göre AR(p) modeline uyan bir süreçte $k > p$ için $\phi_{k,k} = 0$ olmaktadır. $\phi_{k,k}$ kısmi otokorelasyon katsayıları, otokorelasyon katsayılarına bağlı olarak ardışık halde hesaplandıktan sonra, bunların sıfırdan anlamlı derecede farklı olup olmadıkları kontrol edilir. $\phi_{k,k}$ kısmi otokorelasyon katsayılarının varyansının yaklaşık olarak $1/N$ değerine eşit olmasından dolayı %5 güven seviyesi içinde kısmi otokorelasyon katsayılarının mutlak değeri $1.96 / \sqrt{N}$ 'den küçük olması şartı ile $\phi_{k,k}$ 'nın sıfırdan farklı olduğu kabul edilebilir.

Modelin hareketli ortalama bileşeninin q mertebesini belirlemek için akım serisinin korelogramına bakılması gerekir. r_k otokorelasyon katsayıları hesaplandıktan sonra $|r_k| > 1.96 / \sqrt{N}$ olan r_k değerlerinin sıfırdan farklı olduğu kabul edilir. $k > q$ için modelin hareketli ortalama bileşeninin mertebesi bu q değeri olarak alınabilir.

Model seçiminde otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının çeşitli model tiplerinin fonksiyonları ile karşılaştırılması yol göstermektedir. AR(p) modelinin otokorelasyon fonksiyonu k arttıkça sifıra yaklaşır, $k > p$ için kısmi otokorelasyon katsayısı sifıra eşit olur. MA(q) modelinde ise $k > q$ için otokorelasyon fonksiyonu sifıra eşit olur.

3.2.4 Yapay sinir ağları yöntemi

İnsanoğlu yaradılışından beri doğayla iç içe yaşaya gelmiş ve ondan ilham yolu ile birçok çözümler öğrenmiştir. Olayların sebep sonuç ilişkilerini içinde bulunduğu dönemin bilgi birikimi ve teknolojisinin elverdiği ölçüde irdelemeye çalışmıştır. Bu çalışmalar esnasında birçok yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen yöntemlerin bazıları canlı organizmalardan esinlenerek ortaya çıkmıştır. Bu organizmaların işleyişinin matematikle ifade edilmeye çalışılması ile ortaya çıkan yöntemlerden biri de Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir.

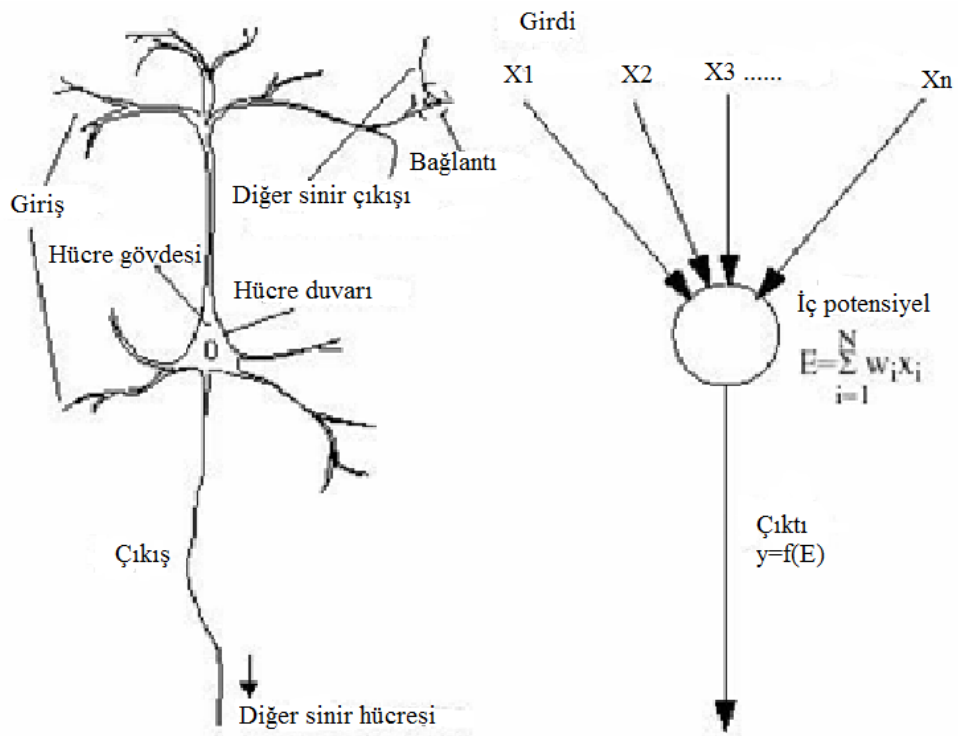
Elektro kimyasal beyin işleme elemanları olarak tanınan sinirler bir işleme milisaniye (10^{-3}) mertebesinde cevap verirken, bugünkü elektronik teknoloji ürünleri nanosaniye (10^{-9}) mertebesinde cevap vermektedir. Elektronik işleme ürünlerinin 10^6 kat daha hızlı çalışmasına rağmen beynin eksik bilgi ile işlem yapma ve şekil tanıma gibi konularda bilgisayara göre daha verimli çalışmasının nedeni uzun zaman merak konusu olmuştur. Bu merak insanı kendi beyninin çalışma sistemini incelemeye itmiştir.

Sinir sisteminin modellenmesi sonucu ortaya çıkan YSA paralel çalışma ve öğrenebilme yetenekleri bakımından biyolojik sinir sisteminin özelliklerini göstermektedir (Şen, 2004).

3.2.4.1 Biyolojik sinir hücresi ve yapay sinir hücresi

YSA birbiri ile paralel iletişim içinde bulunan tabakalara sahip olan ve her bir tabakasında yeterli sayıda sinir hücresi bulunan bir sistemden ibarettir. Bu tabakalar ve onların hücreleri arasında oldukça karmaşık sayılabilecek iletişimler incelenen olayın yapısına göre belirlenen ağırlık katsayıları vasıtasıyla elde edilmektedir. Şekil 3.3'de biyolojik bir sinir hücresinin yapısı verilmektedir. Bir hücre, hücre gövdesi, bağlantılar (synapse), giriş (dendrite) ve çıkışlardan (axon) meydana gelir. Synapseler bir sinir hücresi çıkışı ile komşu olan bir başka sinir hücresi girişi

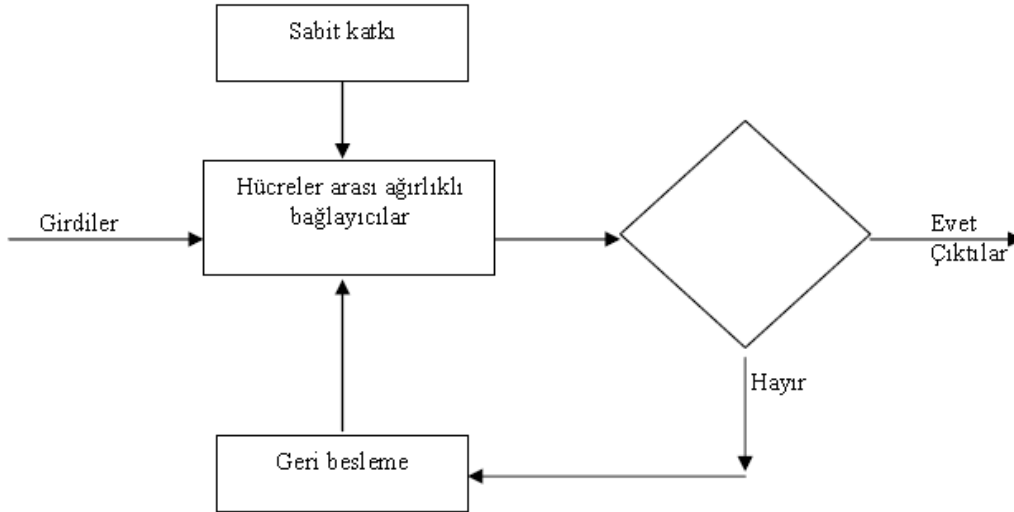
arasındaki iletişimi sağlayan bağlantılardır. Dendriteler synapselerden alınan bilgileri gövdeye taşımakla görevlidirler. Hücre gövdesi içerisinde toplanan bilgi uyarma eşiğini aştığı zaman hücre uyarılır ve aksonlar yardımıyla diğer hücelere sinyaller gönderilir. Bu yüzden aksonlar taşıma hatları olarak adlandırılır (Şen, 2004). Benzer şekilde, bir yapay sinir hücresi, girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş ana kısımdan oluşur. Girdiler, diğer hücelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bunlar ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki bir tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Toplam fonksiyonu (Σ) girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Aktivasyon fonksiyonu ise toplam fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur (Terzi, 2004).



Şekil 3.3 : Biyolojik bir sinir hücresi ve yapay sinir hücresi.

3.2.4.2 YSA tanımı ve özellikleri

Bilgi işleme süreçleri olarak nitelendirilebilecek YSA verilen girdilere karşılık çıktılar üreten ayrıntılı bir kara kutu modeli olarak tanımlanabilir. YSA, bilgi akışını aksonlar yardımıyla sağlayan bir grup sinir hücresinin meydana getirdiği sinir sisteminin bir benzeri olarak tanımlanmakla birlikte Kohonen tarafından, genellikle yinelenebilir olan basit elemanların yoğun bir şekilde paralel bağlanmasıyla ortaya çıkan ağlar olarak da tanımlanmıştır. Paralellik, hata toleransı, öğrenilebilirlik, gerçekleştirme kolaylığı gibi özellikleri bakımından bir çok yönteme göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bir YSA şebekesi için eldeki verilerin türüne ve istenilen hedefe karar verdikten sonra, beklenen çıktıları girdilerden elde etmek için bu şebekede bilinmeyen bağlantı değerleri ardışık yaklaşımlarla eğitilerek tespit edilir. Şekil 3.4’de bir YSA’nın genel yapısı gösterilmiştir. Burada ilk hesaplamalardan elde edilen çıktılar beklenen çıktılar ile kıyaslandıktan sonra birbirlerine kabul edilebilir hata sınırları içinde yaklaşıklık gösterdiği zaman YSA’nın eğitilmesine son verilir. Aksi halde eğitime devam edilir. Böylece eğitime ve öğretme ile güdülenebilen bir şebeke akışı söz konusudur (Şen, 2004).



Şekil 3.4 : YSA genel yapısı.

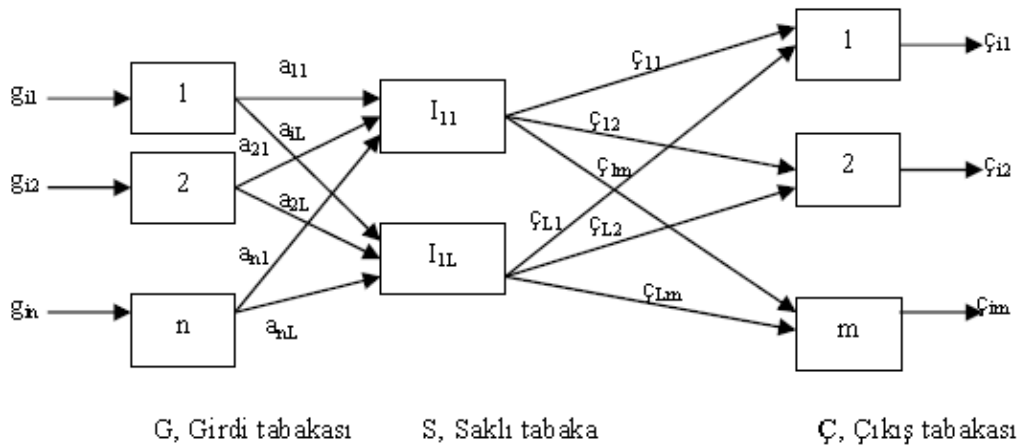
3.2.4.3 Tek tabakalı yapay sinir ağları ve işletme ilkeleri

Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar tek tabakalı yapay sinir ağları ile başlamıştır. Tek tabakalı yapay sinir ağları sadece girdi ve çıktı tabakalarından oluşur. Her ağın

bir veya daha fazla girdisi ve çıktısı vardır. Çıktı nöronları bütün girdi nöronlarına bağlanmaktadır. Girdi nöronları çıktı nöronları ile tamamen bağlıdır fakat diğer girdi nöronları ile bağlantılı değildir ve çıktı nöronları da diğer çıktı nöronları ile bağlantılı değildir. Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Tek tabakalı YSA’larda sinir hücrelerinin değerlerinin ve dolayısıyla ağ çıktısının sıfır olmasını önleyen bir eşik değeri vardır. Eşik değerinin girdisi daima birdir. Ağın çıktısı ağırlıklandırılmış girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucu bulunur. Bu girdi değeri bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek ağın çıktısı hesaplanır (Terzi, 2004).

3.2.4.4 Çok tabakalı yapay sinir ağları ve işletme ilkeleri

YSA bir çok basit sinir hücresinin bir araya gelmesinden oluştuğu için, çok tabakalı bir yapıya sahiptir. YSA’daki tabakalar, her bir tabakadaki hücreler ve bunların bir tabakadan diğerine bilgi ileten bağlantıları sanki bir bilgi ağı meydana getirir. Böyle bir ağda paralel tabakalar ve bunların içinde hücreler ve bunlar arasındaki ardışık bağlantıları sağlayan iletişim yolları bulunur. üç tabakalı bir YSA mimarisi Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Burada birbirine paralel üç tabaka belli sayıdaki hücreleri içerirler. Bu tabakalardan her biri G, S ve Ç indisleri ile gösterilirse, bunlardan G tabakasına giriş, S tabakasına saklı veya ara, Ç tabakasına da çıkış tabakası adı verilir. Dolayısıyla, YSA verilen girdilere karşılık çim çıktılarını ürettiği için kara kutu modellerine benzemektedir. Giriş tabakası çıkışların meydana gelmesine sebep olan başlangıç bilgilerini, saklı tabaka bunların çıkış ile olan bağlantılarını ayarlayan sürecin iç kısımlarını, çıkış tabakası ise istenilen bilgiyi veren tabakadır.



Şekil 3.5 : Çok tabakalı YSA modeli.

Şekil 3.5'deki ağ yapısında ardışık tabakalar arasındaki ağırlıklı bağlantılar a_{in} ve ϕ_{im} ağırlık katsayıları ile gösterilmektedir. n , L ve m indisleri sırasıyla, girdi, saklı ve çıktı tabakalarındaki hücre sayılarını vermektedir. Böyle bir ağda giriş ve çıkış değerleri bilinmekle birlikte, YSA'daki ağırlık katsayıları eğitilerek bu giriş ve çıkışlara uygun olan içyapı ardışık yaklaşımlarla geliştirilmektedir. Öncelikle girdi olabilecek değişken sayılar ve buna göre giriş tabakasındaki hücrelerin sayısı belirlenmektedir. Sonra, YSA'nın eğitilmesi aşamasında, elimizde bulunan ölçülmüş çıkış değerleri dikkate alınmaktadır. Genellikle tahmin edilecek değer tek olur ve çıkış tabakasında tek hücre bulunur. Saklı tabakada ne kadar hücre bulunmasının gerekliliğine YSA tasarımcısının bilgi ve tecrübelerinin yardımıyla karar verilmektedir. Böyle bir yapılanma ile bir sonraki tabakanın m . hücresine i . giriş verisi dizisinden gelecek olan değerlerin toplamı

$$(NET)_m = \sum_{j=1}^L a_{ij} \cdot g_{ij} + \Theta_i \quad (3.20)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, g_{ij} , i . veri dizisinin j . bileşenini, L de gizli tabakadaki toplam hücre sayısını ve Θ_i sabit bir değeri göstermektedir. Her ara ve çıkış tabakasında bulunan hücrelerin denklem 3.20 ile gelen giriş bilgilerini işlemesi neticesinde çıkış değeri üretilmektedir. Çıkış değerleri, işlemci bulunan hücrelerde toplanan bilgilerin $f(NET)$ işlemciden geçirilmesi ile son şeklini almaktadır.

$$SON = f(NET) \quad (3.21)$$

Burada kullanılan $f(NET)$ işlemcisi yapılan çalışmaya göre değişik matematik fonksiyonlarla temsil edilebilmektedir (Şen, 2004).

3.2.4.5 Yapay sinir ağları ile eğitime ve modelleme

YSA'nın en ayırt edici özelliklerinden biri öğrenme yeteneğine sahip olmasıdır. Öğrenme elde bulunan veriler arasındaki yapının iyi bir davranış göstermesini sağlayabilecek olan bağlantı ağırlıklarının hesaplanması olarak tanımlanır. YSA'da öğrenme kısaca, giriş ve çıkış verileri arasındaki en uygun tasviri gerçekleyebilecek şekilde hücreler arasındaki bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesidir. Bu değişiklik aşağıda belirtilen üç farklı şekilde yapılabilir:

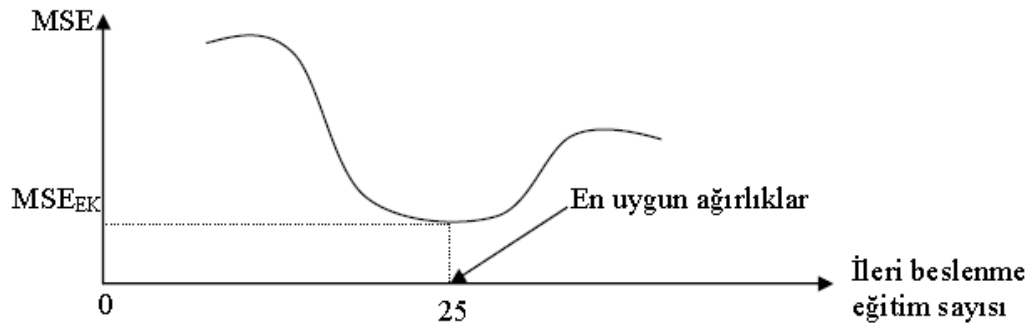
1. Yeni bağlantılar yapılması
2. Var olan ağırlıkların değiştirilmesi

3. Bazı bağlantı ağırlıklarının yok edilmesi.

YSA öğrenme esnasında elde ettiği bilgileri, sinir hücreleri arasındaki bağlantı bilgileri olarak saklar. Bu ağırlık değerleri, YSA'nın verileri başarılı bir şekilde işleyebilmesi için gerekli olan bilgileri içerir. Bilgi tüm ağda saklandığı için bir tek ağına sahip olduğu bağlantı değeri tek başına bir anlam ifade etmez. Bir anlam oluşması için grup halinde bağlantı ağırlıklarının bir araya gelmesi gerekir. Bununla birlikte YSA'nın akıllı bir davranış gösterebilmesi için, hücreler arası bağlantıların tümünün uygun değerlere sahip olması gerekmektedir. Öğrenme süreci boyunca bilgiye ihtiyaç duyulması ve sınırlar arasındaki bağlantı ağırlıkları vasıtasıyla bilgilerin saklanması özelliği bakımından YSA, insan beynine benzer.

YSA öğrenmesindeki önemli noktalardan biri de, öğrenmeyi sağlayacak olan eğitim kümesinin seçilmesidir. Eğitim kümesi en az bilgi ile en iyi öğrenmeyi sağlayacak şekilde seçilmelidir. Eğitim kümesi oluşturulurken birbirine yakın verilerden ziyade, birbirinden farklı ve bağımsız verilerin seçilmesi daha verimli bir öğrenme sağlar. Eğitim kümesinin daha önce eğitilmemiş giriş değerlerine karşı makul çıkımlar vermesi beklenir. Öğrenmede aranan bu özelliğe genelleme denir.

YSA ağırlıklarının hesaplanması sırasında ardışık olarak ileri geri besleme işlemlerinin tümüne birden eğitim denir. Bu eğitimin hatanın en küçüklenmesi ile son bulması arzu edilir. Eğitimin kalitesini hataların ileri beslenmesinin sayısı ile değişimini gösteren bir grafikte kontrol edebiliriz. Genel olarak başlangıçta bağlantı katsayıları rastgele seçildikleri için ortalama karesel hata MSE büyük olur. Eğitim sırasında bunun ileri beslenme eğitim sayısı ile azalması beklenir (Şen, 2004).



Şekil 3.6 : Hata-eğitim devresi sayısı.

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi, ortalama karesel hataların en küçük olduğu duruma (MSE_{EK}) ancak 25-inci ileri beslenme eğitim sonrasında ulaşılmaktadır (Şen, 2004).

3.2.5 Dalgacık analizi (Wavelet)

Dalgacık analizi kullanım olarak oldukça yeni olmasına karşın, temelleri 1805 yılında Joseph Baptiste Fourier tarafından atılmıştır. Fourier’in çalışmasının temelini oluşturan frekans analizi konusunun sonraları hem önemli hem de etkili bir yöntem olduğu ispatlanmıştır. Uygulamada günümüzde sıkça karşımıza çıkmaktadır. Sadece frekans analizinin yeterli olmadığı kanaatine varılarak, frekans analizinden ölçek analizine geçiş yapılmıştır. Çünkü ölçülen ortalama dalgalanmaların farklı ölçeklerdeki analizleri gürültüye daha az duyarlı olduğu açıkça görülmüştür. Yani zaman dizilerinin geneline ilişkin kararlar vermek yerine bölgesel ölçekte oluşan küçük dalgalanmaların önemli olabileceği gündeme gelmiştir. Dolayısıyla kullanıcılar için dalgacık analizi seçenek olmuştur.

Şimdiki kullanımıyla ”dalgacık” sözü ilk kez Alfred Haar’ın 1909 yılında doktora tezinin ekler kısmında kullanılmıştır. Paul Levy, Brownian hareketini (parçacıkların raslantısal hareketini) modelleyerek dalgacık teorisine katkı sağlamıştır. Levy, parçacıkların raslantısal hareketini Haar’ın ölçek değişkenli temel fonksiyonlarının (Haar dalgacı) Fourier temel fonksiyonlarına oranla daha iyi modellediğini ispat etmiştir.

Dalgacık teorisinin esasları hakkındaki ayrıntılar ilk defa Jean Morlet ve Alex Grossmann yönetimindeki Marsilya Teorik Fizik Merkezi çalışma grubu tarafından 1985 yılında ortaya atılmıştır.

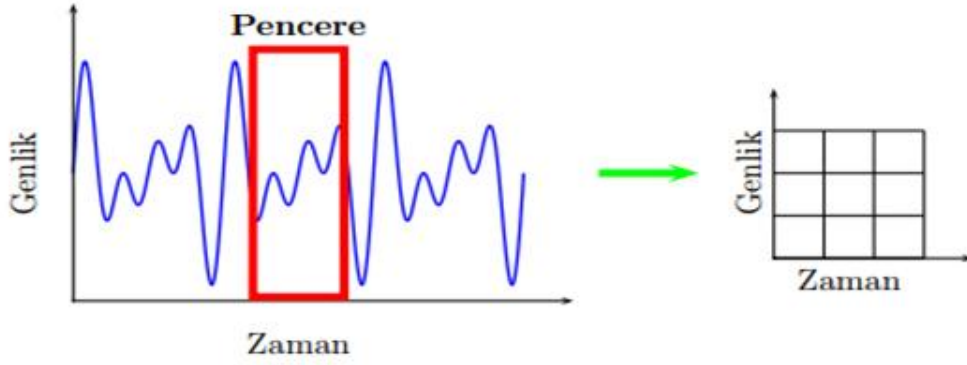
Dalgacık analizi yöntemleri Yves Meyer ve meslektaşları tarafından geliştirilmiştir. Ana algoritma Mallat’ın çalışmasına dayanmaktadır. Bundan sonra dalgacık analizi konusunun uluslararası bir yön kazandığı görülmüştür. Özellikle Daubechies, Coifman ve Wickherhouser adlı araştırmacılar önemli çalışmalarıyla konuya ivme kazandırmışlardır. Bu aşamadan sonra dünya literatüründe sıkça duyulmaya başlanmıştır.

3.2.5.1 Fourier analizine ve dalgacık teorisine giriş

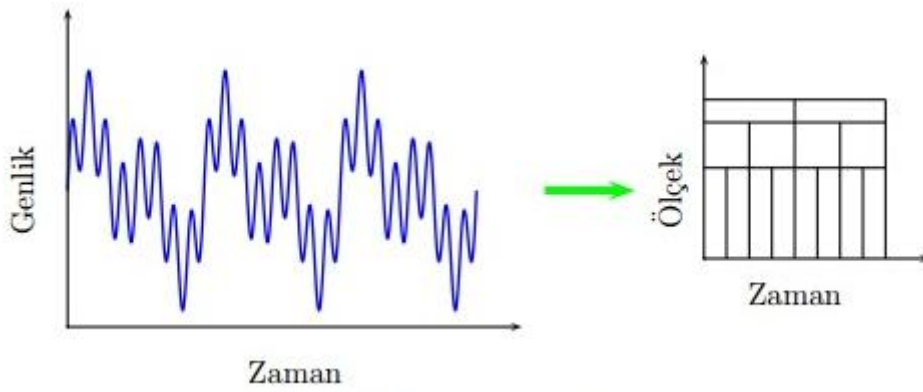
Zaman dizilerinin analizinde en iyi bilinen ve en çok kullanılan dönüşüm tekniği Fourier tekniğidir. Fourier analizi, bir sinyalin farklı frekanslarını hesaplar. Diğer bir

bakış açısıyla; bir sinyali zaman tabanlıdan frekans tabanlı hale dönüştürür. Fourier analiziyle bir zaman dizisini meydana getiren frekans bileşenlerinin belirlenmesine karşın bazı dezavantajlara da sahiptir. Frekans alanına dönüşüm sırasında zaman bilgisi yok olur. Yani bir sinyalin Fourier dönüşümüne baktığımızda özel bir olayın zaman ekseninde nerede gerçekleştiğine dair bir şey söylemek mümkün olmaz. Eğer sinyalin karakteristik özelliği zaman boyunca değişmez ise (yani sinyal durağan ise) bu dezavantaj önemli değildir. Buna karşın çoğu sinyal önemli sayılabilecek durağansızlıklar veya geçici özellikler (eğim, ani sıçrama, kayma, kırılma ve olayların başlangıç ve bitişlerini) içerir. Bu beklenmedik özellikler belki de sinyalin en can alıcı kısımlarını oluşturmaktadır. Fourier analiz bunları belirlemeye elverişli değildir. Bu nedenle söz konusu kullanılacak analiz yönteminin zaman dizisindeki durağansızlıklara duyarlı olması gerekir. Dalgacık yöntemi bu konuda Fourier tekniğine seçenek olabilir.

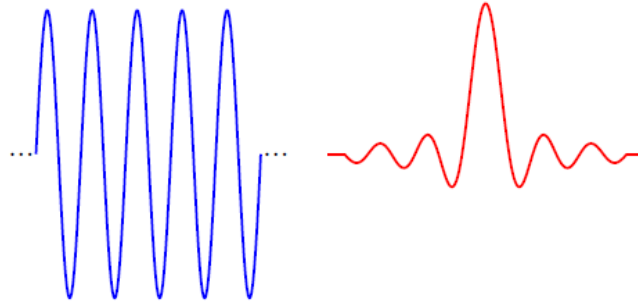
Fourier dönüşümü, frekansı zamana göre değişmeyen verilerin analizinde oldukça yararlı bir yaklaşımdır. Belirli bir zaman penceresi için uygulanmaktadır ve kısa zaman Fourier dönüşümü daha çok kullanılmaktadır. Kısa zaman Fourier dönüşümü yöntemi belirli bir frekansın hangi zaman noktasında mevcut olduğunu tespit edemez, mevcut olduğu zaman aralığındaki frekans bileşenlerini hesaplar. Dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümünün eksiklerini gidermek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Yüksek ve düşük frekans bilgisinin daha mühim olduğu durumlar için sırasıyla daha küçük ve büyük zaman aralıklarının kullanımına izin veren değişik boyutlarda bölgelere sahip bir pencereleme tekniğidir (Çolak 2006). Bu dönüşüm analiz için sinyali ayrıştırmasıyla Fourier dönüşümüne benzerdir ancak ana dalgacık ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış versiyonları olan kendi dalgacıklarına ayırır. Dalgacık analizinin avantajı düşük frekanslar için geniş, yüksek frekanslar için dar olacak şekilde değişen pencere boyutlarının olmasıdır (Güler vd. 2004). Şekil 3.7' de kısa zaman Fourier dönüşümü için zaman-frekans değişimini görürken, Şekil 3.8' de dalgacık dönüşümü için zaman-ölçek değişimini görebiliriz.



Şekil 3.7 : Kısa zaman Fourer Analizi.



Şekil 3.8 : Dalgacık analizi için zaman -ölçek değişimi.

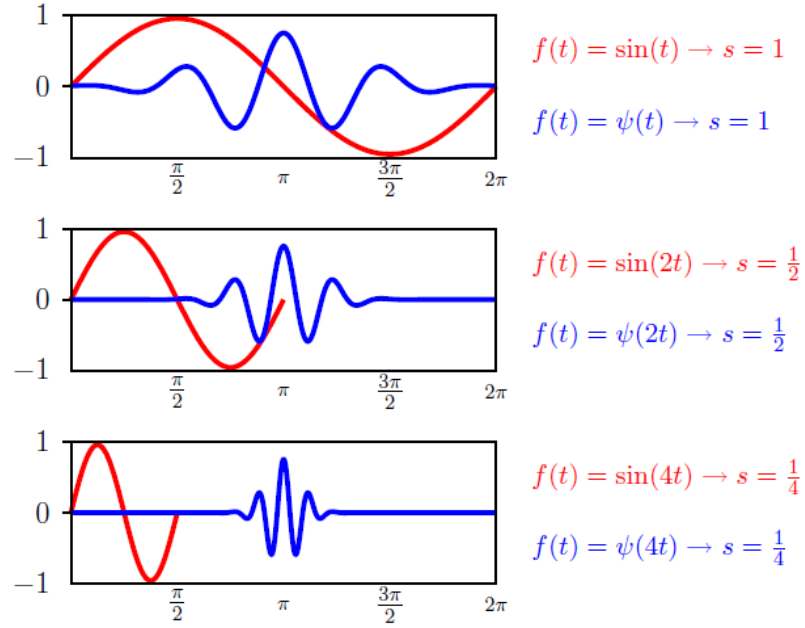


Şekil 3.9 : Sinüs dalgası ve bir dalgacık örneği.

3.2.5.2 Dalgacık

Kelime anlamından yola çıkılarak kabaca tanımlamak gerekirse dalgacık; dalga'nın küçüğü anlamına gelmektedir. Bir dalgacık, sınırlı zamanda etkili dalga biçimidir. Örneğin Fourier analizinin temelini oluşturan sinüs dalgasını düşünelim. Sinüsoidlerin belli bir sınırı yoktur. $-\infty$ 'dan $+\infty$ 'a kadar uzanan aralıkta sürekli olarak kendini tekrar eder durur. Ayrıca sinüsoidlerin hem yumuşak geçişleri vardır

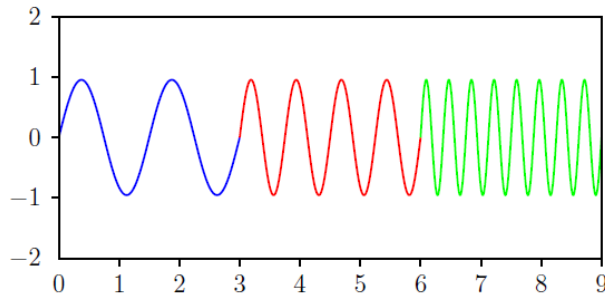
hem de kolay tahmin edilebilirler. Buna karşın Şekil 3.9' da görüldüğü üzere dalgacıklar düzensiz ve asimetrik özellik eğilimindedir. Fourier analizde sinyal, sinüs fonksiyonunun farklı frekansları cinsinden ifade edilebilirken, dalgacık analizinde ise durum biraz farklıdır. Sinyal, ana dalgacığın belirli bir ölçekte ve zamanda bir miktar kaydırılmasıyla elde edilebilir.



Şekil 3.10 : Sinüsoid ve dalgacıkta ölçek faktörü.

Ölçekleme işlemi, bir fonksiyonu yatay eksen boyunca belli bir oranda sündürmek ya da büzmektir. Ölçek faktörü s ile sembolize edilir. Şekil 3.10' de sinüs ve dalgacık fonksiyonunda ölçek faktörünün etkisi yer almaktadır. Kısaca, ölçek faktörü küçüldükçe dalgacık aynı oranda sıkıştırılır.

Dalgacık analizinde önemli bir unsur ise meydana gelen ani değişimlerin belirleyen zamandır. Kırılma anı, kenar tespiti ve kısa zaman oluşumlarının izlenmesi dalgacık analizinin amaçlarındandır.



Şekil 3.11 : Zaman içerisindeki frekans değişimi.

Şekil 3.11'da görüldüğü üzere zaman, ilerledikçe sinyalin frekansında değişimler olabilir. Yani sinyal belli zamanlarda farklı frekanslar içermektedir. Bu durumda sinyalin yapısının durağan olmadığı ortaya çıkar. Bu tip sinyallerin analizinde frekans değişimlerinin yerinin de tespit edilmesi gerekir.

Klasik analiz yöntemlerinde genellikle sinyalin içinde bulundurduğu frekans bileşenleri belirlenir. Bu bileşenler sinyalin tümünde bulunduğu varsayılır. Bu varsayım her zaman doğru değildir. Şekil 3.11'deki sinyal bunun en güzel örneğidir.

3.2.5.3 Frekans

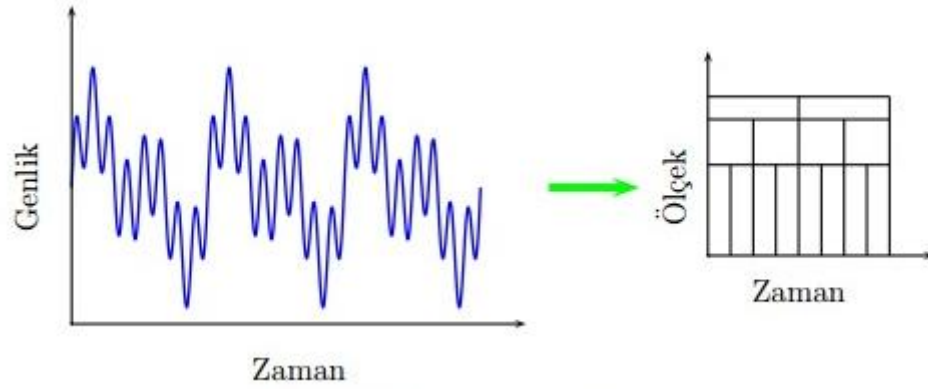
Frekans kavramı araştırmacılar için çok önemlidir. Çünkü çoğu araştırmacı bir dizinin veya fonksiyonun içinde birden fazla görülen periyodik bileşenleri ayrı ayrı öğrenmek ister. Bir fonksiyonun frekans bilgisi ne işimize yarar? Bunu güncel hayattan bir örnekle açıklayalım.

Bir insanın kalp grafiğini (Elektro Kardiyo-Grafik) göz önüne alalım. Bu grafik kalp atışlarının zamana bağlı değişimini gösterir. Bir kardiyolog sağlıklı bir insanda olması gereken grafiğin şeklini iyi bilir. Önemli sayılabilecek bir sapma olduğunda hastada bir sağlık problemi bulunduğu ortaya çıkar.

Zaman dizisine bakarak sağlık problemini bir çırpıda açıkça görülmesi mümkün değildir. Bu nedenle zaman alanındaki grafiğin kardiyologlar tarafından frekans alanına dönüştürülmesi onun daha iyi anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Çünkü frekans alanı dizinin içerdiği sinyaller veya başka bir deyişle gözlenen doğa olayının davranışı ve bu davranışa neden olan fiziksel kuvvetler hakkında daha kolay bilgi edinmemize yardımcı olur. Frekans alanının, önemi nedeniyle zaman alanını söz konusu alana dönüştürem matematiksel araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirecek bir çok analiz yöntemi vardır. Wigner dağılımı, Fourier, Hilbert, Morlet ve Radon dönüşümü bunlardan sadece birkaçıdır (Qiao, 2005).

3.2.5.4 Dalgacık analizi

Dalgacık analizi değişken boyutlu bölgelerde pencereleme tekniğidir. Ayrıca hem uzun zaman aralığında alçak frekans bilgisini hem de kısa zaman aralığında yüksek frekans bilgilerini belirlememize yardımcı olur. Yani bir bakışta hem ormanı hem de ağaçları görmektir (Graps, 1995).



Şekil 3.12 : Dalgacık Analizi.

Dalgacık analizi; kısa zaman Fourier analizinin aksine zaman-frekans alanını değil, zaman-ölçek alanını kullanılır. Şekil 3.12' de görüldüğü gibi analiz sonucu tek boyutlu bir çizgi değil, alanlar oluşur.

Dalgacık analizinin en önemli avantajı yerel analiz yapabilmesidir. Yani büyük sinyali küçük alanda analiz edebilmesidir. Örneğin küçük bir süreksizlik noktası olan bir sinüs sinyali düşünelim. Bu sinyali gerçek hayatta deneysel olarak kolayca bulmak mümkündür. Bu sinyalin Fourier analizi sonucunda elde edilen spektral bileşenlerin çizimi ilginç bir şey ifade etmez. Çünkü karşımıza sinyali temsil eden düz bir spektrum (2 zirve) çıkar. Buna karşın dalgacık analizi sonucunda elde edilen spektral bileşenlerin çizimi zaman içerisindeki süreksizliğin kesin yerini gösterir.

Dalgacık analizi boşluklu, eğimli, kırılma noktalı, süreksizlik noktası bulunan sinyallerin analizinde kullanılan uygun bir analiz yöntemidir. Bunların yanı sıra geleneksel yöntemlere göre karşılaştırıldığında dalgacık analizi yardımıyla bir sinyali sıkıştırma veya arındırma (de-noising) işlemi sinyalin orijinalini bozmadan kolayca yapılabilir (Misiti vd., 2004).

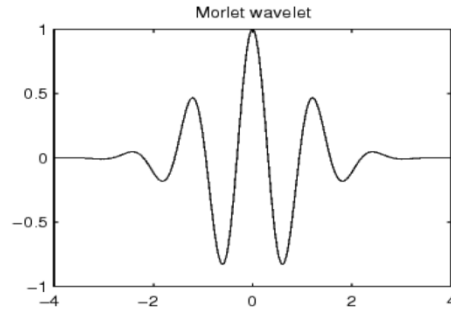
Dalgacık dönüşümleri; Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olmak üzere 2'ye ayrılır. Matematiksel kuram olarak 2 metodunda birbirinden farkı yoktur. Sürekli dalgacık dönüşümünde hesap yükü çok fazladır. Hesap yükünü azaltmak için ayrık dalgacık dönüşümü kullanılır. Ayrık dalgacık dönüşümünde öteleme ve ölçeklerin ikili kuvvetleri alınır. Bu işleme ikili dalgacık (dyadic) dönüşümü denir (Erdoğan 2009).

Çizelge 3.4 : Ölçek-Frekans ilişkisi.

Ölçek	Frekans	Dalgacık	Sinyal
Düşük Ölçek	Yüksek Frekans	Sıkıştırılmış	Dalgacık Global (Genel)
Yüksek Ölçek	Düşük Frekans	Genişletilmiş	Dalgacık Detaylandırılmış (lokal)

3.2.5.5 Morlet dalgacı

Morlet dalgacı, sürekli dalgacık dönüşümünün en klasik örneğidir. Şekil 3.13'de iki farklı merkezi frekansa göre çizilmiş olan Morlet dalgacıklarını göstermektedir (Gençay, Selçuk ve Whitcher, 2002).



Şekil 3.13 : Morlet dalgacı.

Morlet dalgacığının ölçek fonksiyonu yoktur. Morlet dalgacı karmaşık sayıları içermesi nedeniyle hem genlik hem de faz bileşenini aynı anda tespit edebilir (Lau ve Weng,1995). Ayrıca bu dalgacık ani değişimler yapmayan yumuşak geçişleri olan zaman serilerinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

3.2.5.6 Sürekli dalgacık dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümü, pencerelenmiş Fourier dönüşümüne benzemektedir. Aradaki en temel farklılık; Sürekli Dalgacık Dönüşümünde, zaman-frekans boyutunun, yüksek ya da alçak frekans bileşenlerini en iyi biçimde analiz edebilecek şekilde farklı büyüklükteki pencerelere ayrılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Sürekli dalgacık dönüşümünde ana dalgacık fonksiyonu, “kabul edilebilirlik (admissibility) koşulu” olarak bilinen temel bir kurala uymaktadır. Bu kabul edilebilirlik koşulu aşağıda denklem 3.22' de ifade edilmektedir:

$$C_{\psi} = \int_0^{\infty} \frac{|\psi(f)|^2}{f} df < \infty \quad (3.22)$$

Denklemden C_{ψ} ana dalgacık fonksiyonunu, $\psi(f)$ frekansın bir fonksiyonu olan $\psi(t)$ 'nin Fourier dönüşümünü ifade etmektedir ki bu dönüşüm denklem 3.23' deki gibidir.

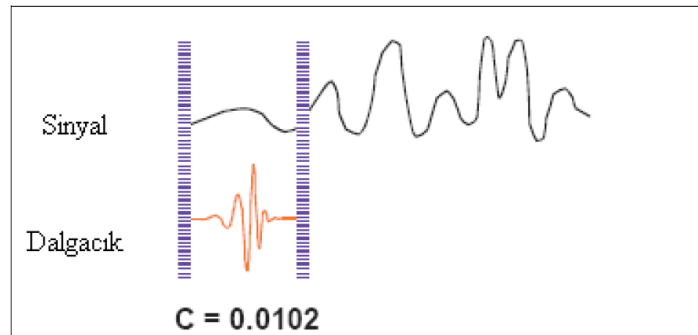
$$\psi(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(u) e^{-2\pi f u} du \quad (3.23)$$

Burada u konum parametresini ifade etmektedir.

Ötelenmiş (kaydırılmış) ve ölçeklenmiş ana dalgacık fonksiyonu, incelenme konusu olan fonksiyona uygulandığında, karmaşık yapıdaki bu fonksiyon, daha basit bileşenlere parçalanmış olmaktadır. Bu işlem; fonksiyonun “analiz edilmesi” (analyzing) ya da “ayrıştırılması” (decomposing) olarak adlandırılmaktadır. Eğer dalgacık fonksiyonu yukarıda bahsedilen “kabul edilebilirlik” koşulunu sağlıyorsa, ters alma işlemi yapılarak dalgacık katsayılarından hareketle fonksiyonun kendisine de ulaşılabilmektedir.

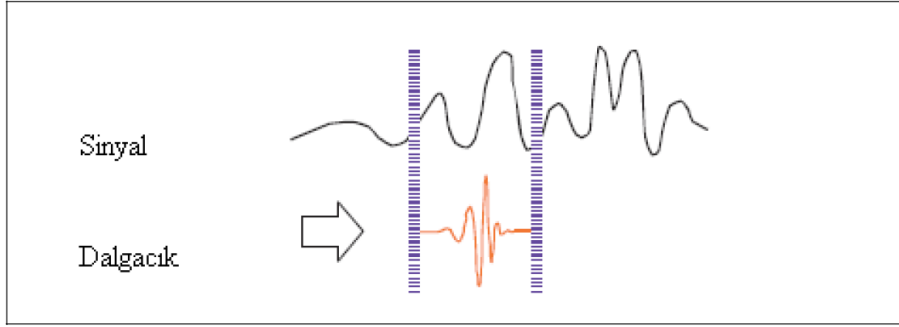
Sürekli dalgacık dönüşümünü aşağıdaki gibi beş adımda gerçekleştirmek mümkündür:

- 1) Dalgacık seçilip, orijinal sinyalde seçtiğimiz kısımla karşılaştırılır. Bu durumda sonuçlar seçilecek dalgacığın şekline bağlı olacaktır.
- 2) Dalgacık katsayısı hesaplanır. Bu katsayı, sinyalin seçilen bölümüyle dalgacık arasındaki ilişkiyi gösterir. Dalgacık katsayısı ne kadar büyük olursa o kadar benzer demektir. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse; eğer sinyalin ve dalgacığın enerjileri bire eşitse C korelasyon katsayısı olarak yorumlanabilir.



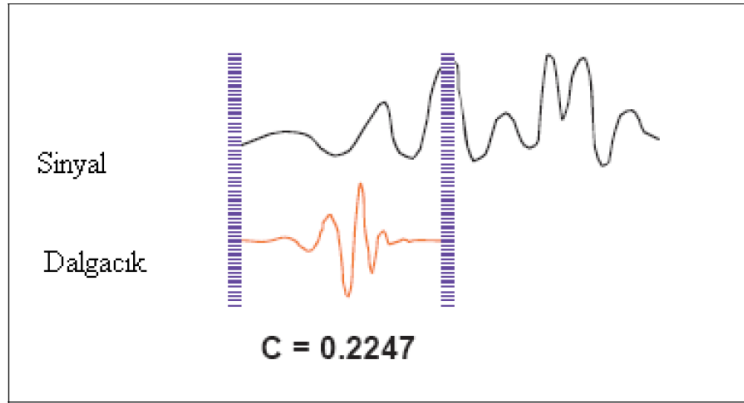
Şekil 3.14 : Sinyalin seçilen bölümüyle dalgacık arasındaki ilişki.

3) Dalgacık sağı kaydırılarak, bütün sinyal kaplanıncaya kadar 1. ve 2. adımlar tekrar edilir.



Şekil 3.15 : Dalgacığın sağı kaydırılması.

4) Ölçek genişletilerek önceki adımlar tekrar edilir.



Şekil 3.16 : Ölçeğin genişletilmesi.

5) Bütün ölçek değerleri için adımlar tekrar edilir ve sinyalin farklı bölümleri ile farklı ölçeklerde üretilen katsayıları elde edilmiş olur.

Sürekli Dalgacık Dönüşümünde ölçek ve konum parametreleri sürekli olarak değiştiğinden, her bir ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcı olabilmektedir.

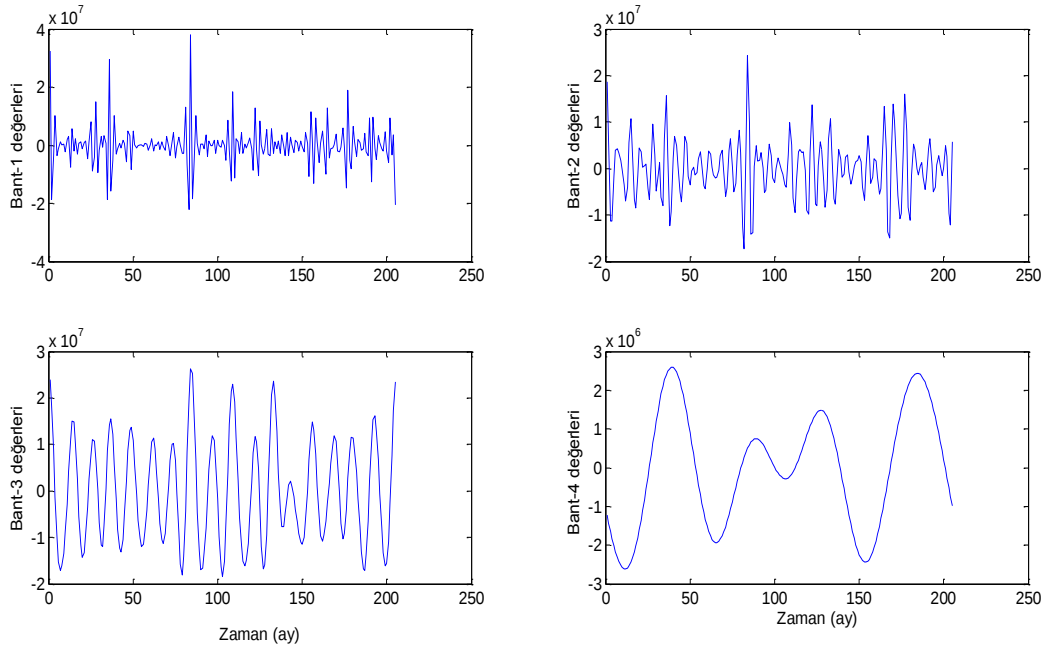
3.2.5.7 Ayırık dalgacık dönüşümü

Eğer olası tüm ölçek aralığında dalgacık analizi yapılırsa çok büyük veri yığınları oluşur. Bunlardan kaçınmak için belirli ölçek grupları tespit edilir ve bu aralıkta analizleri yapılır. Çoğunlukla en pratik ve kullanışlı yol, ölçek ve konum değerleri ikinin kuvveti olacak şekilde seçilmesidir. İşte söz konusu işleme Ayırık Dalgacık Dönüşümü adı verilir. Matematiksel kuram olarak Sürekli Dalgacık Dönüşümünden

hiç bir fark yoktur. Sadece hesap sınırı dizinin zaman alanına, ölçek ve konum değerleri de çalışma yapanın tercihinine bağlıdır.

3.2.5.8 Dalgacık-yapay sinir ağı yöntemi

Bu yaklaşım dalgacık ve YSA yöntemlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dalgacık yöntemi zaman serisini bantlara ayırırken, YSA yöntemi bantlara ayrılmış girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi kurmaktadır. Bu çalışmada, Dalgacık-YSA yöntemi kullanılarak t-ay sonraki akım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Orijinal zaman serisini alt bantlarına ayırmak için sürekli dalgacık analizi (continuous wavelet) kullanılmıştır. Bant aralıklarına karar verebilmek için de ortalama dalgacık spektrumundan yararlanılmıştır. Dalgacık analizi için Morlet dalgacığı kullanılmıştır. Gelen akım zaman serileri alt bantlara ayrıldıktan sonra, her bir bant kendisine karşı gelen girdi değişkeninin bantlarından tahmin edilmiştir. Tahmin yöntemi olarak YSA kullanılmıştır. Son adım olarak, tahmin edilen her bir bant toplanarak tahmin edilen sonuç zaman serisi elde edilmiştir.



Şekil 3.17 : Gelen akım zaman serisinin 4 ayrı bant ile gösterilmesi.

Dalgacık YSA modelini üç adımda özetlemek mümkündür: (1) İlgilenilen zaman serisi alt bantlarına ayrılır. Bu çalışmada gelen akım zaman serisi dört ayrı banta ayrılmıştır (Şekil 3.17). Her bir bant farklı özellikleri barındırmaktadır. Örneğin birinci bant yüksek frekanstaki değişimi temsil ederken, dördüncü bant düşük frekans yani periyodu büyük olan bileşeni ifade eder. Bu sayede zaman serisi daha homojen

bir çok zaman serisi şeklinde gösterilebilmektedir. (2) Üretilen her bir bant ayrı bir zaman serisi gibi ele alınıp, bütün bant modellerinde aynı girdi değişkenleri kullanılarak YSA ile tahmin edilmektedir. Dolayısıyla elimizde dört ayrı bant modeli bulunmaktadır. (3) Son adım olarak ayrılan ve tahmin edilen bantlar tekrar toplanarak sonuç seri elde edilir. Burada, kendi içinde tahmin edilen dört ayrı bantın toplanması ile tahmin sonucu elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE YORUMLAR

Bu çalışmada, İSKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Terkos Barajına yağışlarla gelen aylık bazdaki debiler kullanılarak; otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağları (YSA) ve WAVELET yöntemleri ile aylık bazda sentetik diziler türetilmiş ve hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

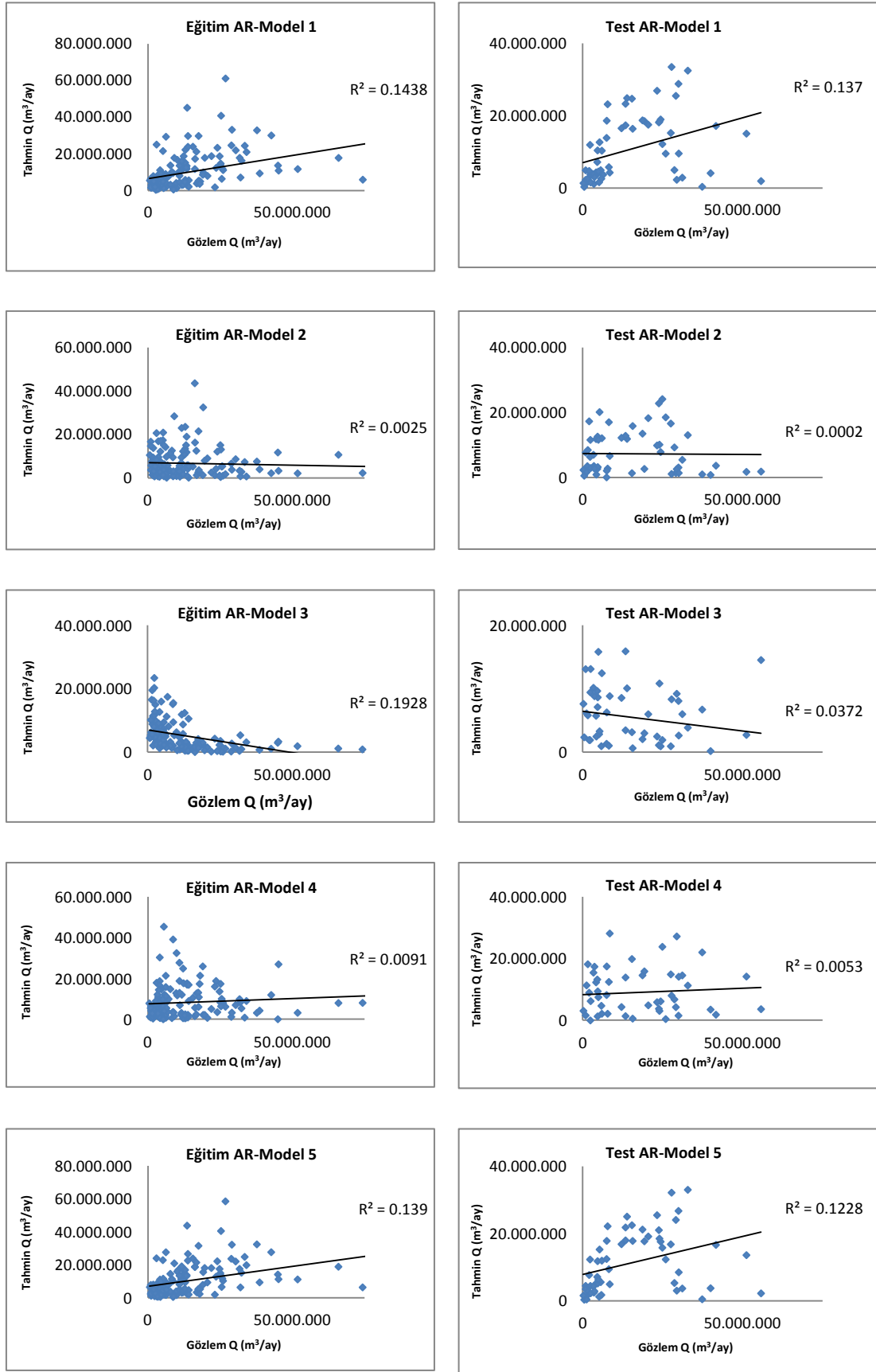
4.1 Otoresif (AR) Modeller

Çalışmada, AR modelleri sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 önceki debi değerleri girdi değişkeni olarak alınarak modeller üretilmiştir.

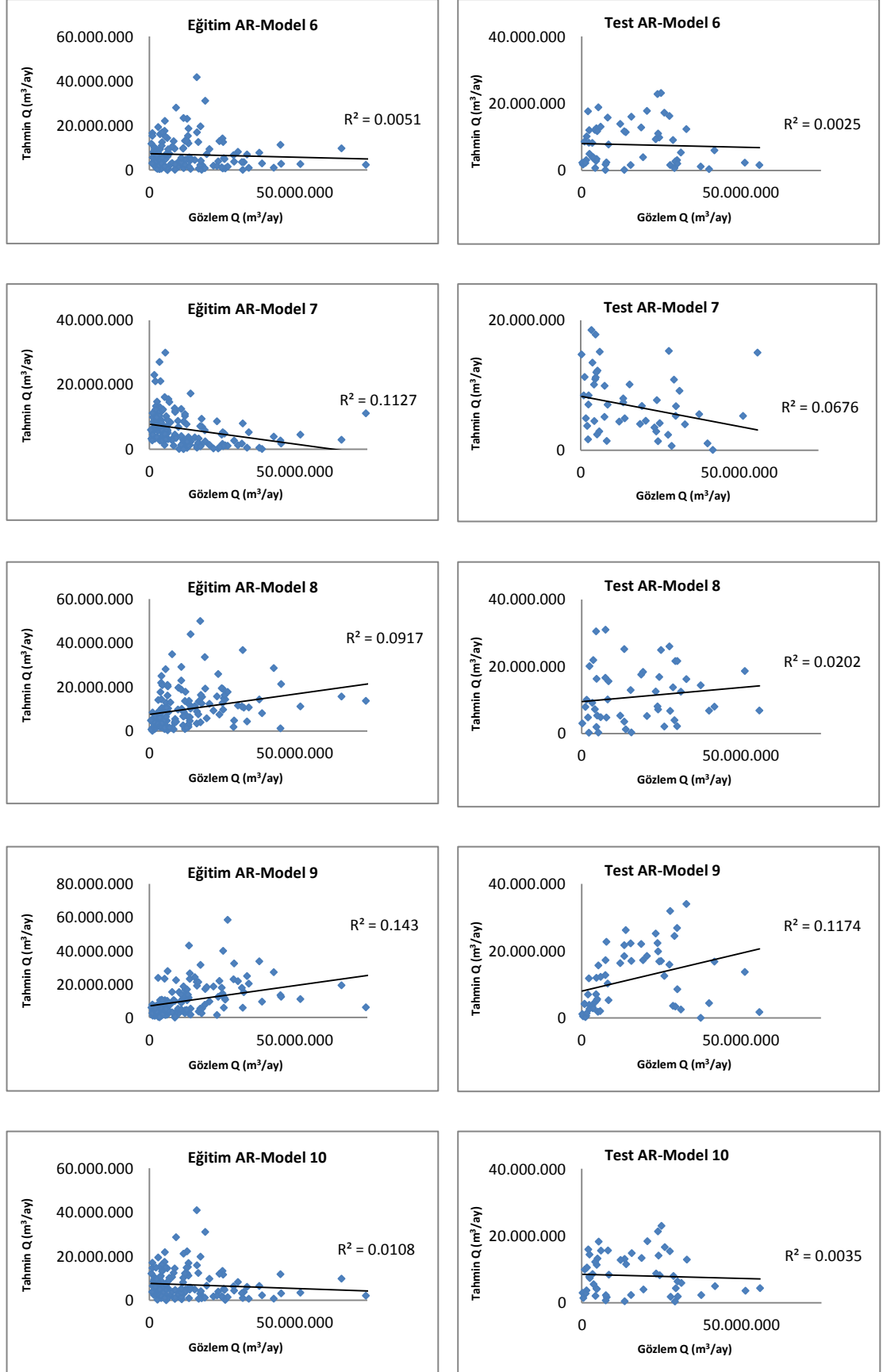
Çizelge 4.1 : AR model adları ve girdi değişkenleri.

Model Adı	Girdi Değişkeni	Çıktı
AR-Model 1	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
AR-Model 2	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
AR-Model 3	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
AR-Model 4	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
AR-Model 5	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
AR-Model 6	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
AR-Model 7	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
AR-Model 8	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
AR-Model 9	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
AR-Model 10	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
AR-Model 11	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
AR-Model 12	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$

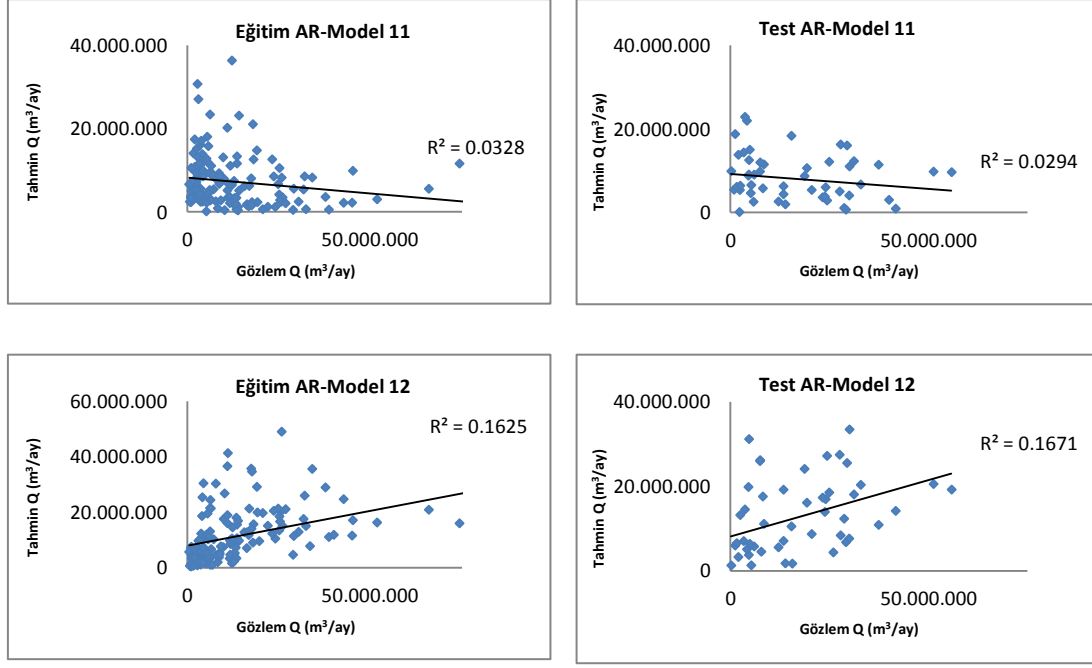
Herbir model için 1, 3, 6 ve 9 ay sonraki debi değerlerine ait saçılma diagramları Şekil 4.1; R^2 , MSE ve Kolerasyon değerleri Çizelge 4.2 verilmiştir.



Şekil 4.1: Otoresresif (AR) modellerin saçılma diagramları.



Şekil 4.1 (devam): Otoregresif (AR) modellerin saçılma diagramları.



Şekil 4.1 (devam) : Otoresif (AR) modellerin saçılma diagramları.

Çizelge 4.2 : AR modellerine ait R^2 , MSE ve korelasyon katsayı değerleri.

Tahmin Edilecek Süre	Model Adı	Eğitim			Test		
		R^2	Korelasyon	MSE	R^2	Korelasyon	MSE
1	AR-Model 1	0.143	0.38	14,737,931	0.137	0.37	14,037,370
	AR-Model 5	0.139	0.37	14,656,914	0.122	0.35	14,065,647
	AR-Model 9	0.143	0.38	14,631,637	0.117	0.34	14,260,743
3	AR-Model 2	0.002	-0.05	17,910,253	0.000	-0.01	17,363,608
	AR-Model 6	0.005	-0.07	17,926,138	0.002	-0.05	17,414,427
	AR-Model 10	0.010	-0.10	17,928,570	0.003	-0.06	17,314,836
6	AR-Model 3	0.192	-0.44	19,350,834	0.037	-0.19	18,702,080
	AR-Model 7	0.112	-0.34	18,849,915	0.067	-0.26	18,537,582
	AR-Model 11	0.032	-0.18	18,112,774	0.029	-0.17	18,025,523
9	AR-Model 4	0.009	0.10	16,938,134	0.005	0.07	17,141,720
	AR-Model 8	0.091	0.30	15,170,438	0.020	0.14	16,360,466
	AR-Model 12	0.162	0.40	14,238,073	0.167	0.41	13,542,735

AR modellerinin R^2 değerleri 0.50 'nin altında olduğundan üretilen modeller yeterli sonuç vermeyeceğinden dolayı kullanılamaz.

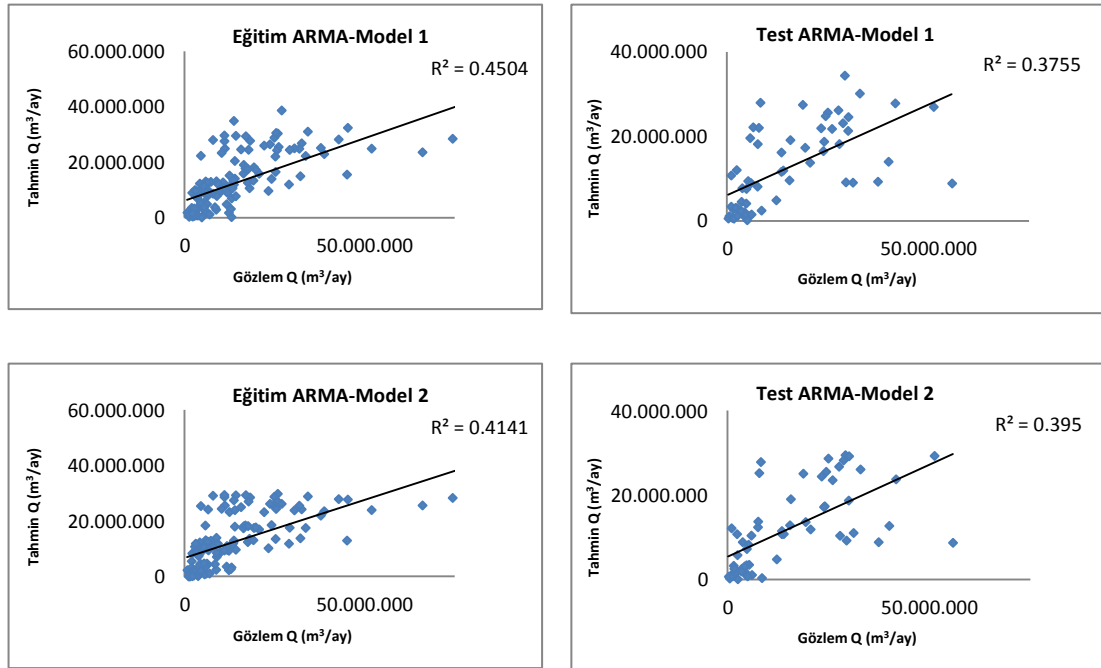
4.2 Otoregresif Hareketli Ortalama Modeller (ARMA)

Çalışmada, ARMA modelleri sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 önceki debi değerleri girdi değişkeni olarak alınarak modeller üretilmiştir.

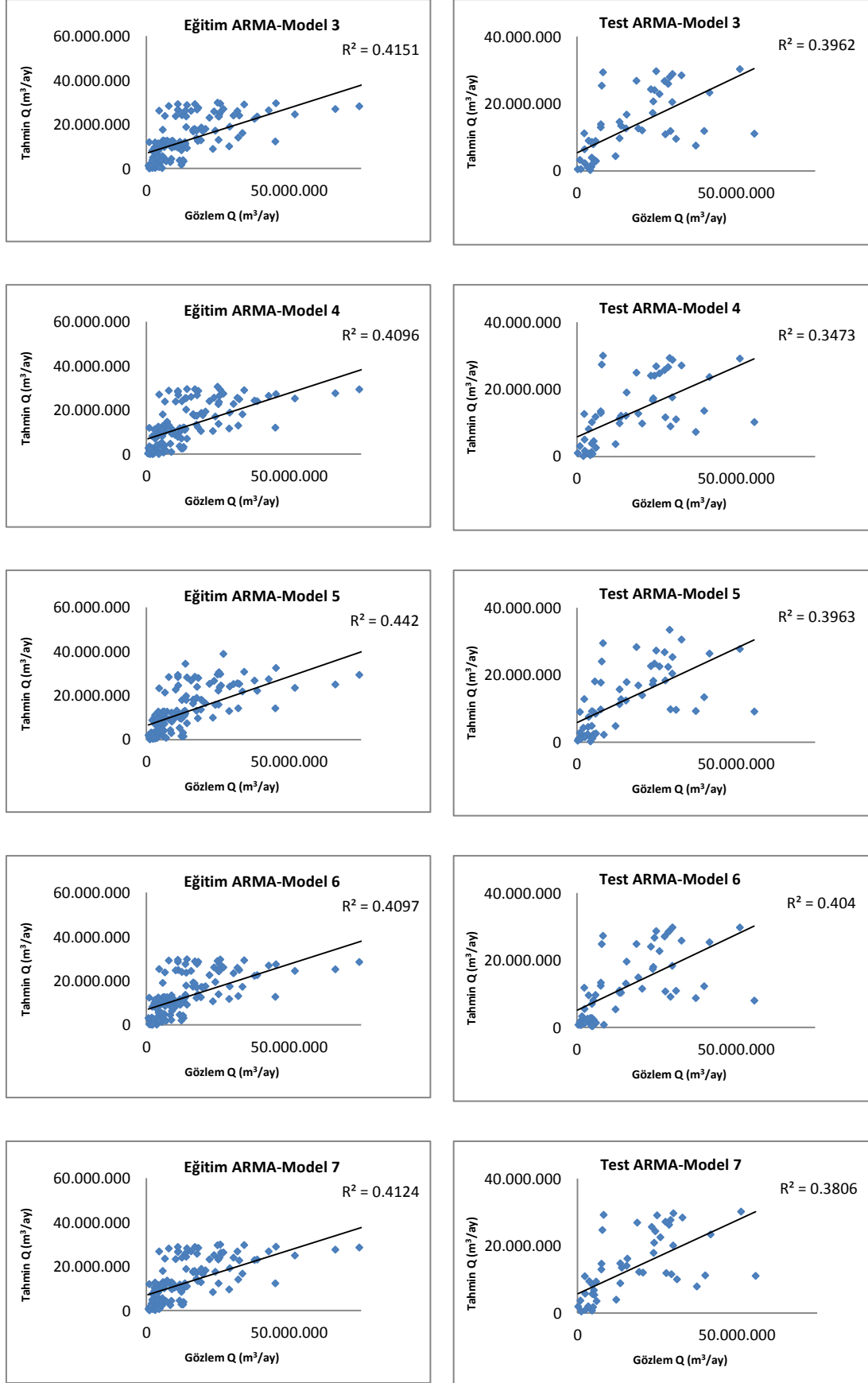
Çizelge 4.3 : ARMA model adları ve girdi değişkenleri.

Model Adı	Girdi Değişkeni	Çıktı
ARMA-Model 1	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
ARMA -Model 2	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
ARMA-Model 3	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
ARMA-Model 4	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
ARMA-Model 5	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
ARMA-Model 6	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
ARMA-Model 7	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
ARMA-Model 8	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
ARMA-Model 9	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
ARMA-Model 10	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
ARMA-Model 11	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
ARMA-Model 12	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$

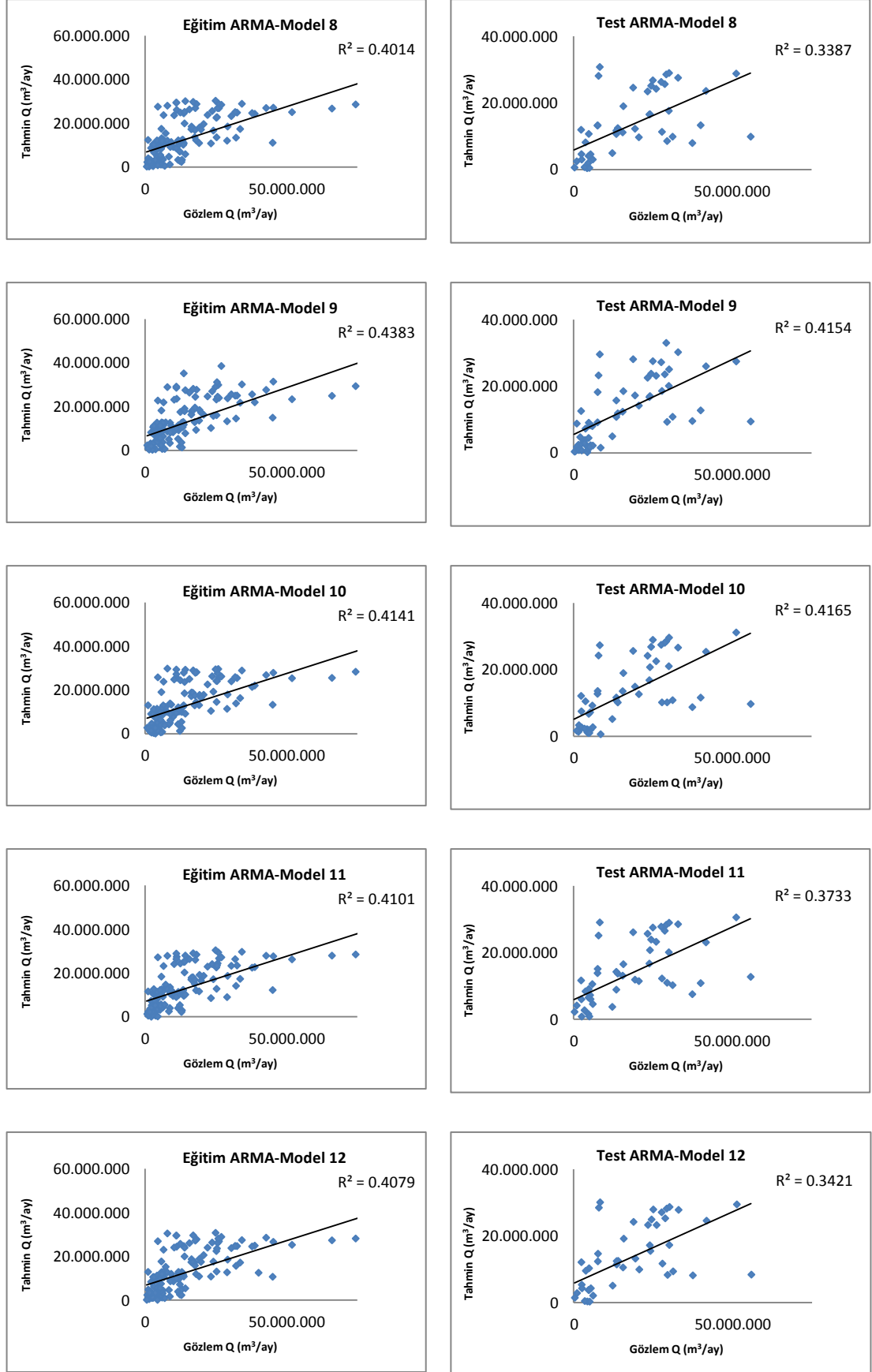
Herbir model için 1, 3, 6 ve 9 ay sonraki debi değerlerine ait saçılma diagramları Şekil 4.2 ; R^2 , MSE ve Kolerasyon değerleri Çizelge 4.4 verilmiştir.



Şekil 4.2 : ARMA modellerinin saçılma diagramları.



Şekil 4.2 (devam): ARMA modellerinin saçılma diagramları.



Şekil 4.2 (devam): ARMA modellerinin saçılma diagramları.

Çizelge 4.4 : ARMA modellerine ait R^2 , MSE ve kolerasyon katsayı değerleri.

Tahmin Edilecek Süre	Model Adı	Eğitim			Test		
		R^2	Korelasyon	MSE	R^2	Korelasyon	MSE
1	ARMA-Model 1	0.450	0.67	11,007,661	0.375	0.61	11,185,437
	ARMA-Model 5	0.442	0.66	11,077,773	0.396	0.63	11,896,613
	ARMA-Model 9	0.438	0.66	11,121,164	0.415	0.64	11,011,171
3	ARMA-Model 2	0.414	0.64	11,356,958	0.395	0.63	11,289,191
	ARMA-Model 6	0.409	0.64	11,399,119	0.404	0.64	11,279,589
	ARMA-Model 10	0.414	0.64	11,346,216	0.416	0.65	11,176,669
6	ARMA-Model 3	0.415	0.64	11,343,508	0.396	0.63	11,377,839
	ARMA-Model 7	0.412	0.64	11,375,678	0.380	0.62	11,484,865
	ARMA-Model 11	0.410	0.64	11,403,143	0.373	0.61	11,574,773
9	ARMA-Model 4	0.409	0.64	11,401,913	0.347	0.59	11,989,816
	ARMA-Model 8	0.401	0.63	11,490,824	0.338	0.58	12,189,576
	ARMA-Model 12	0.407	0.64	11,574,849	0.342	0.58	11,833,493

ARMA modellerinin R^2 değerleri 0.50' nin altında olduğundan üretilen modeller yeterli sonuç vermeyeceğinden dolayı kullanılamaz.

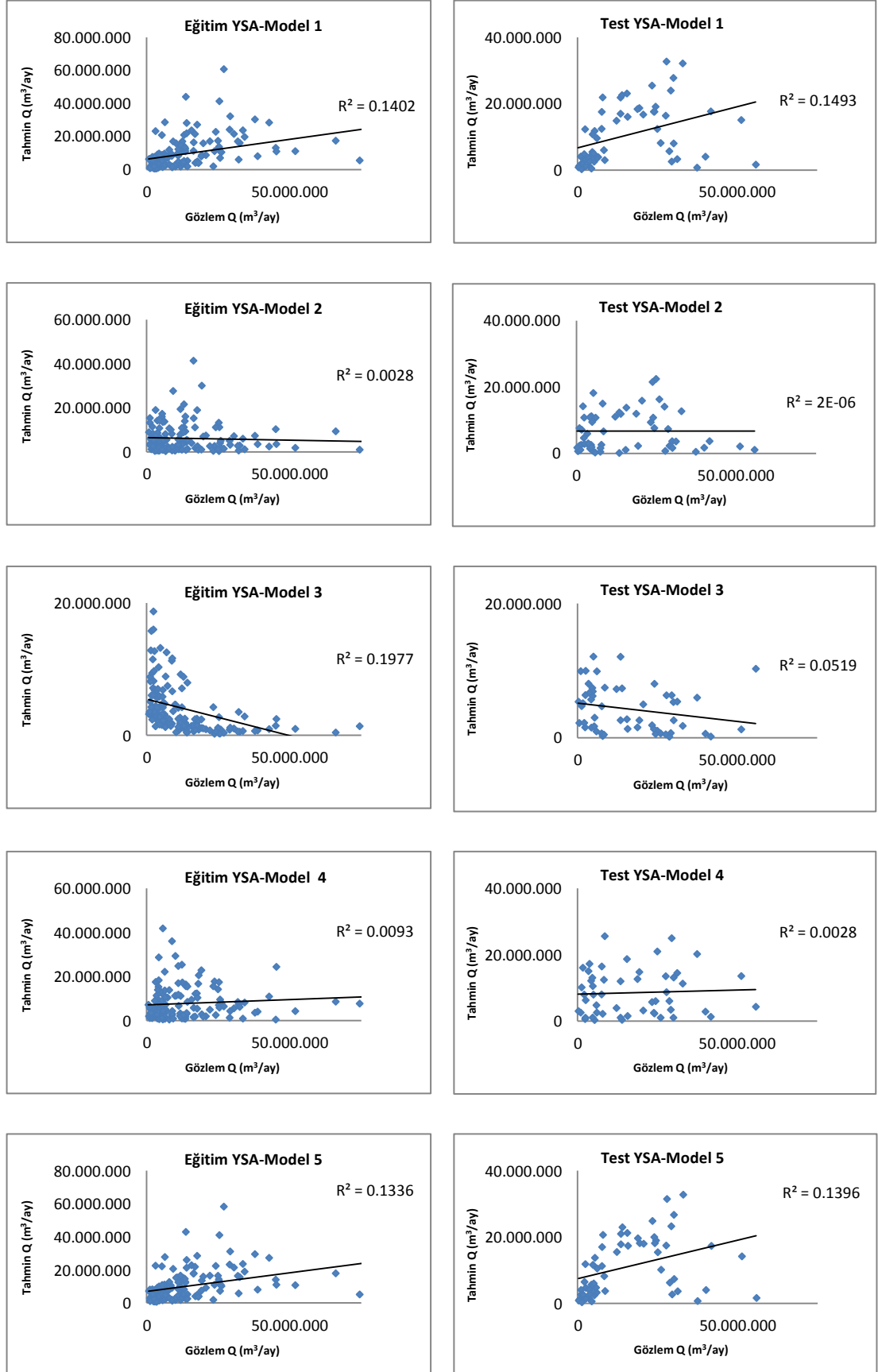
4.3 Yapay Sinir Ağları Yöntemi (YSA)

Çalışmada, YSA modelleri sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 önceki debi değerleri girdi değişkeni olarak alınarak modeller üretilmiştir.

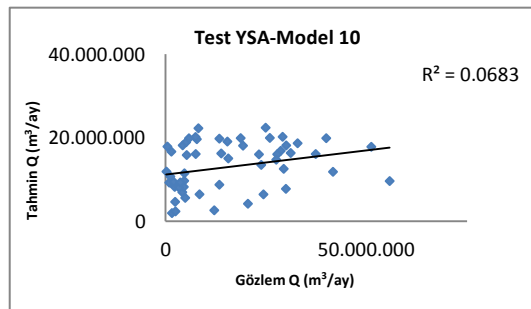
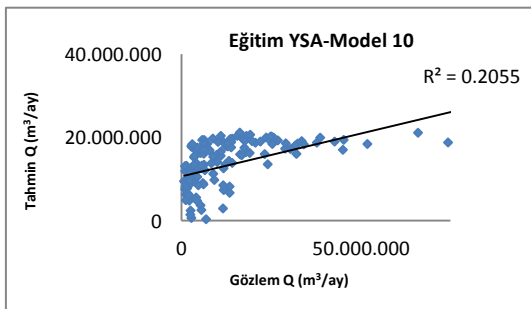
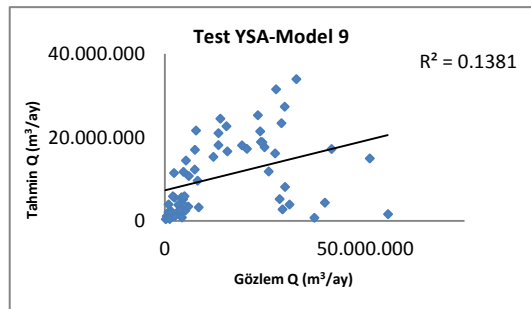
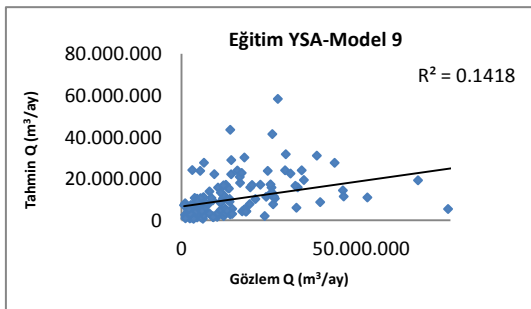
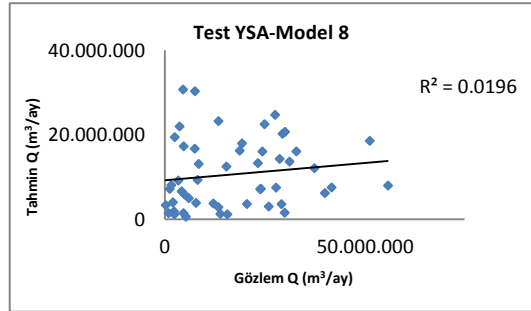
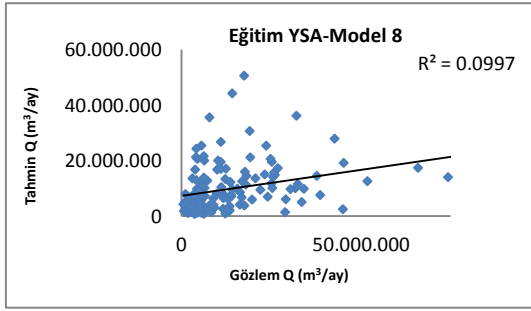
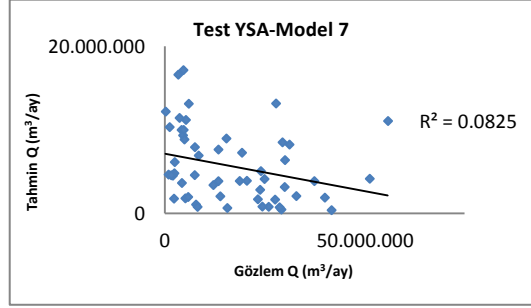
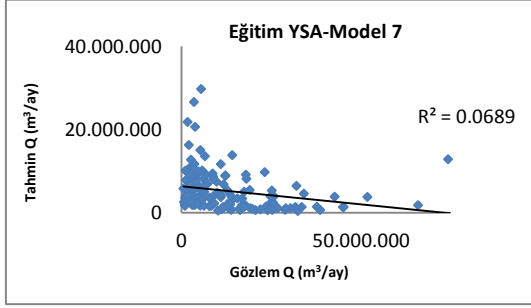
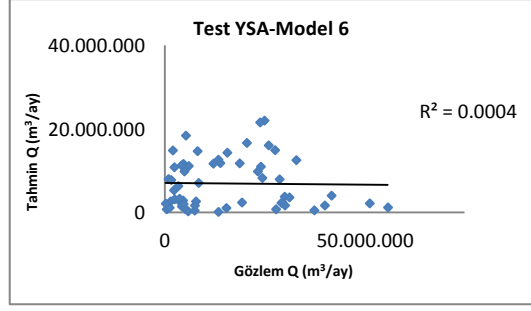
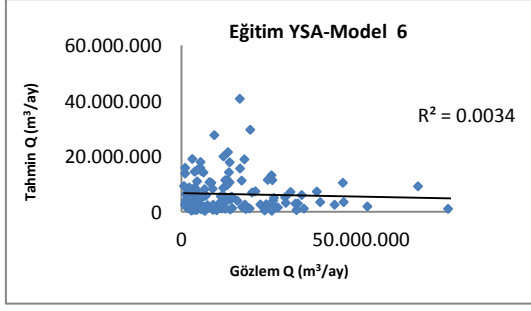
Çizelge 4.5 : YSA model adları ve girdi değişkenleri.

Model Adı	Girdi Değişkeni	Çıktı
YSA-Model 1	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
YSA -Model 2	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
YSA -Model 3	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
YSA -Model 4	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
YSA -Model 5	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
YSA -Model 6	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
YSA -Model 7	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
YSA -Model 8	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
YSA -Model 9	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
YSA -Model 10	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
YSA -Model 11	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
YSA -Model 12	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$

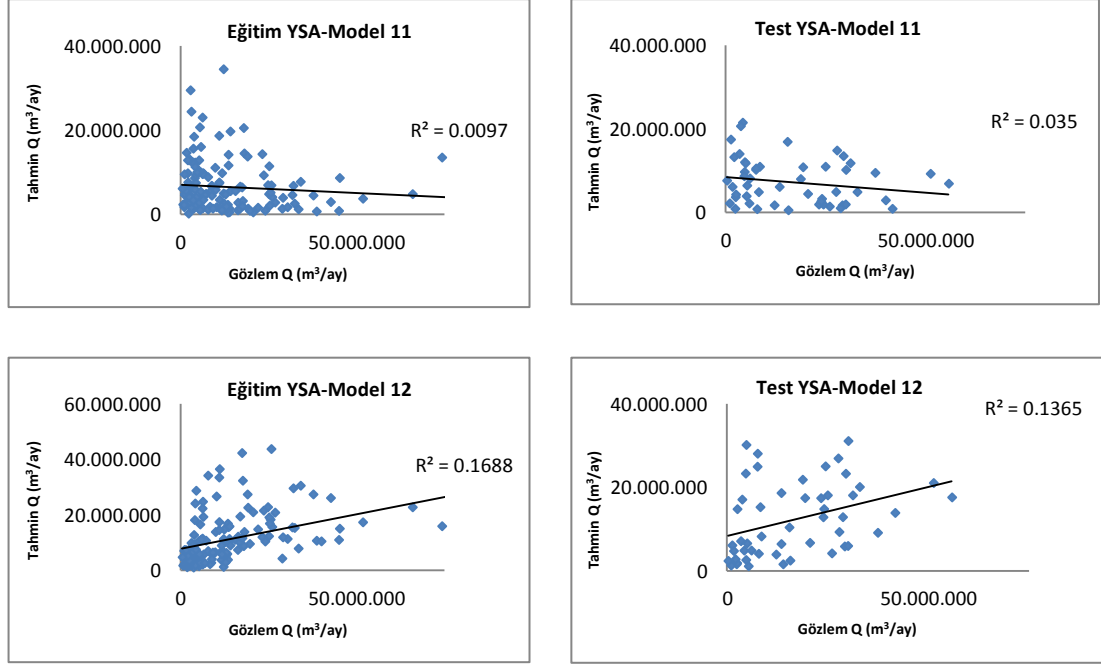
Herbir model için 1, 3, 6 ve 9 ay sonraki debi değerlerine ait saçılma diagramları Şekil 4.3; R^2 , MSE ve Kolerasyon değerleri Çizelge 4.6 verilmiştir.



Şekil 4.3 : YSA modellerinin saçılma diagramları.



Şekil 4.3 (devam): YSA modellerinin saçılma diagramları.



Şekil 4.3 (devam): YSA modellerinin saçılma diagramları.

Çizelge 4.6 : YSA modellerine ait R^2 , MSE ve korelasyon katsayı değerleri.

Tahmin Edilecek Süre	Model Adı	Eğitim			Test		
		R^2	Korelasyon	MSE	R^2	Korelasyon	MSE
1	YSA-Model 1	0.140	0.37	14,742,932	0.149	0.39	13,895,246
	YSA-Model 5	0.133	0.37	14,677,595	0.139	0.37	13,896,613
	YSA-Model 9	0.141	0.38	14,660,686	0.138	0.37	14,016,457
3	YSA-Model 2	0.002	-0.05	17,875,794	2E-06	0.00	17,363,986
	YSA-Model 6	0.003	-0.06	17,854,049	0.000	-0.02	17,459,304
	YSA-Model 10	0.205	0.45	13,161,972	0.068	0.26	13,889,171
6	YSA-Model 3	0.197	-0.44	19,209,732	0.051	-0.23	19,087,556
	YSA-Model 7	0.068	-0.26	18,619,469	0.082	-0.29	18,916,569
	YSA-Model 11	0.009	-0.10	17,873,948	0.035	-0.19	18,433,402
9	YSA-Model 4	0.009	0.10	16,828,750	0.002	0.05	17,253,920
	YSA-Model 8	0.099	0.32	15,031,836	0.019	0.14	16,363,260
	YSA-Model 12	0.168	0.41	14,125,061	0.136	0.37	13,891,632

YSA modellerinin R^2 değerleri 0.50' nin altında olduğundan üretilen modeller yeterli sonuç vermeyeceğinden dolayı kullanılamaz.

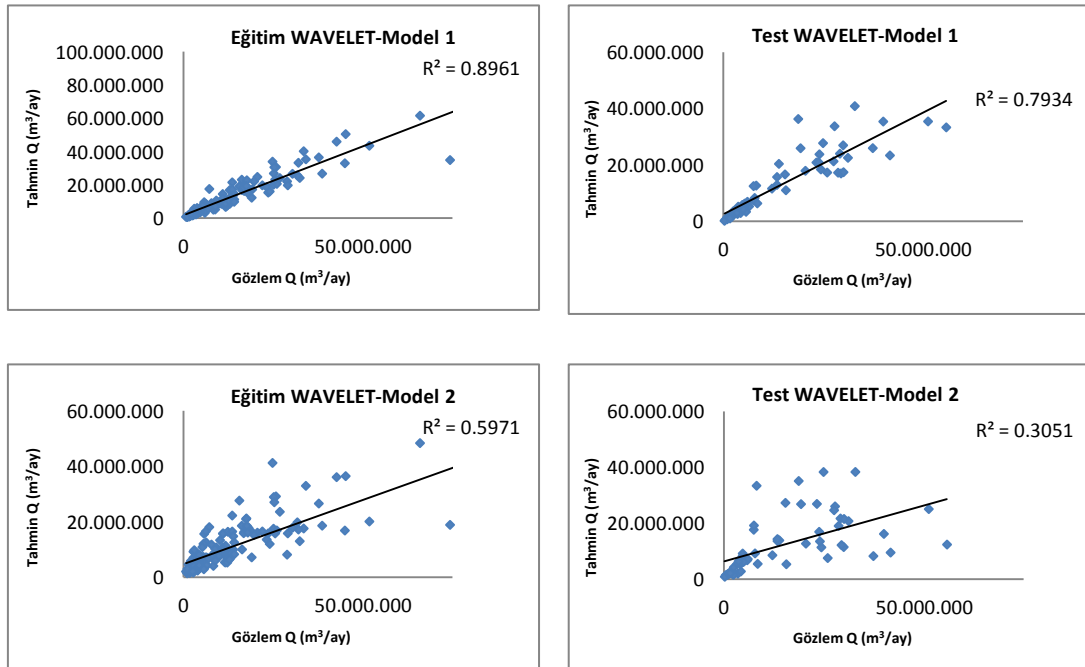
4.4 Dalgacık Yapay Sinir Ağları Modeli (Dalgacık-YSA)

Çalışmada, Dalgacık-YSA modelleri sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 önceki debi değerleri girdi değişkeni olarak alınarak modeller üretilmiştir.

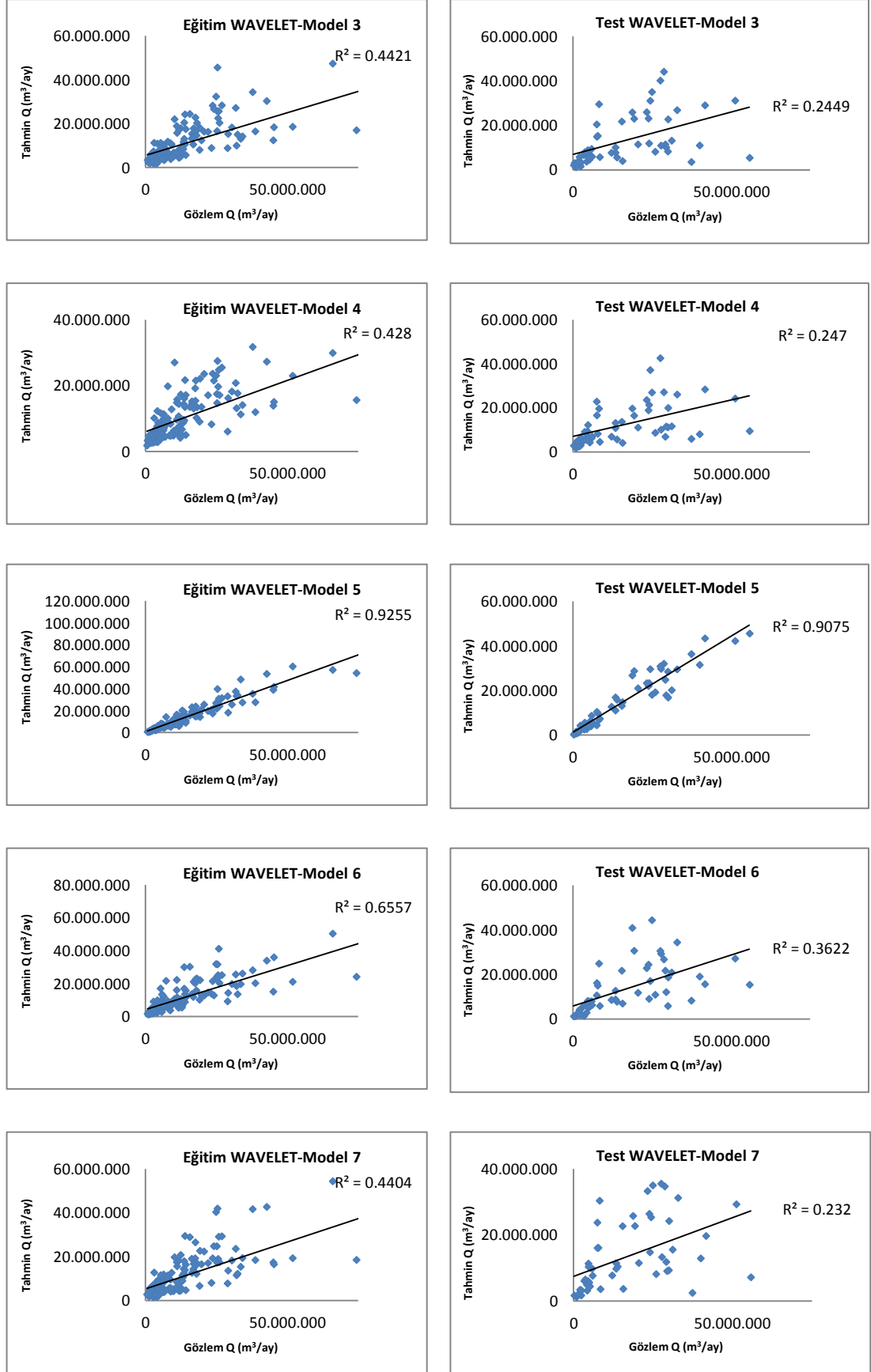
Çizelge 4.7 : Dalgacık-YSA (WANN) model adları ve girdi değişkenleri.

Model Adı	Girdi Değişkeni	Çıktı
WANN-Model 1	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
WANN -Model 2	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
WANN -Model 3	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
WANN -Model 4	$Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
WANN -Model 5	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
WANN -Model 6	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
WANN -Model 7	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
WANN -Model 8	$Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$
WANN -Model 9	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+1)$
WANN -Model 10	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+3)$
WANN -Model 11	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+6)$
WANN -Model 12	$Q(t-3), Q(t-2), Q(t-1), Q(t)$	$Q(t+9)$

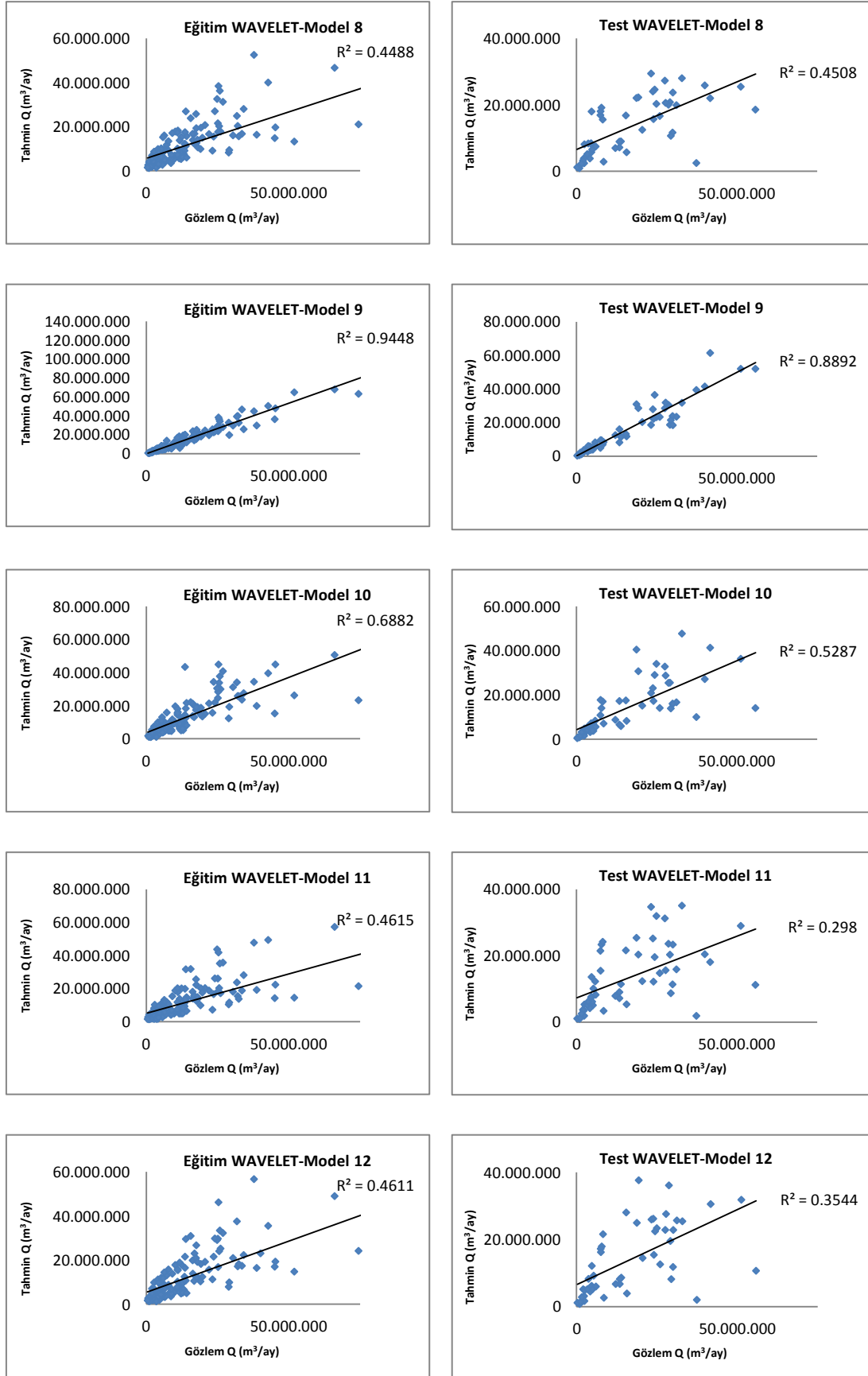
Herbir model için 1, 3, 6 ve 9 ay sonraki debi değerlerine ait saçılma diagramları Şekil 4.4; R^2 , MSE ve Kolerasyon değerleri Çizelge 4.8 verilmiştir.



Şekil 4.4 : Dalgacık-YSA modellerinin saçılma diagramları.



Şekil 4.4 (devam): Dalgacık-YSA modellerinin saçılma diagramları.



Şekil 4.4 (devam): Dalgacık-YSA modellerinin saçılma diagramları.

Çizelge 4.8 : Dalgacık-YSA modellerine ait R^2 , MSE ve kolerasyon katsayıları.

Tahmin Edilecek Süre	Model Adı	Eğitim			Test		
		R^2	Korelasyon	MSE	R^2	Korelasyon	MSE
1	WANN-Model 1	0.896	0.95	4,911,543	0.793	0.89	6,525,749
	WANN -Model 5	0.925	0.96	4,029,565	0.907	0.95	4,327,987
	WANN -Model 9	0.944	0.97	4,048,924	0.889	0.94	4,868,969
3	WANN -Model 2	0.597	0.77	10,010,077	0.305	0.55	12,079,475
	WANN -Model 6	0.655	0.81	9,166,147	0.362	0.60	11,578,159
	WANN-Model 10	0.688	0.83	8,284,551	0.528	0.73	9,797,062
6	WANN -Model 3	0.442	0.66	11,392,011	0.244	0.49	12,971,640
	WANN -Model 7	0.440	0.66	11,290,347	0.232	0.48	12,974,348
	WANN-Model 11	0.461	0.68	11,019,258	0.298	0.55	12,125,120
9	WANN -Model 4	0.428	0.65	11,913,015	0.247	0.50	12,967,817
	WANN -Model 8	0.448	0.67	11,208,824	0.450	0.67	10,926,155
	WANN-Model 12	0.461	0.68	11,149,671	0.354	0.60	11,481,532

Bu çalışmada Terkos gölüne ait aylık gelen debilerin zaman serileri, AR, ARMA, YSA, ve Dalgacık-YSA yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Öngörülen modellerin sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Aylık gelen debilerin zaman serileri farklı frekanslar bileşenlerini içermektedir. Düşük frekanslı değerler uzun zaman aralığında meydana gelen değişimleri gösterirken, yüksek frekanslar ise kısa zaman zarfındaki değişimleri yani gürültü değerlerini ifade eder. Zaman serilerinin doğrudan tahmini yüksek frekanslı gürültü bileşenlerini ve diğer bileşenleri içerdiğinden oldukça zordur. Dalgacık (Wavelet) dönüşümü, zaman serilerini, her bandı ayrı ayrı dikkate almayı mümkün kılan farklı frekanslara ayırabilmektedir. Bu çalışmada debi zaman serisi dört farklı banda ayrılmıştır. Daha sonra her bir bant YSA yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Sonuç olarak, tahmin edilen her bir farklı bant Dalgacık-YSA tahmin değerlerini elde etmek için birleştirilmiştir.

Debi zaman serileri, eğitim ve test verileri olarak ikiye ayrılmıştır. Verilerin son üçte birlik kısmı teste tabi tutulurken, kalan kısım ise model parametrelerinin eğitimi için kullanılmıştır. Girdi değişkenleri olarak farklı kombinasyonlar kullanılmıştır. Tahminler 1, 3, 6 ve 9 aylık zaman sonrası için gerçekleştirilmiştir.

Herbir tahmin modeli sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 önceki debi değerleri girdi değişkeni olarak alınarak modeller üretilmiştir. Bütün yöntemler için 1, 3, 6 ve 9 aylık tahmin süreleri için en verimli model sonuçları Çizelge 4.9 verilmiştir. Bu çalışmadaki model sonuçlarına göre; 1- ay sonrası için tahminlerde AR-modeli için R^2 değeri 0.143, ARMA-modeli için R^2 değeri 0.438, YSA-modeli için R^2 değeri 0.450 ve WAVELET-YSA modeli için R^2 değeri 0.925 elde edilmiştir. 3 - ay sonrası için tahminlerde AR-modeli için R^2 değeri 0.01, ARMA-modeli için R^2 değeri 0.414, YSA-modeli için R^2 değeri 0.414 ve Dalgacık-YSA modeli için R^2 değeri 0.688 elde edilmiştir. 6 - ay sonrası için tahminlerde AR-modeli için R^2 değeri 0.192, ARMA-modeli için R^2 değeri 0.415, YSA-modeli için R^2 değeri 0.412 ve WAVELET-YSA modeli için R^2 değeri 0.461 elde edilmiştir. 9-aylık tahminlerde AR-modeli için R^2 değeri 0.162, ARMA-modeli için R^2 değeri 0.409, YSA-modeli için R^2 değeri 0.407 ve WAVELET-YSA modeli için R^2 değeri 0.448 elde edilmiştir. AR, ARMA ve YSA modellerinin 1, 3, 6 ve 9 ay sonrası tahminlerinin R^2 değerleri 0.50'nin altında kaldığı için dikkate alınmamıştır. Dalgacık-YSA modelinin 6 ve 9 ay sonrası tahminlerinin R^2 değeri 0.50'nin altındadır. Ancak Dalgacık-YSA modelinin 1 ve 3 ay sonrası tahminlerinin R^2 değerleri 0.50'nin üzerinde olduğu için kullanılabilir düzeydedir.

Çizelge 4.9 : AR, ARMA, YSA ve Dalgacık-YSA modellerinin 1, 3, 6 ve 9 aylık tahmin süreleri için model sonuçları.

Tahmin edilecek süre (ay)	Model Adı	Eğitim			Test		
		R ²	Korelasyon	MSE	R ²	Korelasyon	MSE
1	AR-Model 1	0.143	0.38	14,737,931	0.137	0.37	14,037,370
	ARMA-Model 9	0.438	0.66	11,121,164	0.415	0.64	11,011,171
	YSA-Model 1	0.140	0.37	14,742,932	0.149	0.39	13,895,246
	WAVE-Model 5	0.925	0.96	4,029,565	0.907	0.95	4,327,987
3	AR-Model 10	0.01	-0.1	17,928,570	0.003	-0.06	17,314,836
	ARMA-Model 10	0.414	0.64	11,346,216	0.416	0.65	11,176,669
	YSA-Model 10	0.205	0.45	13,161,972	0.068	0.26	13,889,171
	WAVE-Model 10	0.688	0.83	8,284,551	0.528	0.73	9,797,062
6	AR-Model 3	0.192	-0.44	19,350,834	0.037	-0.19	18,702,080
	ARMA-Model 3	0.415	0.64	11,343,508	0.396	0.63	11,377,839
	YSA-Model 7	0.068	-0.26	18,619,469	0.000	-0.29	18,916,569
	WAVE-Model 11	0.461	0.68	11,019,258	0.298	0.55	12,125,120
9	AR-Model 12	0.162	0.4	14,238,073	0.167	0.41	13,542,735
	ARMA-Model 4	0.409	0.64	11,401,913	0.347	0.59	11,989,816
	YSA-Model 12	0.168	0.41	14,125,061	0.136	0.37	13,891,632
	WAVE-Model 8	0.448	0.67	11,208,824	0.450	0.67	10,926,155

5. SONUÇLAR

Hidroloji uygulamalarında, yaygın kullanıma sahip olan zaman serilerinin analizinde bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler, belirlenmesi gereken parametrelerin fazla olması, eğilim ve dönemsellik (mevsimsellik) bileşenleri içermesi, değişken ve rastlantısal olması ve dolayısıyla zaman kaybına neden olması şeklinde tanımlanabilirler. Bu çalışmada, belirtilen problemleri ortadan kaldırmak maksadıyla tarihi debi kayıtları dikkate alınarak Terkos Gölüne gelen aylık bazdaki debiler kullanılarak gelecekte belli bir tarihte gelen debinin tahmin edilmesinde hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiği tespit edilmesi amaçlanmıştır.

İncelenen literatür ışığında otoregresif modeller ve yapay zeka modellerin tek başına kullanıldığı gibi bir arada kullanılması konusunda farklı hibrit modeller ile çalışılmıştır. Debi tahmininin belirlenmesinde genel olarak stokastik modellerden yararlanıldığı ancak son zamanlarda hidrolojik problemlerin çözümünde hibrit modeller daha hassas sonuçlar verdiği için tercih edildiği görülmektedir. Fakat literatürde Hibrit modeller ile baraj haznesine gelen debi tahmini konusunda yeterli düzeyde çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada terkos gölüne gelen debi tahmini için, otoregresif(AR), otoregresif hareketli ortalama (ARMA), yapay sinir ağları (YSA) ve Dalgacık-YSA (WAVELET-YSA) yöntemleri ile aylık bazda sentetik diziler türetilmiş ve hangi yöntemin daha hassas sonuç verdiğini tespit edebilmek için modellerin R^2 , MSE ve Korelasyon değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Herbir tahmin modeli sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 önceki debi değerleri girdi değişkeni olarak alınarak modeller üretilmiştir. Bütün yöntemler için 1, 3, 6 ve 9 aylık tahmin süreleri için modeller üretilmiştir. Model sonuçlarına göre; 1-ay sonrası için tahminlerde AR, ARMA, YSA modellerinin R^2 , Korelasyon ve MSE değerleri kabul edilebilir seviyede olmadığı için bu yöntemler dikkate alınmamıştır. Dalgacık-YSA modeli için R^2 , Korelasyon ve MSE değerleri sırasıyla 0.925, 0.96 ve 4,029,565 elde edilmiştir. 3-aylık tahminlerde AR, ARMA, YSA modellerinin R^2 , Korelasyon ve MSE değerleri kabul edilebilir seviyede olmadığı için bu yöntemler dikkate

alınmamıştır. Dalgacık-YSA modeli için R^2 , Korelasyon ve MSE değerleri sırasıyla 0.698, 0.83 ve 8,284,551 elde edilmiştir.

Sonuç olarak, araştırılan metotlar içinde hangi metodun daha hassas sonuçlar verdiği noktasında, Dalgacık-YSA modeli 1 ve 3 ay sonrası tahminler için iyi performans göstermesinden dolayı debi tahmini hesaplamalarında kullanılabileceği görülmüştür. AR, ARMA, YSA modellerinin 1, 3, 6 ve 9 aylık tahminleri ile Dalgacık-YSA modelinin ise 6 ve 9 aylık tahminlerinin yetersiz kaldığı, ancak Dalgacık-YSA modelinin 1 ve 3 aylık tahmin değerlerinin iyi olmasından dolayı debi tahmini gerektiren hidrolojik çalışmalarda, eksik verilerin tamamlanması ve ileriye yönelik debi tahmininde kullanılabilir. Bununla birlikte Terkos Gölü için oluşturulan model Türkiye'nin diğer barajlara gelen debi tahmininde de havza özellikleri dikkate alınarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Adarnowski, J. F.** (2008). Development of a short-term river flood forecasting method for snowmelt driven floods based on wavelet and cross-wavelet analysis. *Journal of Hydrology*, 353 (3-4), 247-266.
- Ağralıoğlu, N., Erkek, C., Kapdaşlı, S., Uyumaz, A.** (1987). Terkos Gölü'nde İşletme Kapasitesinin Artırılması ve Kıyı Koruması. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, 24 s., İstanbul.
- Akşıay, F., Bekbölet, M., Eroskay, O.** (1990). Terkos Gölü ve Çevresi Fiziksel Kimyasal ve Ekolojik Dengesinin Araştırılması. Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, 88 s., İstanbul.
- Aygün, N.** (1994). Terkos Gölü ve Çevresindeki Yerleşim Alanlarının İçme Suyu Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Beşeri ve İktisadi Coğrafya Anabilim Dalı, 65 s. , İstanbul .
- Baki, T.** (1997). Terkos Gölü Su Kalitesi Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 118 s. , İstanbul.
- Bargu, S., Doğan, E., Eroskay, O.** (1995). Terkos Havzası Sonuç Raporu Cilt I. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, İstanbul .
- Bayazıt, M.** (1986). Hidrolojide İstatistik Yöntemler. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Bayazıt, M.** (1996). İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1573, 245s, İstanbul.
- Bayazıt, M.** (1998). Hidrolojik Modeller. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1602, 228s, İstanbul.
- Bayazıt, M., Bulu, A.** (1988). Complex Markov models to simulate persistent streamflows. *Journal of Hydrology*, 103(3-4), 199-207.
- Bayazıt, M., Bulu, A.** (1991). Generalized probability distribution of reservoir capacity. *Journal of Hydrology*, 126(3-4), 195-205.
- Bender, M., Simonovic, S.** (1994). Time-Series Modeling for Long-Range Stream-Flow Forecasting. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 120(6), 857-870.
- Birikundavyi, S., Labib, R., Trung, H. T., Rousselle, J.** (2002). Performance of neural networks in daily streamflow forecasting. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(5), 392-398.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G. C.** (1994). Time Series Analysis, Forecasting and Control. 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall.

- Byfield, A. ve N. Özhatay.** (1993). Türkiye' nin Kuzey Kumullarının Korunmasına Yönelik Rapor. Doğal Hayatı Koruma Derneği (DHKD) ve Fauna and Flora International (FFI), 55 s., İstanbul .
- Carlson, R.F., MacCormick, A. J. A., Watts, D. G.** (1970). Application of linear models to four annual streamflow series. *Journal of Water Resources Research*, 6(4), 1070-1078.
- Chang, F. J., Chang, L. C., Wang, Y. S.** (2007). Enforced self-organizing map neural networks for river flood forecasting. *Hydrological Processes*. 21(6), 741-749.
- Chang, F. J., Chen, Y. C.** (2001). A counterpropagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction. *Journal of Hydrology*. 245 (1-4),153-164.
- Chang, L. C., Chang, F. J.** (2001). Intelligent control for modelling of real-time reservoir operation. *Hydrological Processes*. 15(9), 1621-1634.
- Chang, T. J., Delleur, J. W., Kavas, M. L.** (1987). Application of Discrete Autoregressive Moving Average models for estimation of daily runoff. *Journal of Hydrology*, 91(1-2), 119-135.
- Chen, C. S., Liu, C. H., Su, H. C.** (2008). A nonlinear time series analysis using twostage genetic algorithms for streamflow forecasting. *Hydrological Processes*. 22(18), 3697-3711.
- Chen, S. H., Lin, Y. H., Chang, L. C., Chang, F. J.** (2006). The strategy of building a flood forecast model by neuro-fuzzy network. *Hydrological Processes*. 20(7),1525-1540.
- Chiang, Y. M., Chang, L. C., Chang, F. J.** (2004). Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*. 290, 297-311.
- Chiu, Y. C., Chang, L. C., Chang, F. J.** (2007). Using a hybrid genetic algorithmsimulated annealing algorithm for fuzzy programming of reservoir operation. *Hydrological Processes*. 21(23), 3162-3172.
- Cıgızoğlu, H. K.** (2005).Application of Generalized Regression Neural Networks to Intermittent Flow Forecasting and Estimation. *Journal of Hydrologic Engineering*. 10(4), 336-341.
- Coley, D. M., Waylen, P. R.** (2006). Forecasting Dry Season Streamflow On The Peace Rwer At Arcadia, Florida, Usa. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(4), 851-862.
- Crissman, R. D., Chiu, L. C., Yu, W., Mizumura, K., Corbu, I.** (1993). Uncertainties in Flow Modeling and Forecasting for Niagara River. *Journal of Hydraulic Engineering*. 119(11), 1231-1250.
- Çetiner, A., H. Türkoğlu ve Ö. Güngör.** (1995). Terkos Havzası Sonuç Raporu Cilt I. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, İstanbul.
- Çolak Ö. H.** (2006). Dalgacık Analizi Kullanılarak Sismik Sinyallerin Analizi,Sakarya Üniversitesi, Doktora Bitirme Tezi, (27-28).

- Deka, P., Chandramouli, V.** (2005). Fuzzy Neural Network Model for Hydrologic Flow Routing. *Journal of Hydrologic Engineering*. 10(4), 302-314.
- DeLurgio, S.A.** (1998). *Forecasting principles and applications*. McGraw-Hill, 802s, NewYork.
- Duan, Q., Ajami, N. K., Gao, X., Sorooshian, S.** (2007). Multi-model ensemble hydrologic prediction using Bayesian model averaging. *Advances in Water Resources*. 30, 1371–1386.
- El-Shafie, A., Taha, M. R., Noureldin, A.** (2007). A neuro-fuzzy model for inflow forecasting of the Nile river at Aswan high dam. *Water Resources Management*. 21 (3), 533-556.
- Erdoğan, P., Pekçakar, A.** (2009). Dalgacık Dönüşümü ile EKG Sinyallerin Özellik Çıkarımı ve Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu.
- Eruz, E., K. Şengönül ve Ö. Karagöz.** (1995). Terkos Havzası Sonuç Raporu Cilt I. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, İstanbul .
- Fırat, M., Güngör, M.** (2008). Hydrological time-series modelling using an adaptive neuro-fuzzy inference system. *Hydrological Processes*, 22(13), 2122-2132.
- Gaucherel, C.** (2002). Use of wavelet transform for temporal characterisation of remote watersheds. *Journal of Hydrology*, 269,101-121.
- Graps A.** (1995). An Introduction to Wavelets. *Computational Science & Engineering*, IEEE 2 (2), 50-61.
- Gençay, R., Selçuk, F. ve Whitcher, B.** (2002). *An Introduction to Wavelets and other Filtering Methods in Finance and Economics*, Academic Pres, U.S.A.
- Gopakumar, R., Takara, K., James, E. J.** (2007). Hydrologic data exploration and river flow forecasting of a humid tropical river basin using artificial neural networks. *Water Resources Management*. 21, 1915-1940.
- Güler, İ., Übeyli, E. D.** (2004). Dalgacık Dönüşümünün Kullanımı ile Teşhis Sistemleri İçin Öznitelik Çıkarma: İç Karatoid Atardamar Doppler İşaretlerinin Durum Analizi, Gazi Üniversitesi, (24).
- Güner, U.** (2006). Terkos Gölü Kerevitleri (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1923)'nin bazı morfolojik özellikleri, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23, (1-2): 163-167.
- Haktanır, T.** (1991). Statistical modeling of annual maximum flows in Turkish Rivers. *Hydrological Sciences*, 36(4), 367-389.
- Hamlet, A. F., Lettenmaier, D. P.** (1999). Columbia River Streamflow Forecasting Based on ENSO and PDO Climate Signals. *Journal of Water Resources Planning & Management*, 125(6), 333-341.
- Hipel, K. W., Lennox, W. C., McLeod, A. I.** (1975). Intervention analysis in water resources. *Journal of Water Resources Research*, 855-857.

- Hipel, K. W., Lennox, W. C., McLeod, A. I.** (1977). Advances in Box Jenkins modeling, 1. Model construction. *Journal of Water Resources Research*, 13(3), 567-580.
- Hsu, N. S., Kuo, J. T., Chu, W. S., Lin, Y. J.** (1995). Proposed Daily Streamflow-Forecasting Model for Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Planning & Management*, 121(2), 132-143.
- Huang, W., Xu, B., Chan-Hilton, A.** (2004). Forecasting flows in Apalachicola River using neural networks. *Hydrological Processes*. 18(13), 2545-2564.
- Jakeman, A. J., Dyer, B. G., Francis, R. I., Schreider, S. Y.** (1997). A combined deterministic and self-adaptive stochastic algorithm for streamflow forecasting with application to catchments of the Upper Murray Basin, Australia. *Environmental Modelling & Software*, 12(1), 93.
- Jeong, D. Il., Kim, Y. O.** (2005). Rainfall-runoff models using artificial neural networks for ensemble streamflow prediction. *Hydrological Processes*. 19(19), 3819-3835.
- Karabörk, Ç.** (1997). Yıllık ve Aylık Akımların Stokastik Modellemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s.
- Keskin, M. E., Taylan, D., Terzi, Ö.** (2006). Adaptive neural-based fuzzy inference system (ANFIS) approach for modelling hydrological time series. *Hydrological Sciences Journal*, 51(4), 588-598.
- Keskin, M. E., Taylan, E. D.** (2009). Artificial models for interbasins flow prediction in southern of Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*.
- Kiş, Ö.** (2008). Stream flow forecasting using neuro-wavelet technique. *Hydrological Processes*, 22(20), 4142-4152.
- Köken, A.** (1991). Terkos ve Büyükçekmece Gölleri Çevresinin Litolojik Özellikleri ve Jeomorfolojisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 112 s., İstanbul .
- Kuo, J. T., Sun, Y. H.** (1993). An intervention model for average 10 day streamflow forecast and synthesis. *Journal of Hydrology*, 151(1), 35-56.
- Labat, D., Ababou, R., Mangin, A.** (2000). Rainfall-runoff relations for karstic springs. Part H: continuous wavelet and discrete orthogonal multiresolution analyses. *Journal of Hydrology*, 238, 149-178.
- Lafreniere, M., Sharp, M.** (2003). Wavelet Analysis of inter-annual variability in the runoff regimes of glacial and nival stream catchments, Bow Lake, Alberta. *Hydrological Processes*, 17, 1093-1118.
- Liong, S. Y., Chan, W. T., Ram, J. S.** (1995). Peak-Flow Forecasting with Genetic Algorithm and SWMM. *Journal of Hydraulic Engineering*. 121(8), 613-617.
- Lungu, E. M., Sefe, F. T. K.** (1991). Stochastic analysis of monthly streamflows. *Journal of Hydrology*, 126, 171-182.
- Makkeasorn, A., Chang, N. B., Zhou, X.** (2008). Short-term streamflow forecasting with global climate change implications – A comparative

- study between genetic programming and neural network models. *Journal of Hydrology*. 352, 336–354.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., ve Poggi, J. M.** (2004). User's Guide on Wavelet Toolbox 4 for MATLAB. Matworks Incooperation.
- Moradkhani, H., Hsu, K. L., Gupta, H. V., Sorooshian, S.** (2004). Improved streamflow forecasting using self-organizing radial basis function artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 295, 246–262.
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., Rangan, D. M., Ramasastri, K. S.** (2004). A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series. *Journal of Hydrology*, 291(1-2), 52-66.
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P.** (2008). Fuzzy model identification based on cluster estimation for reservoir inflow forecasting. *Hydrological Processes*, 22(6), 827-841.
- Ngan, P., Russell, S. O.** (1986). Example of Flow Forecasting with Kalman Filter. *Journal of Hydraulic Engineering*. 112(9), 818-832.
- Özçalkap, Y.** (2007). Terkos Gölü (İstanbul) Fitoplanktonunun Su Kalitesi Parametreleri İle Olan İlişkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özger M.** (2010). "Significant wave height forecasting using wavelet fuzzy logic approach", *Ocean Engineering*, Vol. 16, No. 37, s. 1443–1451.
- Özger M., Mishra A.K., Singh V.P.** (2011). "Estimating Palmer Drought Severity Index using a wavelet fuzzy logic model based on meteorological variables", *International Journal of Climatology*, Vol. 13, No. 31, s. 2021-2032.
- Özger, M., Mishra, A.K., Singh, V.P.** (2012). Long lead time drought forecasting using a wavelet and fuzzy logic combination model: A case study in Texas. *Journal of Hydrometeorology* 13(1): 284-297.
- Özuluğ, M.** (2003). Durusu (Terkos) Gölü havzası balıkları ve bunlardan Turna balığı (*Esox lucius* Linnaeus, 1758)'nın biyolojisi üzerinde araştırmalar, Doktora Tezi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Parida, B. P., Moalafhi, D. B., Kenabatho, P. K.** (2006). Forecasting runoff coefficients using ANN for water resources management: The case of Notwane catchment in Eastern Botswana. *Physics and Chemistry of The Earth*, 31(15-16), 928-934.
- Partal, T., Kisi, O.** (2007). Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting, *J. Hydrology*, 342(1-2), 199-212.
- Partal, T.; Cigizoglu, H.K.** (2008). Estimation and forecasting of daily suspended sediment data using wavelet-neural networks, *J. Hydrol.*, 358 (3-4), 317-331.
- Pasternack, G. B.** (1999). Does the river run wild? Assessing chaos in hydrological systems. *Advances in Water Resources*, 23(3), 253-260.
- Pekarova, P., Pekar, J.** (2006). Long-term discharge prediction for the Turnu Severin station (the Danube) using a linear autoregressive model. *Hydrological Processes*. 20(5), 1217-1228.

- Rao, A. R., Hsieh, C. H.** (1992). Accuracy of basin-wide forecasts of streamflows. *Journal of Hydrology*, 134,(1-4), 151-171.
- Qiao, F.** (2005). Introduction to Wavelet: A Tutorial. In *Workshop on Wavelet Application in Transportation Engineering*, January 09, 2005.
- Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V., Lane, W. L.** (1980). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications, 484p, Colorado.
- Sivakumar, B.** (2003). Forecasting monthly streamflow dynamics in the western United States: a nonlinear dynamical approach. *Environmental Modelling & Software*, 18(8/9), 721-728.
- Srikanthan, R., McMahon, T. A., Irish, J. L.** (1983). Time series analyses of annual flows of Australian streams. *Journal of Hydrology*, 66(1-4), 213-226.
- Srinivas, V. V., Srinivasan, K.** (2006). Hybrid matched-block bootstrap for stochastic simulation of multiseason streamflows. *Journal of Hydrology*, 329(1-2), 1-15.
- Smith, L. , C , Turcotte, D., L., Isacks, B.** (1998). Stream flow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. *Hydrological Processes*, 12,233-249.
- Sudheer, K. P., Jain, A.** (2004). Explaining the internal behaviour of artificial neural network river flow models. *Hydrological Processes*, 18(4), 833-844.
- Şen, Z.** (2002). *Hidrolojide Veri, İşlem, Yorumlama ve Tasarım*, Seminer notları. Su Vakfı Yayınları, 193s, İstanbul.
- Şen, Z.** (2002). *Su Bilimi Temel Kavramları*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şen, Z.** (2003). *Su Bilimi ve Yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şen, Z.** (2004). *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*. Su Vakfı Yayınları, Bilge Kültür Sanat, 183s, İstanbul.
- Şen, Z., Altunkaynak, A.** (2006). A comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation. *Hydrological Processes*, 20(9), 1993-2009.
- Terzi, Ö.** (2004). *Eğirdir Gölü'ne Ait Buharlaştırma Modellerinin Geliştirilmesi Ve Uygulanması*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 124s.
- Tüfekçi, H., Tüfekçi, V., Aydoner, C., Dönertaş, A.S., Tolun, L., Atabay, H., Karakoç, F.T., Olgun, A.,** (2006). "Terkos Gölü su kalitesi ve çevresel değişimlerin izlenmesi" sonuç raporu proje kodu: 504 75 05 / KÇE.2.06.116, TÜBİTAK-MAM, Kimya ve Çevre Enstitüsü, Gebze.
- Vogel, R. M., Wilbert, O., McMahon, T.** (1993). Flood-flow frequency model selection of Southwestern United States. *Journal of Water Planning and Management*, 119,353-367.

- Wagener, T., Wheater, H. S.** (2006). Parameter estimation and regionalization for continuous rainfall-runoff models including uncertainty. *Journal of Hydrology*, 320, 132–154.
- Wang, W., Ding, J.** (2003). Wavelet Network Model and Its Application to the Prediction of Hydrology. *Nature and Science*, 1(1), 67-71.
- Webster, P.J.; Hoyos, C.D.** (2004), Prediction of monsoon rainfall and river discharge on 15-30-day time scales, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(11), 1745-1765.
- Xiong, L. H., Shamseldin, A. Y., O'Connor, K. M.** (2001). A non-linear combination of the forecasts of rainfall-runoff models by the first-order Takagi-Sugeno fuzzy system. *Journal of Hydrology*, 245(1-4), 196-217.
- Xu, Z., Schumann, A., Li, J.** (2003). Markov cross-correlation pulse model for daily streamflow generation at multiple sites. *Advances in Water Resources*. 26(3), 325-335.
- Yalçın, G., Y. Lise, U. Zeydanlı, Ö. E. Can, S. Kalem.** (2002). İstanbul – Terkos Koruma Alanı Önerisi. Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF Türkiye), 32 s. , İstanbul.
- Yazıcıgil, H., Rao, A. R., Toebes, G. H.** (1982). Investigation of Daily Flow Forecasting Models. *Journal of the Water Resources Planning and Management Division*, 108(1), 67-85.
- Zealand, C. M., Burn, D. H., Simonovic, S. P.** (1999). Short term streamflow forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 214, 32–48.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Halil ibrahim TÜRKOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar / 08.09.1981

E-Posta: turkoglu_ibrahim@hotmail.com

Lisans: Lefke Avrupa Üniversitesi, 2005.

Mesleki Deneyim ve Ödüller: İski Genel Müdürlüğü, Atıksu İnşaat Dairesi Başkanlığı, Kontrol Mühendisi, 2007.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Özger, M. ve Türkoğlu H.İ. 2013. A New Approach for Long Lead Prediction of Reservoir Inflows, 3W Congress, Istanbul, Turkey.