

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARI
YÖNTEMİ İLE YAĞIŞ - AKIŞ TAHMİNİ**

Melike BARAK

**Danışman
Doç. Dr. Özlem TERZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2012**

© 2012 [Melike BARAK]

TEZ ONAYI

Melike BARAK tarafından hazırlanan “DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE YAĞIŞ - AKIŞ TAHMİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç.Dr. Özlem TERZİ
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. M.Erol KESKİN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Mesut ÇİMEN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Cengiz KAYACAN

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Melike BARAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol.....	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
2.1. Akım Tahmini ile İlgili Çalışmalar.....	7
2.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile İlgili Çalışmalar.....	9
2.3. Dalgacık Dönüşümü ile İlgili Çalışmalar.....	13
2.4. Yapay Sinir Ağları ve Dalgacık Dönüşümü ile İlgili Çalışmalar.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Yağış.....	18
3.1.2. Yüzeysel akış.....	20
3.1.2.1. Akarsu havzalarının özellikleri.....	21
3.1.2.2. Akışın kısımlara ayrılması.....	22
3.1.3. Çalışma bölgesi ve veriler.....	23
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Yapay sinir ağları.....	26
3.2.1.1. Yapay sinir ağlarının üstünlükleri.....	29
3.2.1.2. Yapay sinir ağlarının yapısı.....	30
3.2.2. Dalgacık dönüşümü.....	31
3.2.2.1. Dalgacık nedir.....	32
3.2.2.2. Sürekli dalgacık dönüşümü.....	33
3.2.2.3. Ayrık dalgacık dönüşümü.....	34
3.2.2.4. Global dalgacık spektrumu.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER.....	56
EK A. Şekiller.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SINIR AĞLARI YÖNTEMİ İLE YAĞIŞ - AKIŞ TAHMİNİ

Melike BARAK

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Özlem TERZİ

Akarsulardaki düzenlemeler ve uygulamalar projelendirilirken, güvenilir akım tahminlerinin yapılması önemlidir. Özellikle hazne tasarım problemlerinde yapılacak yatırımın büyüklüğü dikkate alınırsa tahminlerin güvenilirliği çok daha büyük önem taşımaktadır. Geleneksel akım tahmini yöntemleri sistemin içerdiği belirsizlikler ile sistemin doğrusal olmayan karakteristikleri ile etkin tahminler yapmada yetersiz kalabilmektedir. Bunun için alternatif tahmin yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin en uzun nehri olan Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden (EİE) Söğütluhan (1535) akım gözlem istasyonunun akım değerleri ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DMI) Sivas istasyonunun yağış değerleri alınmıştır.

Son yıllarda hidrometeorolojik alanda yapay zeka metotlarının kullanımı giderek artmaktadır. Yapay sinir ağları uygulamasındaki kolaylık, fazla veri gerektirmemesi gibi nedenlerle tahmin amacıyla iyi bir yaklaşımdır. Yapay sinir ağlarında tahminin başarısı üzerinde kullanıcının etkileri sınırlıdır ve daha çok girdiler üzerine bağlıdır. Yapay sinir ağları yönteminin tahmindeki başarısını arttırmak için dalgacık dönüşümü bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada orijinal yağış ve akım verileri yapay sinir ağları tahmini yapmak için kullanılmıştır. Daha sonra ayrık dalgacık dönüşümü ile veriler alt serilere ayrılmıştır. Ayrık dalgacık dönüşümü istenilen sayıda periyodik bileşenin elde edilmesine olanak sağlar. Ayrık dalgacık dönüşümü ile elde edilen bileşenlerin akım tahmininde etkin olanları belirlenmiştir. Elde edilen yeni veriler yapay sinir ağları yöntemlerinde girdi olarak kullanılmıştır. Dalgacık dönüşümünün etkin bileşenleri seçilip ayrılabilmesi özelliği, yapay sinir ağlarının başarısını oldukça arttırmıştır. Dalgacık-yapay sinir ağları modelinin performansının çok daha iyi olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akım, yağış, Kızılırmak Nehri, yapay sinir ağları, dalgacık dönüşümü

2012, 75 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

RAINFALL-RUNOFF FORECASTING USING WAVELET TRANSFORM AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS METHOD

Melike BARAK

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Education**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özlem TERZİ

During the study of the regulation and enforcement projects, making certain stream appraisalment is important. Especially when the amount of investment required for a reservoir promotion is taken into consideration, the reliability in forecasting is of greater importance. Traditional flow forecasting methods can be insufficient because of the uncertainty and non linear characteristics of the system. Therefore alternative forecast methods are needed to achieve better predictions.

In this study, current values of the flow gauging station of the General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration station of Söğütlühan (1535) on the Kızılırmak River which is the longest river in Turkey and General Directorate of State Hydraulic Work stations Sivas station rainfall data have been used.

The usage of ANN approach is extensively used in the water resources literature in recent years. ANN is good method as it is easily applied and does not need so much data. The accuracy of the model predictions is highly depends on inputs, the application conditions has limited effect. In order to increase the accuracy of model predictions Wavelet Transformation is used. In this study, original rainfall data and flow data are used and then these original time series were decomposed into certain number of sub-time series using wavelet transform algorithm. Wavelet transform, has some important advantages on the studies of the model predictions, because of the selection of dominant sub-series. By separate usage and addition of dominant subseries, new subtime series are obtained. Obtained new data is used as input data for ANN model. ANN gets beter performance by wavelet transform. It is observed that performance of W-ANN is much beter.

Keywords: Flow, rainfall, Kızılırmak River, artificial neural networks, wavelet transform

2012, 75 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Özlem TERZİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Dalgacık dönüşümü yöntemi ile ilgili araştırmalarım da yardımcı olan değerli hocam Arş. Gör. Hakan TONGAL'a teşekkür ederim.

2412-YL-10 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan maddi, manevi desteğini sağlayan babama ve anneme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Melike BARAK
ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları.....	19
Şekil 3.2. Yüzeysel akış havzası ile yeraltı akış havzası.....	21
Şekil 3.3. Akışın kısımlara ayrılması	23
Şekil 3.4. Kızılırmak nehri ve akım istasyonları haritası.....	25
Şekil 3.5. Tipik bir biyolojik nöron.....	26
Şekil 3.6. Bir biyolojik nöronun matematiksel modellenmesi	28
Şekil 3.7. Yapay sinir ağının genel yapısı.....	30
Şekil 3.8 Morlet dalgacığı.....	33
Şekil 3.9. Mallat tarafından önerilen ADD' nin genel çalışma prensibi.....	36
Şekil 3.10. İşaretin ADD ile bileşenlerine ayrılıp tekrar oluşturulması (S, orijinal işaret:Y, yaklaşık bileşen; AD, Detay bileşen)	36
Şekil 4.1. Y_t için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	41
Şekil 4.2. YSA(5,7,1) modeli için gizli tabaka hücre sayısı ile KOH değerleri arasındaki ilişki	44
Şekil 4.3. YSA(5,7,1) modeline ait saçılma diyagramları ve zaman serisi	48
Şekil 4.4. D-YSA(10,10,1) modellerine ait saçılma diyagramları ve zaman serisi	48
Şekil A.1. Y_{t-1} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	57
Şekil A.2. Y_{t-2} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	59
Şekil A.3. Y_{t-3} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	61
Şekil A.4. Y_{t-4} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	63
Şekil A.5. Y_t için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	65
Şekil A.6. Y_{t-1} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	67
Şekil A.7. Y_{t-2} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	69
Şekil A.8. Y_{t-3} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	71
Şekil A.9. Y_{t-4} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. İstasyonlara ait istatistiki bilgiler	1
Çizelge 4.1. Dalgacık bileşenleri (dmey) ile orijinal akım serileri arasındaki korelasyon katsayıları	42
Çizelge 4.2. Dalgacık bileşenleri (haar) ile orijinal akım serileri arasındaki korelasyon katsayıları	42
Çizelge 4.3. Yağış verileri ile geliştirilen YSA modellerine ait parametreler	44
Çizelge 4.4. Yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (dmey) modellerine ait parametreler.....	45
Çizelge 4.5. Toplanmış yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (dmey) modellerine ait parametreler.....	46
Çizelge 4.6. Yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (haar) modellerine ait parametreler.....	46
Çizelge 4.7. Toplanmış yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (haar) modellerine ait parametreler	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AD	Detay bileşen
ADD	Ayrık dalgacık dönüşümü
ADALINE	Adaptive lineer neuron
ARMA	Otoregressif
BM	Bulanık mantık
C	Dalgacık dönüşümü katsayıları
C _{sx}	Çarpıklık
ÇDR	Çoklu doğrusal regresyon
ÇÇA	Çok çözünürlü analiz
DD	Dalgacık dönüşümü
D-YSA	Dalgacık YSA modeli
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ENSO	El Nino-Southern Oscillation
GRSA	Genelleştirilmiş regresyon sinir ağı
İBGYSA	İleri beslemeli geri yayılım sinir ağı
KSFD	Kısa süreli Fourier dönüşümü
NAO	North Atlantic Oscillation
NF	ANFIS
PNN	Olasılık ağları
P _i	Periyodik bileşen
R _i	İç bağımlı bileşen
RBF	Radyal tabanlı fonksiyonlar
S _i	Sıçrama bileşeni
S	Ölçek
S _x	Standart sapma
SDD	Sürekli dalgacık dönüşümü
SCS	Soil Convertain Service
T _i	Trend bileşeni
USDA	United States Deparment of Agriculture
τ	Öteleme
WNF	Dalgacık – ANFIS
X _{max}	maksimum değer
X _{min}	minumum değer
X _{mean}	ortalama değer
YSA	Yapay sinir ağları
Y	Yaklaşık bileşen

1. GİRİŞ

İklim bilimcilere göre, atmosferdeki değişebilen süreçlere bağlı olan hava, yeryüzünün herhangi bir yerindeki ve herhangi bir andaki atmosferik olayların tümünü kapsar. Atmosferin bu bir anlık durumu, yeryüzünün herhangi bir yerindeki sıcaklık, yağış, nem, buharlaşma, bulut, rüzgar ve hava basıncı gibi çok sayıdaki değişkenin birlikteliği ile açıklanmaktadır. İnsan etkinliklerinin çok büyük bir bölümü, hava olaylarına bağlıdır ve ondan etkilenir. Bu yüzden, hava olaylarının kısa ya da uzun süreli öngörülerinin yapılması, insan yaşamı için önemli kabul edilmektedir (Türkeş, 2001). Bu da meteorolojik değişkenlerin oldukça iyi analiz edilmesine ve doğrulukla bilinmesine bağlıdır.

Hidrolojik çevrimde denizlerden, topraktan ve bitkilerden buharlaşan su zerrecikleri havza üzerine yağış olarak düşmektedir. Bu yağışın belli bir miktarı yer altı suyunu beslemekte, bir miktarı bitkiler ve toprak tarafından tutulmakta, bir miktarı ise daha havza yüzeyine düşmeden tekrar buharlaşmaktadır. Geriye kalan miktar ise yüzeysel akış olarak havza üzerinde ötelenmekte ve sonuç olarak çıktı noktasında akış haline dönüşmektedir. İşte bu akımın miktarı, hızı ve geçmiş yıllardaki davranışı, bize ileriki yıllar için belirli bir risk aralığında projeler üretmeye imkân sağlamaktadır.

Bir akarsu havzasındaki hidroelektrik potansiyeli belirleyip ne miktarda elektrik enerjisinin üretilebileceğinin saptanması, gelecek yıllar için içme ve kullanma suyunun sürekli olarak temini ve oluşabilecek taşkın riskinin önceden saptanıp kontrol altına alınması amacıyla projeler geliştirmek için kurulacak (yağışın akışa dönüşümü olayını benzeştiren) “yağış-akış” modellerinin irdelenmesi, ülkemizdeki su kaynaklarının verimli kullanılması açısından son derece önem taşımaktadır (Şahin, 2007).

Serbest yüzeyli akımlarda kullanılan denklemlerin çözümünde ise başlıca üç yöntem kullanılır. Bunlardan biri analitik yöntemidir. Analitik yöntem, genelde karmaşık ve lineer olmayan denklem takımlarının belirli sadeleştirmeler ile lineer hale getirilmesi durumunda uygulanan matematiksel çözüm yöntemidir. Diğer yöntem ise nümerik çözümdür. Nümerik çözüm yöntemi, içinde kuvvet serileri, sınır elemanlar, sonlu

elemanlar ve sonlu farklar gibi birçok değişik yöntem barındırır. Denklem takımları, sınır şartları da göz önüne alınarak çeşitli şemalar yardımıyla ayrıklaştırıp çözülebilecek formlar haline sokulur. Çeşitli iterasyonlarla şemadaki diğer kısımlar sayısal olarak hesaplanır. İşlemler sonunda seçilen şemaya ve problemin yapısına göre gerçek çözüme göre oluşan hatanın minimum olması arzu edilir. Bir başka yol ise kapalı kutu modeller olarak bilinen ve yakın istasyonların akımları kullanılarak istenilen yerdeki akımların tahmin edilmesidir. Bunun için en sık kullanılan yöntemlerden biri de regresyon tekniğidir. Arıca diğer bir kapalı kutu model yaklaşımı da aynı istasyona ait akım ölçümlerini bir zaman serisi olarak kabul edip önceki ölçümlere dayanılarak akımları tahmin etmektedir (Küçük, 2004).

Günümüzde akım ölçümleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin (EİE) akım ölçüm istasyonları sayesinde sağlanmaktadır. Ancak bu istasyonlar, hem yetersiz sayıda hem de çok maliyetli olduğu için alternatif akım tahminleri geliştirilmek zorunda kalmıştır. Son zamanlarda alternatif akım tahminleri için yapay zeka tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan dalgacık dönüşümü yaklaşık 10 – 15 yıl önce matematikçiler tarafından ortaya atılmış bir sinyal işleme tekniğidir. Tarihsel gelişim yönünden dalgacık dönüşümü yeni kullanılmaya başlanmış bir yöntem olup, temeli Joseph Fourier'e kadar uzanmaktadır. Fourier dönüşümünün tersine, dalgacık dönüşümü ile her bir zaman aralığında sinyalin hem alçak (A) hem de yüksek frekans bileşenlerini (D) hesaplamak mümkündür. Bu yöntemle frekansı zamanla değişen sistemlerin analizi ve geçici durum analizleri oldukça hassas bir şekilde yapılmaktadır.

Dalgacık serileri birçok farklı alana uygulanabilen bir yöntem olup, bunlar arasında uygulamalı matematik, sinyal işleme teknikleri, ses ve görüntü sıkıştırma teknikleri başta gelmektedir. Dalgacıklar ilk olarak Jean Morlet ve A. Grossman tarafından coğrafi bilgi sistemleri için kullanılmaya başlanmıştır. Gerçekte, dalgacıkların temel başlangıcı Joseph Fourier'e ve onun Fourier dönüşümüne kadar gitmektedir. 1807'den sonra Fourier denklemlerinin ortaya çıkmasıyla matematikçiler sinyali tanıma için frekans alanında çalışmaya yöneldiler. Dalgacıklar ilk olarak Haar dalgacık olarak adlandırılan Haar'ın tezinin ekler kısmında görülmüştür. Haar dalgacıklar bazı sınırlı uygulamalar için geçerli olup, bilinen en basit ve en eski dalgacık fonksiyonudur.

Fourier serilerinin temel fonksiyonları sinüs ve kosinüs ifadelerinden meydana gelmektedir. Buna karşın çok sayıda dalgacık fonksiyonları vardır. Dalgacık dönüşümü değişik uzunluktaki bölgeleri kapsayan pencereleri içeren yeni bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır (Çoşkun vd., 2009).

Dalgacık metodu kullanarak bir sinyalin ayrıştırılması ve tekrar oluşturulması genel olarak üç aşamadan oluşur.

- 1- Ayrık dalgacık dönüşümü kullanarak sinyalin bileşenlerine ayrılması,
- 2- Ortaya çıkan katsayıların thresholding yöntemleriyle yumuşatılması,
- 3- Threshold yapılmış ayrık dalgacık katsayılarından tekrar orijinal sinyalin oluşturulması.

1977'lerde Esteban ve Galand yeni bir süzgeç kavramını ortaya atmıştır ancak bu yolla ana sinyalin yeniden elde edilmesinde hata çok yüksek olmuştur. Dalgacık terimi ilk kez 1984'de Morlet ve Grossman tarafından kuantum fiziği çalışmalarında kullanılmıştır. 1987'de Mallat dalgacık ve süzgeç grupları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Meyer kendi adıyla anılan ilk dalgacıkları ortaya atmıştır. Bu Haar dalgacıklarının aksine, sürekli uygulamalarda kullanılabilen bir fonksiyon olmuştur. Yıllar geçtikçe, Ingrid Daubechies bir takım dik tabanlı dalgacık serilerini ortaya atarak günümüzdeki birçok uygulamaya temel teşkil etmiştir. Tanım olarak, bir dalgacık, ortalama değeri sıfır olan ve zamanla sınırlı bir dalga şeklindedir. Zaman ekseninde kaydırma ve ölçekleme parametreleri dalgacıkların temelini oluşturmaktadır (Çoşkun vd., 2009).

Dalgacık dönüşümü ile elde edilen alt serilerin modellenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2003).

Yapay sinir ağları; insan beyninden esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi uğraşı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedendir ki, bu konu

üzerindeki çalışmalar ilk olarak beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış, daha sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılır hale gelmiştir.

İnsan beyninde yaklaşık 10^{11} sinir hücresinin varlığından bahsedilmekle birlikte, bu sayının bilgisayar ortamında modellenmesi şu an için mümkün görülmemektedir. Fakat karar hızı açısından insan beyni ile henüz yarışamaları bile, YSA'lar yapısallıkları ve hassas eşleştirmelerin başarı ile gerçekleştirebilmeleri ile gün geçtikçe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır.

YSA'lar ile ilgili çalışmalar 20. yüzyılın ilk yarısında başlamış ve günümüze kadar büyük bir hızla devam etmiştir. Bu çalışmaları 1970 öncesi ve sonrası diye iki kısma ayırmak mümkündür. 1970 yılları YSA için bir dönüm noktasını teşkil etmiş, daha önce aşılması imkânsız görünen pek çok problem bu dönemlerde aşılmıştır.

İlk yapay sinir ağı modeli 1943 yılında, bir sinir hekimi olan Warren McCulloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirilmiştir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modellemiştir. 1948 yılında "Wiener "Cybernetics" isimi kitabında, sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerine değinmiş, 1949 yılında ise Hebb "Organization of Behavior" adlı eserinde öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele almıştır. Hebb kitabında öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak "Hebb kuralını" ortaya koymuştur. Hebb kuralı; sinir ağının bağlantı sayısı değiştirilirse öğrenebileceğini ön görmekteydi. 1957 yılında Frank Rosenblatt'ın Perceptron'u geliştirmesinden sonra, YSA'lar ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Perceptron; beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek tabakalı eğitilebilen ve tek çıktıya sahip bir ağ modelidir (Elmas, 2003).

1959 yılında Bernard Widrow ve Marcian Hoff (Stanford Üniversitesi) ADALINE (Adaptive Linear Neuron) modelini geliştirmişler ve bu model YSA'ların mühendislik uygulamaları için başlangıç kabul edilmiştir. 1960'ların sonlarına doğru YSA çalışmaları durma noktasına gelmiştir. Buna en önemli etki, Minsky ve Pappert tarafından yazılan Perceptrons adlı kitaptır. Burada YSA'ların doğrusal olmayan

problemleri çözemediği meşhur XOR problemi ile ispatlanmış ve YSA çalışmaları bıçak gibi kesilmiştir. Tüm bunlara rağmen Anderson, Amari, Cooper, Fukushima, Grossberg, Kohonen, Hopfield gibi bilim adamları çalışmalarını sürdürmüşler, 1972 de Kohonen ve Anderson Associative memory konusunda benzer çalışmalar yayınlamışlardır. Kohonen daha sonra 1982 yılında Self Organizing Feature Maps-SOM konusundaki çalışmasını yayınlamıştır. 1982-1984 yıllarında Hopfield tarafından yayınlanan çalışmalar ile YSA'ların geliştirilebileceği ve çözümü zor problemlere çözüm üretebileceğini göstermiştir. 1988 yılında, Broomhead ve Lowe radyal tabanlı fonksiyonlar modelini (Radial Basis Functions-RBF) geliştirmişler ve özellikle filtreleme konusunda başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Daha sonra Spect, bu ağların daha gelişmiş şekli olan Olasılık Ağları (PNN) ve Genel Regresyon Ağlarını (GRNN) geliştirmiştir (Öztemel E., 2003).

1.1.Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Bu çalışmada, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesinde, taşkın ve kuraklık gibi doğal afetlerin belirlenmesinde önemli olan akarsu akımlarının tahmini için modeller geliştirmek amaçlanmıştır. Bu modelleri geliştirmek için günümüzde çok sık kullanılan yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca YSA yönteminin başarısını artırmak için dalgacık dönüşüm tekniği kullanılarak elde edilen alt seriler ile dalgacık-YSA modelleri geliştirilmiştir. Bu amaç için Türkiye'nin en uzun nehri olan Kızılırmak Nehri'ne ait 1535 no.lu Söğütlühan istasyonu seçilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, konunun literatürdeki yeri ve önemini anlatmak amacıyla konu ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmaların kısa özetlerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler ayrıntılı olarak açıklanarak konunun daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Materyal kısmında, hidroloji ve hidrolojik çevrim, yağış parametresi, yüzeysel akış ve Kızılırmak Nehri'nin coğrafi konumu, özellikleri ve önemi anlatılmıştır. Yöntem kısmında ise, akış modellemesinde kullanılan YSA ve dalgacık dönüşümü yöntemlerinin anlatımına yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, YSA ve YSA-dalgacık modellerinin kurulması aşaması anlatılmış ve yapılan istatistiksel analizler açıklanmıştır. Ayrıca, Söğütlühan istasyonu akımları için uygun modelin belirlenmesi ve yeni serilerin oluşturulması işlemi de burada verilmiştir.

Beşinci bölümde, geliştirilen modelden elde edilen bulgulara göre çıkarılan sonuçlar tartışılmıştır.

Ekler bölümünde, dmey ve haar dalgacığıyla elde edilen alt bileşenlere ait grafiklere yer verilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Akım Tahmini ile İlgili Çalışmalar

Jones ve Lister (1998), hidrolojik kuraklığı incelemek üzere 15 havzanın 1865'den bu yana 130 yıllık aylık akımlarının yağış-akış modeli yardımıyla türetilmesini amaçlamışlardır. Bu sebeple, yağış-akış modeli olarak bir kapalı kutu modeli olan regresyon modelini kullanmışlardır. Aylık akımların logaritması ile etkin yağış ve toplam yağış açığı yardımıyla hesaplanan toprak nemi arasında doğrusal bir bağıntı kurmuşlardır. Böylece, türetilen akım serileri yardımı ile hidrolojik kuraklık incelenmiştir.

Öziş (1999), Dicle havzasında bulunan bazı önemli akım gözlem istasyonlarının 1947–1980 su yıllarındaki debilerini incelemiştir. Bu istasyonlarda ölçülen akışlarda eksiklikleri belirlemiş ve bu istasyonların aylık akışları için sürekli akım serilerinin elde edilmesine çalışmıştır. Eksik verilerin kestirimi için aralarında ilişki olduğu düşünülen süreçlerin korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Sonuçta istasyonların 1947-1980 su yılları süresindeki muhtelif eksik akışları kestirilerek, tüm süreye ait aylık akış tabloları elde edilmiştir.

Aksoy (1999), günlük yağış verilerini ve akım hidrografının yükselme eğrisini incelemiştir. Hem yağış verileri ve hem de yükselme eğrisinin modellenebilmesi için 2 parametrelili Gamma dağılımını kullanmıştır. Dağılım, günlük yağış verilerine ve yükselme eğrisi üzerindeki ardışık günlerin akımları arasındaki farklara uydurulmuştur. Dağılımın şekli ve ölçek parametreleri aylık zaman aralığında belirlenmiştir. Uygulamada 30 yıllık bir yağış serisi ile 35 yıllık bir akım serisi kullanılmış, sonuçta dağılımın hem günlük yağış verilerini ve hem de hidrografın yükselme eğrisini iyi temsil ettiği görülmüştür.

Yıldız ve Malkoç (2000), Türkiye'deki tüm akarsu havzalarının çıktı noktalarında ölçülen uzun dönem yıllık ve mevsimlik ortalama akımlarının zaman serilerini oluşturmuşlardır. Havza bazında akım miktarlarında artma veya azalma eğilimi olup olmadığını araştırmışlar ve havzaların kurak ve ıslak periyot salınım dönemleri ile

aralıklarını elde etmeye çalışmışlardır. Ülkemizde bulunan tüm havzaların aynı aralık ve zamanda kurak ve ıslak periyot dönemlerine girmediği, havzaların periyot aralıklarının farklı olabildiği, bazı havzalar ıslak dönemde yer alırken bazılarının kurak dönem özellikleri gösterebildiğini belirtmişler ve Türkiye' nin bir hidrolojik kuraklık haritasını sunmuşlardır.

Sepetçioğlu ve Gerger (2000), akarsuların stokastik özelliklerini incelemişlerdir. Bu özellikleri belirlemek için istatistiksel parametreleri belirlemişler ve akımların olasılık dağılım fonksiyonlarını çıkarıp, korelasyon ve regresyon katsayıları yardımıyla akım serilerine ait istatistiksel model kurmuşlardır. Böylece istenilen uzunlukta sentetik serinin türetilmesine imkan sağlamışlardır.

Lin ve Chen (2003), radyal tabanlı fonksiyonları (RBF) kullanarak doğrusal olmayan yağış - akış ilişkisini ortaya çıkaran modeller geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yağış - akış modellerinde yağış – akış arasındaki ilişkinin çok iyi bir şekilde sonuç verdiğini ifade etmişlerdir.

Collischonn vd. (2004), Uruguay Nehri akım verileri ile yağış ölçümlerini kullanarak Uruguay'a ait bir bölgenin hava tahmin modelini geliştirmeye çalışmışlardır. Mevcut modelleri birbirleriyle kıyaslayarak daha sağlıklı yağış tahmini yapılabileceğini görmüştür.

Özfidaner (2007), Türkiye'de bulunan yağış gözlem istasyonlarından alınan aylık ve yıllık toplam yağış verilerinin istatistiksel eğilimlerini, noktasal ve bölgesel olarak yeni geliştirilmiş Bölgesel Mann-Kendall test istatistiğini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Elde ettiği sonuçları daha önce bölgesel gidiş analizi yapılmış akım verileri sonuçları ile kıyaslamıştır.

Yurtçu ve İçağa (2007), Akarçay kapalı havzasında bulunan Eber Gölü'nü besleyen kaynaklardan Çay Dere'sine ait ortalama aylık akım değerleri klasik regresyon ve bulanık doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Akım verilerinin tahmininde, bağımsız değişken olarak ortalama aylık yağış verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda bulanık doğrusal regresyon tahmin değerlerinin

gerçek değerlere oldukça yakın olduğu, klasik regresyon analizi ile yapılan tahminin ise daha çok sapma gösterdiği görülmüştür.

Özdemir (2007), yağış-akış modeli olarak USDA (United States Department of Agriculture) tarafından geliştirilen SCS (Soil Conservation Service) Curve Number yöntemini kullanmıştır. Çalışmada kullanılan yağış verileri, Edremit ve Burhaniye meteoroloji istasyonlarının 1975-2003 yılları arası günlük yağış verilerinden temin edilmiştir. Sonuç olarak modelle elde edilen akım verileriyle yağış değerleri ve havzadaki tek akım ölçüm istasyonuna ait akım verileri karşılaştırılmış olup aralarındaki korelasyonlar yüksek elde edilmiştir.

2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

Jain vd. (1999), YSA ve otoregressif (ARMA) modellerini, baraj rezervuarına giren akım tahmini için Hindistan'daki sulama ve elektrik üretme amaçlı bir projede uygulamışlardır. Bu iki yöntem kıyaslanarak, YSA modelinin büyük debili akımlarda, otoregressif modelin de düşük debili akımlarda iyi sonuç verdiğini vurgulamışlardır. YSA modelinin girdi-çıkıtı ilişkilerinde güçlü bir yöntem olduğunu ve rezervuar girdi akım tahmininde etkin olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Rajurkar vd. (2002), günlük yağış-akış modellemesinde YSA metodunu kullanmışlardır. Hindistan'daki iki büyük havzanın verileri ile Dünya Meteoroloji Kuruluşu'ndan alınan beş havzanın verilerini karşılaştırarak modeller geliştirmişler ve sonuç olarak değişik bölgelerdeki havzalar için geliştirdikleri modellerin başarılı sonuçlar verdiklerini ifade etmişlerdir.

Chiang vd. (2003), Tayvan'daki Lan Yang Nehrinin akım tahminini, statik ve dinamik geri beslemeli YSA ile modellemişlerdir. 1632 adet günlük yağış – akış verisi kullanılarak statik geri besleme ile dinamik geri beslemenin karşılaştırmasını yapmışlardır. Statik geri besleme modelinde tatmin edici sonuçlar elde edilebilmesi için yeterince veri test edilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Dinamik geri beslemeli YSA modelinin statik olana göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Cıgızoğlu (2003), Doğu Akdeniz bđlgesi aylık ortalama akım verilerini modelleyebilmek için stokastik model ile birlikte YSA'yı kullanmıştır. Veri sayısı sınırlı olduğu için iyi bilinen ARMA modeli (AR(1)) ile aylık ortalama veriler türetilmiş ve bu türetilen veriler akım tahmininde kullanılmıştır. Bu sonuçlar sınırlı veri ile yapılan YSA tahmin değerleri ile kıyaslanmış ve sonuçta, türetilmiş veri ile daha iyi sonuçların alındığı gösterilmiştir.

Kişi (2003), YSA yöntemini kullanarak akış tahmini yapmıştır. Ölçülmüş aylık toplam akış verilerinin bir kısmı ile yapay sinir ağları modelini eğitmiş, kalan kısmı ile de sınımıştır. Aylık toplam akarsu akışlarını tahmin etmek için geçmiş ayın verilerini kullanarak, içinde bulunulan ayın verilerini elde etmeye çalışmıştır. Üç tabakalı YSA'nın aylık toplam akışları etkin bir şekilde tahmin ettiğini belirtmiştir.

Jain ve Indurthy (2003), San Antonio'daki Salado akarsuyunun bulunduğu havza için deterministik, istatistik ve YSA yöntemleri ile yağış-akış modeli geliştirmişler ve en uygun tahmini YSA tabanlı matematiksel modelin verdiğini saptamıştır.

Öztopal vd. (2003), yağış ve buharlaşma girdilerinden yararlanarak, akış kestirimi yapabilmek için YSA yardımıyla bir akış modeli oluşturmuşlardır. 1971-1991 yılları arasında Büyükçekmece'nin aylık yağış, buharlaşma ve akış ölçümlerini girdi olarak kullanmışlardır. Geriye yayılma algoritmasını kullanarak geliştirdikleri modelde eğitim ve test setleri için yüksek korelasyon değerleri elde etmişlerdir.

Sudheer vd. (2003), akarsu havzasındaki akımı YSA ile modelleyerek pik akımı tahmin etmeye çalışmışlar ve oldukça iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Alp ve Cıgızoğlu (2004), farklı yapay sinir ağı yöntemleri ile yağış - akış ilişkisini modellemişlerdir. İleri beslemeli geriye yayılım ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı yöntemlerini kullanmışlardır. Juniata Nehrine ait günlük akım değerlerini kullanarak modelleme yapmışlardır. İleri beslemeli geriye yayılım yönteminin genelleştirilmiş regresyon sinir ağı yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, YSA uygulaması öncesi yapılan oto-korelasyon ve çapraz-korelasyon çözümlemesinin YSA mimarisindeki girdi sayısı hakkında önemli bir ipucu verdiğini sonucuna varmışlardır.

Anctil vd. (2004), bölgesel günlük akım tahmini yapmak için günlük yağış - akış değerlerini kullanmışlardır. Ölçülen yağış değerleri ile akarsu akım tahmini için YSA ve genetik algoritmaları karşılaştırmışlar ve kullanılan yöntemlerle günlük bölgesel akım tahmininin rahatça yapılabileceğini tespit etmişlerdir.

Cıgızoğlu (2005), kurak devre akımlarının kestiriminde genelleştirilmiş regresyon sinir ağı GRSA ile İleri beslemeli geri yayılım sinir ağı İBGYSA ve ARMA yöntemlerini birbirleriyle karşılaştırmış ve GRSA ile başarılı sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir.

Acı (2006), yapay sinir ağları yöntemini kullanarak bir akarsudaki akımların o akarsuyun havzasındaki yağış ve önceki akım gözlemlerinden tahmin edilmesini ele almıştır. Uygulama bölgesi olan Akarçay Havzasında mevcut bulunan yağış gözlem istasyonlarının yerleşimi, gözlem aralığı gibi parametrelere bağlı olarak 4 tip model tasarlamıştır. Elde edilen sonuçları çok değişkenli regresyon analizi sonuçları ile kıyaslamıştır. YSA'nın, yağış gözlemlerinden, akış tahmini problemine başarılı bir şekilde uygulanabileceğini ve güvenli tahminler ürettiğini ortaya koymuştur.

Jain ve Kumar (2006), geleneksel zaman serisi modelleri ile YSA modellerini birleştirerek bir karma yapı biçimde ele almışlardır. Bu bileşik karma yapıyı, ABD'de Less Frey'de bulunan Colorado Nehrinin aylık akım verileri için değerlendirmişlerdir. Dört adet otoregressif model oluşturup, bu modelleri geleneksel modellerle karşılaştırılarak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Keskin vd. (2006), YSA ile bulanık mantık (BM) yöntemlerini kullanarak akım tahmini için matematiksel modeller geliştirip, bu modelleri ARMA modeli ile karşılaştırmış ve YSA tabanlı matematiksel modelin gerçeğe daha yakın sonuçlar elde ettiğini gözlemlemişlerdir.

Oğul (2006), daha önce elde edilmiş hidrometeorolojik verilerle yapay sinir ağları metodu kullanarak yağış-akış ilişkisini incelemiştir. Bilecik ili, Pazaryeri ilçesi, Kurukavak Havzası'na ait gözlenmiş yağış ve akım verilerini kullanarak akım tahmini yapmıştır. Çalışmada YSA'dan ileri beslemeli geriye yayılım,

genelleştirilmiş regresyon sinir ağı ve radyal tabanlı sinir ağı yöntemlerini kullanmıştır. Yağış ve akım verilerini modellere girdi olarak verip yeni akım değerlerini elde etmiş ve ölçülen akım değerleriyle karşılaştırmıştır. Sonuçlara bakıldığında en iyi sonucu ileri beslemeli geriye yayılım yönteminin verdiğini ifade etmiştir.

Keskin ve Taylan (2007), Orta Akdeniz Havzasındaki Dim Çayı, Manavgat Çayı ve Köprüçay'a ait aylık akımların tahmini için stokastik modeller geliştirmişlerdir. Modelleri oluştururken, yıllık akım verilerini kullanmışlardır. Her bir akarsu için geliştirdikleri AR modeller içerisinde, Dim Çayı için AR(2), Manavgat Çayı ve Köprüçay için ise AR(3) modellerini seçmişlerdir. Seçilen modeller kullanılarak her bir akım serisi ile aynı uzunlukta sentetik seriler üretmişlerdir. Üretilen serilerin, ölçülmüş akım serileri ile uyum içerisinde olduğu görmüşlerdir. Aynı zamanda, seçilen istasyonlara ait akımlar için YSA modelleri kurmuşlardır. Her iki modele ait sonuçlar, ölçülmüş değerlerle karşılaştırıldığında, AR modelleri YSA modellerinden daha uygun sonuçlar vermiştir.

Nayak vd. (2007), YSA ve BM tekniklerinin potansiyelini yağış-akış işleminde değerlendirmişlerdir. Bu amaçla, YSA mimarisi içerisinde bulanık mantık yorumlama sistemini dahil etmişlerdir. Çalışmalarında, üyelik fonksiyonlarının parametrelerini lineer olmayan bir optimizasyon yöntemi kullanarak optimize etmişlerdir. Önerdikleri modeli ABD'deki iki havzaya uygulamışlardır. Varyansın % 92'den yüksek çıktığı modelin kullanımının diğer havzalarda da uygulanabilir olduğunu belirtmişler.

Gümüş vd. (2010), Orta Fırat Havzası'nda aylık toplam yağış verileri ile aylık ortalama akım verileri arasındaki ilişkiyi İBGYSA ile araştırmış ve bu yöntemi daha klasik bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda İBGYSA yönteminin ÇDR yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Okkan ve Molamahmutoğlu (2010), Gediz havzasında yer alan Yiğitler Çayına ait günlük akımların modellenmesi için kullanılabilecek bir YSA modeli geliştirmişler ve YSA modelini ÇDR modeli ile karşılaştırmışlar. Analiz sonucunda, YSA

modelinin performansının ÇDR modeline göre daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

2.3. Dalgacık Dönüşümü ile İlgili Çalışmalar

Dalgacıklar, göz önüne alınan veriyi farklı frekans bileşenlerine ayıran ve sonra kendi ölçekleriyle eşleştirilmiş bir çözünürlüğe sahip bileşenler üzerinde çalışan matematiksel fonksiyonlardır. Dalgacık analizi bir zaman serisindeki farklı frekanstaki durağan olmayan varyans analizi için kullanışlı bir yöntemdir. Ayrık dalgacık dönüşüm tekniği orjinal bir zaman serisini farklı bileşenlere ayırır, bu bize çeşitli çözünürlük seviyelerinde farklı ve kullanışlı bilgiler vermekte ve böylece, tahmin modellerinin yeteneğini arttırmaktadır (Kim ve Valdes, 2003; Partal, 2007).

Dalgacık dönüşüm tekniğinin hidrometeoroloji ve su kaynakları alanlarında uygulanışı son derece yenidir. Bilinen ilk çalışma 1993 yılında yağış verileri üzerine Kumar vd. (1993) tarafından yapılan çalışmadır (Partal 2007). Bu çalışmada yağış verileri çok çözünürlüklü analiz ile bileşenlerine ayrılıp her bileşen analiz edilmiştir.

Jordan vd. (1998), düşük katlı yapılarda basınç dalgalanması ve atmosfer rüzgarı arasındaki ilişkiyi dalgacık analizi ile incelemişlerdir. Düşük katlı binalardaki yüzey basıncı ve atmosferik rüzgârın hız bileşenlerinin ölçüm simülasyonunda sürekli dalgacık dönüşümünü uygulamışlardır. Çapraz akış içinde enerjik olaylar ve basınç tepe görünümü arasında belirgin bir ilişki olduğunu söylemişlerdir.

Smith vd. (1998), ABD ve tropik adalardaki toplam 91 nehir akım ölçümünün dalgacık spektrumu analizi yardımıyla verilerin periyodik karakterlerini sınıflandırmışlardır. Böylece, 91 nehir akımının global spektrumlarını karşılaştırarak, 5 ayrı hidroklimatik bölgeyi tanımlamışlardır. 5 ayrı bölgeye ait farklı akım karakteristikleri global spektrum ile tespit edilebilmiştir. Ayrıca akımların yersel dalgacık spektrumlarını incelenmesi sonucunda, 64 ve 128 günlük etkin periyodik değişimlerinin olduğunu belirlemişler ve bunu bahar kar erimeleri ile ilişkilendirmişlerdir.

Labat vd. (2000), durağan olmayan zaman ölçeği lokalizasyonu yöntemi için dalgacık transferini matematiksel olarak ele almışlardır. Dalgacığı çözünürlük dik

analiz ve sürekli morlet dalgacığı dönüşümü olmak üzere iki ana bölümde incelemişlerdir. Böylece, yağış ile akış arasındaki ilişkiyi belirlemek için dalgacık dönüşümünü kullanmışlardır. Günlük, haftalık yağış ve akış verilerini sürekli dalgacık dönüşümü ile incelemişler ve periyodik yapılarındaki benzerliği araştırmışlardır. Sonuçta 3 ve 7 yıllık periyodik bileşenleri her iki değişken için uyumlu bulmuşlardır. Dalgacık analizleri ile yağış akış ilişkisinin zamansal değişkenliği hakkında bilgiler vermişlerdir.

Bayazıt ve Aksoy (2001), yıllık ve aylık akış verisini üretmek için dalgacık analizi yöntemini kullanmış ve bunu klasik ARMA yöntemi ile kıyaslamıştır. Bu amaçla Türkiye ve Amerika'dan elde edilen veriler kullanılmıştır.

Drago ve Boxall (2002), deniz seviyesi değişimleri ve hava basıncı ölçümlerini iki periyot halinde dalgacık dönüşümü yardımıyla analiz etmişlerdir. Çalışmada hem sürekli, hem de ayrık dalgacık yöntemini kullanmışlardır. Deniz seviyesi ve atmosfer basıncı değişkenlerinin sürekli dalgacık dönüşümü sonucunda elde edilen katsayılarının korelasyonlarını incelemişlerdir. Sonuçta kış mevsiminde anlamlı korelasyonlar bulduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca iki değişkeni ayrık dalgacık dönüşümü ile 8 ayrı seviyede bileşenlerine ayırmışlar ve her bileşen seviyesinde birbirleriyle kıyaslamışlardır. Sonuçta bazı seviye bileşenlerinde yüksek uyumluluk belirlemişlerdir.

Gaucherel (2002), Güney Amerika'daki Fransız Guyane bölgesindeki havzalara ait akım verilerine dalgacık dönüşümünü uygulamış ve değişik istatistikî parametrelerle havza özelliklerini incelemiştir.

Lafreniere ve Sharp (2003), Alberta bölgesindeki bir göle gelen nehir akımlarının analizinde dalgacık dönüşümünü kullanmışlardır. Bu çalışmada incelenen gölü besleyen bir buzul ve bir nehir akımı bulunmaktadır. Bu akımlara ait zaman serileri ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkiyi dalgacık dönüşümü yardımıyla analiz etmişlerdir.

Coulibaly ve Burn (2004), Kanada'nın yıllık akımlarındaki değişkenliği belirlemek ve tanımlamak için dalgacık dönüşüm tekniğini kullanmışlardır. 79 nehirden akım

verilerine sürekli dalgacık dönüşümü uygulayarak çeşitli yıllık periyotlardaki değişimleri belirlemeye çalışmışlar ve Kanada'daki akımlarının periyodik değişimlerinin 2-3 ve 3-6 yıllık aktiviteler için geçerli olduklarını belirtmişlerdir. Daha sonra bu değişkenler ENSO (El Nino- Southern Oscillation) ve NAO (North Atlantic Oscillation) ile ilişkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda da görülmektedir ki dalgacık analizi, ENSO, NAO gibi periyodik olayların incelenmesinde ve anlamlı ilişkiler kurulmasında yararlı olmaktadır.

Ünal vd. (2004), Göztepe meteoroloji istasyonuna ait yıllık ve aylık yağış verilerini üretmek için dalgacık analizini ve otoregresif, Thomas-Fiering yöntemlerini kullanmışlar ve sonuçları birbirleriyle kıyaslamışlardır.

Küçük (2004), dalgacık dönüşüm tekniğini ABD'nin Kansas Eyaleti'nde hidrolojik akım serilerinin tahmininde kullanmıştır. 11 Eylül 2001 ve 10 Eylül 2003 tarihleri arasında 730 günlük ölçülmüş akım serisini modelleme için kullanmıştır. İki ayrı istasyona ait akarsu akım serilerini ayrıık dalgacık dönüşümü uygulayarak birleşenlerine ayırmıştır ve sürekli dalgacık dönüşümü ve global spektrum yardımı ile ölçüm serilerini analiz etmiştir. Sonuç olarak, ilk defa bu çalışmada dalgacık dönüşüm tekniğini akarsu akım modellerinde kullanmış ve başarılı sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir.

Labat (2005), dalgacık analizlerindeki son gelişmeler üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma hidroloji alanında yeni dalgacık analizi yöntemlerinin tanımlanmasını ve dalgacık uygulamalarının bir incelenmesini sunmuştur. Labat bu yöntemi 4 büyük nehrin yüzey akışına uygulanabilirliğini belirtmiştir.

Shiri ve Kişi (2010), Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesindeki Filyos Nehri üzerinde bulunan Derecikviran İstasyonunda ölçülmüş 31 yıllık günlük, aylık ve yıllık akarsu akımlarını modellemek için dalgacık-ANFIS modelini kullanmışlardır. Çalışmanın ilk bölümünde, tek ANFIS (NF) ve dalgacık-ANFIS (WNF) modelleri önceden kaydedilmiş akım değerlerine göre kurulmuş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Modellerde, özellikle WNF'nin yıllık akımların tahmininde tek NF modeline göre daha üstün performans sağladığı ifade edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, tek NF ve bunların WNF modellerinin girdileri içerisine periyodik bileşenin ilave

edilmesi durumu da göz önüne alınmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda genellikle periyodik bileşen ekleyerek oluşturulan modellerin akım tahminlerinin doğruluğunda artış olduğunu göstermişlerdir.

Partal ve Kişi (2011), dalgacık dönüşümü ve ANFIS tekniğini birleştiren WNF modelini, aylık dere akımlarını tahmin etmek için kullanmışlardır. Türkiye'deki Durucasu ve Tanır akım gözlem istasyonlarında gözlemlenen aylık akım verilerini ayrık dalgacık dönüşümüyle alt-serilere (bileşenler) ayrıştırmışlar ve daha sonra ilgili alt-seri aylık dere akımlarının tahmini için NF modelinde girdi olarak kullanmışlardır. WNF tahminlerini, NF modeli ile mukayese etmişlerdir. Karşılaştırma sonucunda, Durucasu ve Tanır istasyonları için, WNF modellerinin NF modeline göre aylık dere akışlarının tahmininde üstün olduğunu tespit etmişlerdir.

2.4.Yapay Sinir Ağları ve Dalgacık Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

Dalgacık dönüşüm (DD) tekniği ve YSA'nın birlikte uygulanması ile ilgili çalışmalar bir çok alanda olduğu gibi hidroloji alanında da çok yeni bir yöntemdir.

Coulibaly vd. (2000), yıllık akım tahmini için yenilenen YSA modelini kullanmışlardır. Ayrıca ENSO indeksi, NAO indeksi, İzlanda'da deniz seviyesi basıncı ve diğer bazı değişkenler ile akım arasındaki ilişkiyi göstermek için bu değişkenleri sürekli dalgacık dönüşümü ile zaman-frekans çözünürlüğünde incelemişlerdir.

Wang ve Ding (2003), zaman serilerinin lineer olmayan karakteristiklerinde ve çoklu zaman ölçeklerine dayalı YSA ve dalgacık analizleri arasında yeni bir model (dalgacık ağı modeli) önermişlerdir. Hidrolojik zaman serilerinin kısa ve uzun dönem tahminlerini araştırmışlardır. Sonuçları karşılaştırdıklarında önerilen modelin uzun dönem tahminlerdeki kesinliği arttırdığını ve dalgacık ağı modelinin tatmin edici sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Anctil ve Tape (2004), günlük yağış-akış tahmininde dalgacık dönüşümü ve YSA yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Dalgacık dönüşümü ile orijinal yağış verisinden kısa, orta ve uzun dalgacık periyotlu (x_1 , x_2 , x_3) üç ayrı dönüşüm serisi

elde etmişlerdir. Bu seriler ile akış tahmini yapmak için YSA modelinde her dalga periyodunu ayrı ayrı kullanmışlar ve her bir bileşen için bir YSA modeli kurmuşlardır. Sonuçta kısa, orta ve uzun dalgacık periyotlu 3 ayrı akış bileşeni (y_1 , y_2 , y_3) elde etmişlerdir. Daha sonra bu tahmin ettikleri 3 ayrı bileşeni toplamışlar ve böylece orijinal akış değerlerini elde etmişlerdir. Ancak, kısa dalga periyodunun yağış-akış tahminindeki başarıyı azalttığını görmüşlerdir.

Kişi (2009), akım tahmini için YSA ve dalgacık dönüşümünü (DD) birlikte modellemiştir. Aralıklı akım tahminlerinin su kalitesi ve su kaynakları planlamasında ve arıtma sistemlerinde önemli olduğunu belirtmiştir. Yapay dalgacık modelini DD ve YSA yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla geliştirmiştir. Birliktelik modeli ile mutlak ve ortalama kare hatalarını YSA'ya göre %74 kadar daha düşük elde ettiğini ve kararlılık katsayısında ise %12 den %47'ye kadar artışın olduğunu belirtmiştir.

Krishna vd. (2011), nehir akışının zaman serisinin modellenmesinde dalgacık ve YSA'yı birleştirerek dalgacık sinir ağı D-YSA şeklinde yeni bir hibrid model oluşturmuşlardır. Malaprabha Nehri havzası günlük nehir akışları zaman serisini D-YSA modeli ile analiz etmişlerdir. Gözlemlenmiş zaman serilerini ayırık dalgacık dönüşümünü kullanarak alt serilere ayırmıştır ve daha sonra alt serileri uygun hidrolojik değişkenleri tahmin etmek için YSA'ya girdi olarak kullanmıştır. D-YSA modelini, standart YSA ve AR modelleri ile karşılaştırmışlardır. D-YSA modelinin özellikle gözlenen verilerin, pik değerleri ile iyi bir uyum sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, hidrograf özelliklerinin tahmininde de, D-YSA modelinin diğer YSA ve AR ile yapılan modellere göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

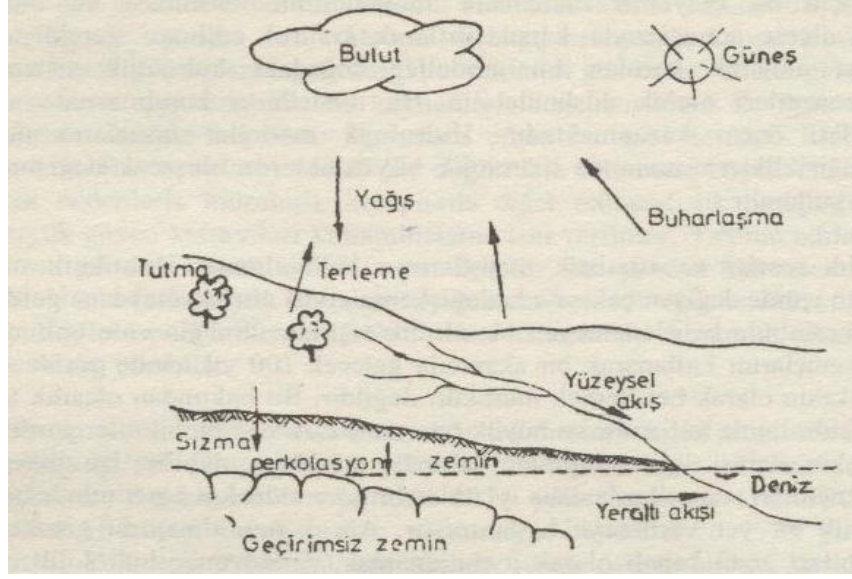
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Yağış

Yeryüzünde canlıların yaşaması için suyu kullanmak ve kontrol altına almak gerektiğinden insanlar tarihin başlangıcından beri su ile ilgilenmişler, suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten kanunları belirlemeye, oluşturabileceği tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır. Hidroloji, yer küresinde (yani yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir.

Su doğada çeşitli yerlerde ve hallerde (katı, sıvı, gaz) bulunmakta ve yer küresinin farklı kısımları arasında sürekli hareket etmektedir. Suyun doğada döngü yollarının tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrimi gözden geçirmeye atmosferden başlanacak olursa, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen yağışın büyük bir kısmı (% 60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alıkoyulur (tutma), bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma), geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve akarsular yoluyla denizlere ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yeraltı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Görüldüğü gibi su, katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve farklı yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Yerkürenin iklim sistemi ile yakından ilişkili olan hidrolojik çevrim günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir. Atmosferden yeryüzüne düşen yağışın önemli bir kısmı tutma, buharlaşma ve terleme yoluyla, akış haline geçmeden atmosfere geri döner. Bu kayıpların belirlenmesi özellikle kurak mevsimlerde hidrolojik bakımdan büyük önem taşır (Bayazıt,1982).



Şekil 3.1. Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları (Bayazıt, 1982).

Hidrolojik çevrimin önemli parametrelerinden olan yağış ve akım, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi, enerji üretimi, sulama suyunun temin edilmesi ve de günümüzde çok önemli bir konuma gelen kuraklık tehlikesine karşı su kaynaklarının düzgün kullanımı gibi önemli bir konuma sahiptirler.

Yağış, atmosferden sıvı ya da katı halde yeryüzüne düşen sulara denir. Sıvı haldeki yağış yağmur şeklindedir. Katı haldeki yağış ise kar, dolu, çığ, kırağı şeklindedir. Yağmur ve kar hidrolojik bakımdan en önemli iki yağış şekli olup hidrolojik açıdan aralarındaki önemli fark yağmur halinde yeryüzüne düşen sular derhal akış haline geçtikleri halde karın genellikle uzun bir süre sonra erimesidir.

Yağış özellikle meteorolojinin inceleme alanına girer. Ancak hidrolojide de yağış ölçmelerinin sonuçlarını kullanmak gerekir. Yağış ölçmeleri diğer ölçmelere göre daha uzun bir süredir yapılmakta olup birçok bölgelerde oldukça sık yağış ölçme ağıları kurulmuş durumdadır. Aynı zamanda yağış ölçmelerini yapmak fazla bilgili kişileri gerektirmez, daha kolaydır. Bu nedenlerle yağış verileri diğer hidrolojik verilere göre daha uzun süreler için ve daha güvenilir şekilde elde edilir. Havadaki su buharının yağış halinde yeryüzüne düşmesi için gerekli şartların birlikte gerçekleşmesi gerekir. Bunlar,

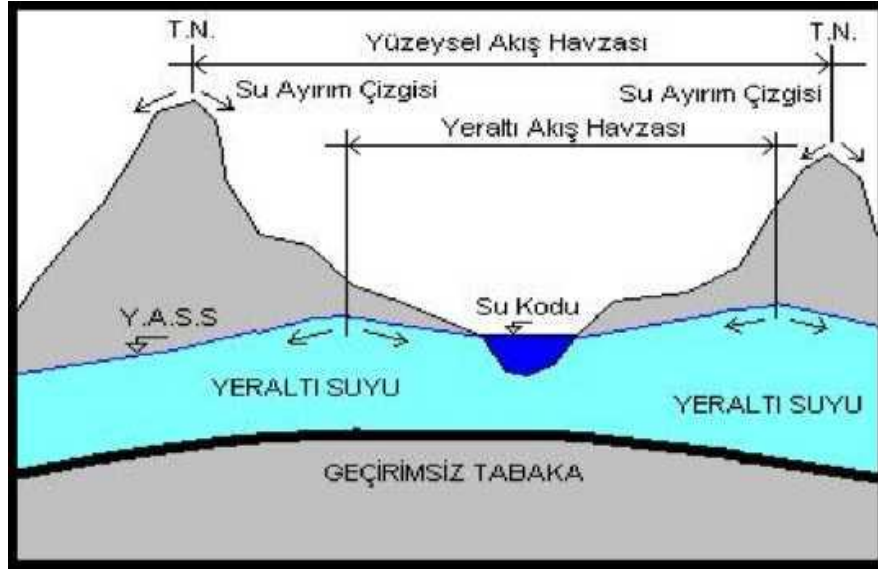
- Atmosferin o bölgesinde yeterli miktarda su buharı bulunmalıdır. Atmosferdeki su buharının büyük bir kısmının kaynağı denizlerdeki buharlaşmadır.
- Hava soğmalıdır. Hava soğuyunca su buharı taşıma kapasitesi azalır, doyma kapasitesinin üstüne çıkılınca su buharı sıvı hale geçebilir. Havanın soğumasının ne şekilde olabileceği aşağıda incelenecektir.
- Yoğunlaşma olmalıdır. Yoğunlaşma adlarına yoğunlaşma çekirdeği denen çok küçük (mikron mertebesinde) tozlar üzerinde olur. Bu tozlar (organik cisimler, volkanik kül, kil taneleri, tuz ve duman) atmosferde daima mevcut olduğundan hava doymuş hale geçince bu şart her zaman gerçekleşir. Su buharının yoğunlaşmasıyla bulutlar meydana gelir. Bulutlardaki su damlacıklarının büyüklüğü 1-100 mikron arasında kaldığından bunlar buharlaşmadan yeryüzüne kadar düşemezler.
- Yeryüzüne düşebilecek irilikte (1 mm kadar) damlalar teşekkül etmelidir. Bu ya üzerinde su buharının yoğunlaşabileceği buz kristallerinin varlığıyla ya da küçük damlacıkların çarpışarak birleşmesi sonunda olabilir. -10°C den düşük sıcaklıktaki bulutlarda yeterli sayıda buz kristali varsa, buz üzerindeki buhar basıncından düşük olduğundan, su buharının buz kristalleri üzerinde toplanmasıyla iri damlalar meydana gelebilir. Daha sıcak bulutlarda ise iri damlalar bu şekilde oluşamaz, fakat nispeten iri damlacıkların birbiriyle çarpışıp daha büyümeleri ile yağış görülebilir. Bu şartlar her zaman gerçekleşmediği için diğer üç şart var olduğu halde yağış meydana gelmeyebilir (Bayazıt, 1982).

3.1.2. Yüzeysel Akış

Bir akarsu kesitinde belirli bir zaman dilimi içerisinde geçen su parçacıklarının hareket doğrultusunda birçok kesitten geçerek, yol alarak ilerlemesi ve bir noktaya ulaşması süresince gerçekleşen olaya akış adı verilir. Akış izlediği yol doğrultusunda sınıflandırılır. Burada akışın gerçekleştiği havza karakteristiklerini bilmek gerekir. Akışın başlangıç noktası yağıştır. Fakat yağış ve akış arasındaki periyodu yağış tipi belirlemektedir. Yağmur şeklinde düşen yağış ile kar şeklinde düşen yağış arasında önemli farklar vardır.

3.1.2.1. Akarsu Havzalarının Özellikleri

Hidrolojide kullanılan coğrafi birim olan akarsu havzası (su toplama havzası, drenaj havzası) akışını bir yüzeysel su yolu (akarsu) üzerinden alınan bir çıktı noktasına gönderen yüzey olarak tanımlanır. Bu şekilde tanımlanan akarsu havzasına, üzerine düşen yağışı çıktı noktasındaki akış haline dönüştüren bir sistem gözüyle bakılabilir. Bir havzayı komşu havzalardan ayıran su ayırım çizgisinin topografik ayırım çizgileriyle çakıştığı, yani çıktı noktasından başlayarak arazideki en yüksek noktalardan geçtiği kabul edilebilir (Bayazıt, 1982). Genel şekliyle yüzeysel ve yeraltı akış havzaları Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Yüzeysel akış havzası ile yeraltı akış havzası

Akarsu havzalarını birbiriyle karşılaştırabilmek için bir havzayı belirleyen karakteristikleri bilmek gerekir. Havzanın üzerine düşen yağışı zaman içinde bir değişime uğratarak bir çıktı noktasında gözlenen akış haline çevirmesi bu karakteristiklere bağlıdır.

Havza karakteristiklerinin en önemlileri şunlardır.

- Zemin cinsi ve jeolojik yapı,
- Bitki örtüsü,

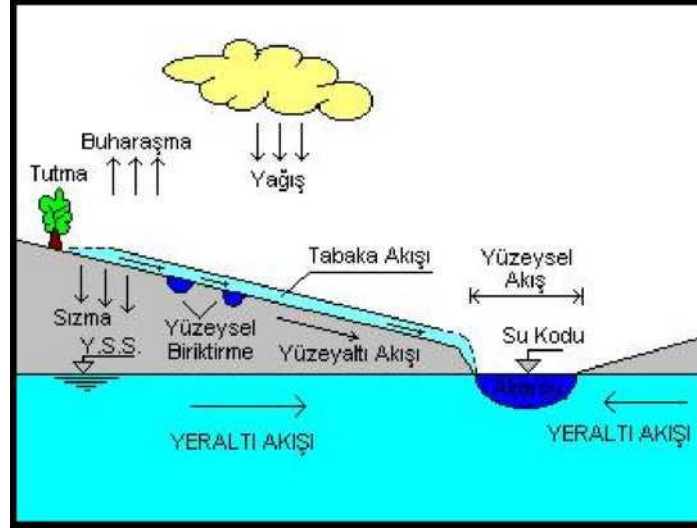
- Havzanın büyüklüğü,
- Havzanın biçimi,
- Havzanın eğimi,
- Havzanın ortalama kotu,
- Havza alanının çıktı noktasından olan uzaklığa göre dağılım.

Bir akarsu havzasındaki akarsu ağı planda, profile ve en kesitte mevcut su katı maddeyi dinamik bir denge halinde taşıyabilecek bir biçim alır. Bu ağ şu özellikleriyle belirlenir.

- Akarsu yoğunluğu,
- Drenaj yoğunluğu,
- Akarsu profili,
- Akarsu ağının şekli,
- Akarsuyun mertebesi
- Akarsuyun en kesiti (Bayazıt, 1982).

3.1.2.2. Akışın Kısımlara Ayrılması

Bir su toplama havzasından toplanarak havzanın çıktı noktasındaki bir akarsu kesitinden geçen toplam akış çeşitli kısımlardan meydana gelir. Havzaya düşen yağıştan kayıplar çıktıktan sonra geriye kalan yağış fazlası yüzeysel akış haline geçer, yerçekimi etkisi ile arazinin eğimine uyarak havzanın yüksek noktalarından alçak noktalarına doğru hareket eder. Diğer taraftan zemine sızan suyun bir kısmı zeminin üst tabakalarında (doymamış bölgede) ilerleyerek geçirimsiz bir tabakaya rastlayınca yüzeye çıkabilir, buna yüzey altı akışı denir. Zemine sızan suyun bir kısmı ise daha derinlere inerek yeraltı suyuna karışır ve sonunda yeraltı akışı şeklinde bir akarsuyu besleyebilir. Akışın kısımlara ayrılması Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Akışın kısımlara ayrılması

Yüzeysel akışını diğerlerinden ayırmak zor olduğundan bir akarsudaki toplam akışı genellikle iki parçaya ayırarak yetinilir.

Dolaysız Akış: Yüzeysel akışla yüzeysel akışın gecikmesiz (zemine sızdıktan kısa bir zaman sonra akarsuya ulaşan) kısmından meydana gelir. Genellikle yüzeysel akışın büyük bir kesimi dolaysız akış içinde düşünülür.

Taban akışı: Yeraltı akışı ile yüzeysel akışın gecikmeli (akarsuya uzun bir zaman sonra ulaşan) kısmından meydana gelir.

Yağışın yukarıda belirtilen kısımlara ayrılması yağış şiddeti, süresi, yağışın havza üzerinde dağılımı gibi yağış karakteristiklerine, havza özelliklerine ve yeraltı su seviyesinin durumu gibi çeşitli etkenlere bağlıdır (Bayazıt, 1982).

3.1.3. Çalışma Bölgesi ve Veriler

Kızılırmak Nehri, Türkiye topraklarından doğarak yine, Türkiye topraklarından denize dökülen en uzun akarsudur. Uzunluğu 1.355 km'dir. Deniz taşımacılığı için kullanılmayan nehrin başlıca kolları Delice Irmağı, Devrez ve Gökırmak'tır. Nehir, İç Anadolu'nun en doğusundaki Sivas ili İmranlı ilçesinde Kızıldağ 'ın güney yamaçlarından yaklaşık 39,8° Kuzey 38,8° Doğu noktasından doğar, ilk önce batı ve

güney batıya 38,7° Kuzey 34,8° Doğu ya kadar akar, daha sonra yay şeklinde biçimlenir. İlk batıya, daha sonra kuzey doğudaki Tuz Gölü'nü geçerek kuzey batıya akar. Daha sonra kuzey ve kuzey doğuya yönelir. Burada Delice Irmağı ile 40.47° Doğu 34.14° Batı noktasında birleşir. Sonra zigzaglar çizerek kuzey batıya akar. 41.10° Doğu 34.42° Batı da Devrez Nehri ile birlikte akar ve kuzey doğuya doğru döner. Sonuçta Karadeniz'e 41.72° Kuzey 35.95° Doğu noktasında boşalır. Sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum ve Samsun illerinden geçerken çok sayıda dere ve çayın sularını toplayarak Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e ulaşır.

Yağmur ve kar sularıyla beslenen nehrin rejimi düzensizdir. Temmuz ve Şubat arasında düşük su düzeyinde akan nehir, Mart ayında hızla kabarmaya başlar ve Nisan ayında en yüksek su düzeyine ulaşır. Ortalama debisi 184 m³/sn olan nehrin 20 yıllık gözlem süresince en az 18,4 m³/sn'ye ve en çok 1.673 m³/sn'ye ulaştığı tespit edilmiştir.

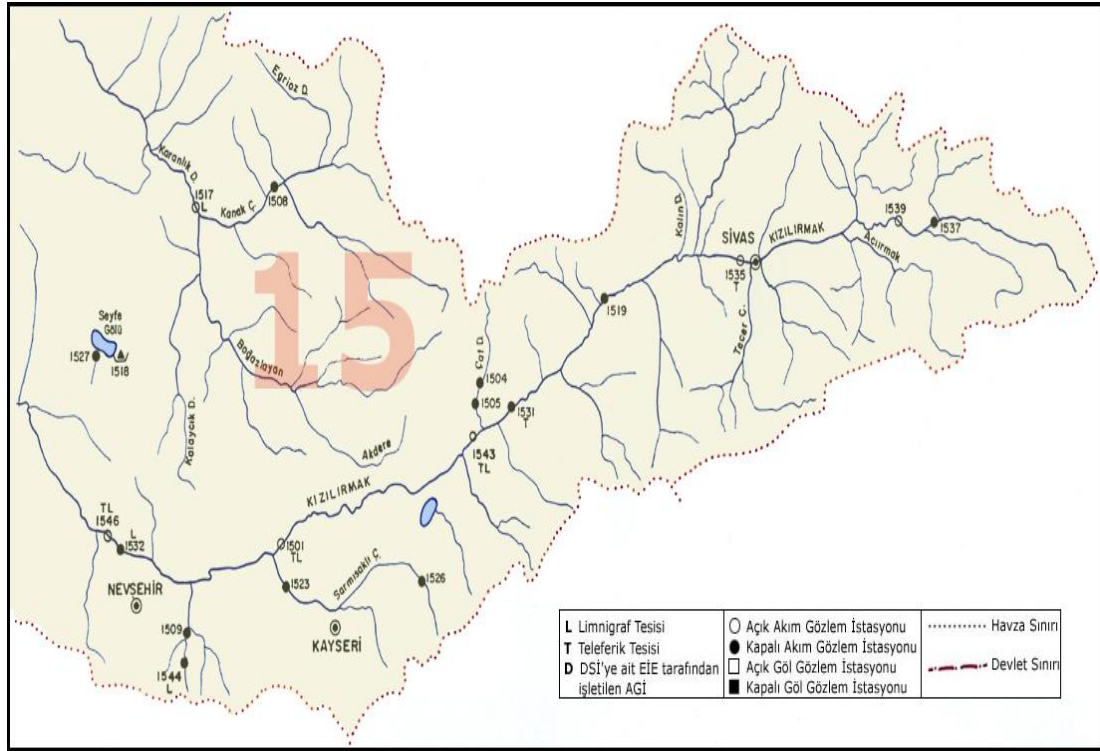
Nehir üzerine 8 baraj yapılmıştır. Bunlar Kayseri ilinde Sarıoğlan, Yemliha kasabasında kurulmuş olan Yamula Barajı, Ankara yakınlarındaki Kesikköprü, Hirfanlı ve Kapulukaya barajları ile nehrin Bafra Ovası'na kurulmuş Altınkaya ve Derbent barajlarıdır. Nehir üzerine son olarak Obruk Barajı yapılarak 2007 yılı içerisinde su tutumuna başlanılmıştır (www.wikipedia.org).

Kızılırmak Havzası üzerinde EİE'ye ait 46 adet (1501 ile 1549 no arası istasyonlar) akım ölçüm istasyonu mevcuttur. Bu istasyonların 12 tanesi halen faal olup geriye kalan 34 tanesi ise kapatılmıştır. Çalışmada kullanılan 1535 no.lu Söğütlühan istasyonunun bulunduğu havza Şekil 3.4'de verilmiştir.

Çalışmada, 1993–2005 yıllarına ait EİE'den Söğütlühan akım gözlem istasyonu için günlük ortalama akım değerleri ile Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Sivas istasyonunun günlük yağış değerleri kullanılmıştır. Modellerin eğitilmesinde 01.10.1993-08.05.2003 tarihleri arasındaki veriler, geliştirilen modellerin test edilmesinde ise 09.05.2003-30.09.2005 tarihleri arasındaki veriler kullanılmıştır. Eğitim ve test setleri için ortalama (X_{mean}), standart sapma (S_x), çarpıklık (C_{sx}), minimum (X_{min}) ve maksimum (X_{max}) yağış ve akım değerleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. İstasyonlara ait istatistiki bilgiler

İstasyon	Değişken	Veri seti	X_{mean}	S_x	C_{sx}	X_{min}	X_{max}
Sivas	Yağış (mm)	Eğitim	1,23	3,36	4,72	0	44,2
		Test	0,96	2,84	5,13	0,00	32,10
Söğütlühan (1535)	Akım (m ³ /s)	Eğitim	32,19	47,21	2,71	2,54	298
		Test	21,47	25,11	1,89	2,98	131,00



Şekil 3.4. Kızılırmak nehri ve akım istasyonları haritası (EİE Genel Müd.2012)

3.2. Yöntem

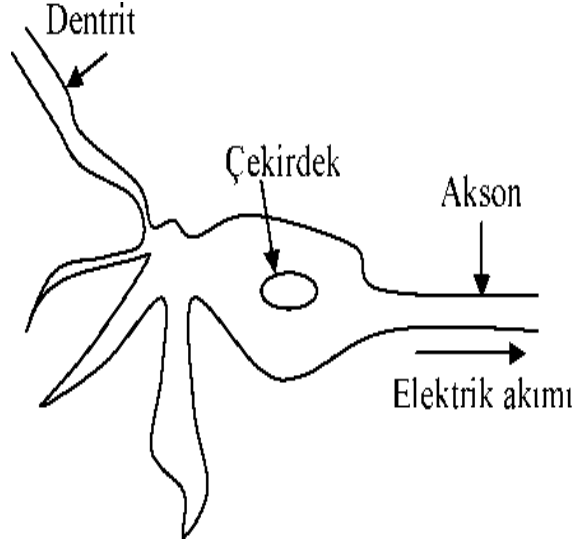
3.2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun (sinir hücresinin), ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Önceleri temel tıp bilimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel modelleme çabaları ile başlayan çalışmalar, geçtiğimiz on sene içerisinde disipline bir şekil almıştır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir. YSA'nın pratik kullanımı genelde, çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen bilgi verilerini hızlı bir şekilde tanımlama ve algılama üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır. Çünkü bilgisayarlar insanın beyinsel yeteneğinin en zayıf olduğu çarpma, bölme gibi matematiksel ve algoritmik hesaplama işlemlerinde hız ve doğruluk açısından yüzlerce kat başarılı olmalarına rağmen insan beyninin öğrenme ve tanıma gibi işlevlerini hala yeteri kadar gerçekleştirememektedir.

YSA paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemidir. Bu sistem tek yönlü işaret bağlantılar ile birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşur. Çıktı işareti bir tane olup isteğe göre çoğaltılabilir. YSA yaklaşımının temel düşüncesiyle, insan beyninin fonksiyonları arasında benzerlik vardır. Bu yüzden YSA sistemine insan beyninin modeli denilebilir. YSA çevre şartlarına göre davranışlarını şekillendirebilir. Girdi ve istenen çıktılarının sisteme verilmesi ile kendisini farklı cevaplar verebilecek şekilde ayarlayabilir. Ancak son derece karmaşık bir içyapısı vardır. Onun için bugüne kadar gerçekleştirilen YSA, biyolojik fonksiyonların temel nöronlarını örnek olarak yerine getiren kompoze elemanlar olmuştur.

En genel anlamda sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan kompleks sistemlerdir. Şekil 3.5'de bir biyolojik sinir hücresi görülmektedir.

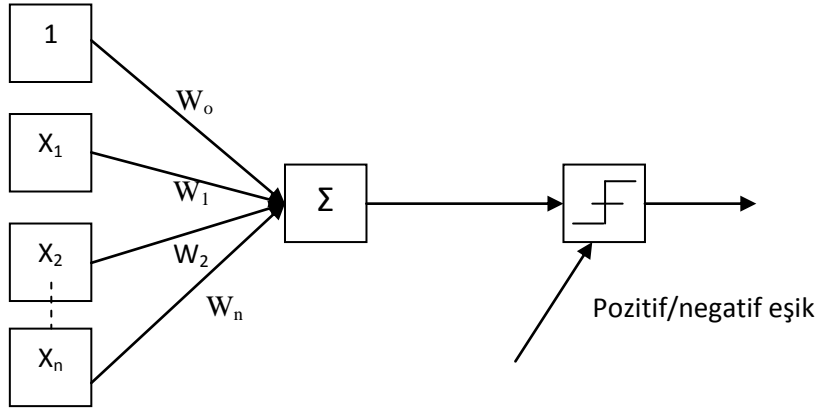
Biyolojik nöron, bir çekirdek, gövde ve iki türlü uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan dentrit girdi bilgilerini alır, uzun ve tek olan akson ise çıktı bilgilerini diğer nöronlara taşır. Akson ve dentritin birleşim yerine sinaps adı verilir. Bunlar nöronlardan aldığı sinyalleri değerlendirirler ve eşik değeri üzerinde bir girdi varsa bir sonraki hücreye iletirler.



Şekil 3.5. Tipik bir biyolojik nöron

YSA teknolojisi hesaplamalarda tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir. YSA, paralel hesaplama tekniğinin bütün avantajlarını kullanabilen ve algoritmik olmayan bir yöntemdir. Belirli bir problemi, programlama yerine direkt olarak mevcut örnekler üzerinden eğitilerek öğrenirler. Ayrıca yapay sinir ağları, klasik bilgisayar belleği gibi belirli yerlerde saklama yerine, öz şeklinde bilgileri nöronlar arasındaki bağlantılar üzerindeki ağırlık değerleri ile ağ üzerine dağıtarak saklarlar.

Matematiksel olarak modellenmiş biyolojik bir nöron Şekil 3.6.'de görülmektedir. Bu tür nöronlar Mc Culloch-Pits nöronu olarak bilinirler. Bunlar ağın her bir işlem birimini temsil ederler ve birbirleriyle bağlanarak ağı oluştururlar. Her bir nöron basit bir anahtar görevi yapar ve şiddetine göre gelen sinyali ya söndürür ya da iletir. Böylece ağ içerisindeki her bir nöronun belli bir yükü olur.



Şekil 3.6. Bir biyolojik nöronun matematiksel modellenmesi.

Her nöron gelen sinyalin seviyesine göre açık ya da kapalı duruma geçerek basit bir tetikleyici görevi üstlenir. Bu işlemleri yaparken nöronlar girdi bilgilerini ağırlandırarak bunları lineer toplar ve bir eşik, lineer veya non-lineer bir fonksiyonda işleyerek çıktısını verir. Bu çıktıyı hücre bağlantısı olan diğer nöronlar girdi bilgileri olarak alırlar.

Ağ hesaplamaları öğrenme ve hatırlama olmak üzere iki safhadan oluşmaktadır. Bu özelliklere aşağıda değinilmiştir.

1. Öğrenme: Yapay sinir ağları insan zekası gibi örneklerle eğitilirler. Ağlar ne kadar çok örnekle eğitilirse problem üzerindeki teşhisi o kadar doğru olur. Yapay sinir ağlarında iki tür öğrenme mevcuttur.
 - a) Denetimli Öğrenme: Ağa örneğe ait hem girdi değerleri hem de çıktı değerleri sunulur ve her iterasyonda örneğe ait çıktı değerleriyle ağ çıktı değeri karşılaştırılarak ağın hatası bulunur. Bu hata kabul edilebilir dereceye indirilene kadar, yapay sinir ağı nöronlar arasındaki ağırlıkları değiştirerek iterasyona devam eder. Bazı tip ağlarda ise ağın enerjisi hesaplanır ve bu enerjiyi minimize eden ağırlık grubu, istenen ağırlık grubu olarak kabul edilir.
 - b) Denetimsiz Öğrenme: Bu tür öğrenmede ağa sadece girdi veri grubu sunulur ve ağdan bu veri grubuna uyumlu bir çıktı değeri üretecek şekilde kendisini uygun ağırlıklarla düzenlemesi istenir.

2. Hatırlama: Ağın öğrenmesi sonucu elde edilen ağırlık grubu kullanılarak ağa belirli bir probleme ait girdi değerleri verilir ve bu probleme çözüm getirmesi istenir (Türktemiz, 2008).

3.2.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri

Yapay sinir ağlarının klasik yöntemlere göre sağladıkları üstünlükler aşağıda açıklanmıştır.

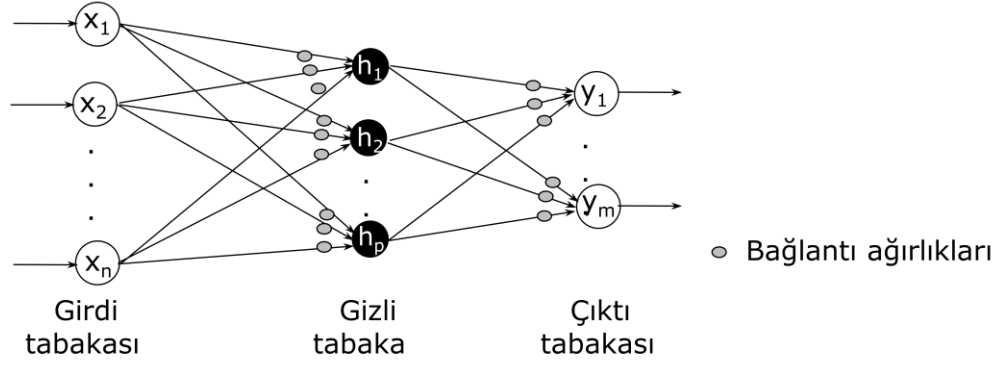
- Doğrusal olmama: Yapay nöronların lineer olmama özelliği yapay sinir ağlarının doğadaki hemen her probleme uygulanabilmesini sağlamaktadır. Bu özellik, ağ yapısı içerisinde kullanılan lineer olmayan transfer işlevlerinden kaynaklanmaktadır.
- Öğrenme: YSA'ları diğer yaklaşımlardan ayıran temel özelliktir. YSA'nın bir problemi öğrenmesi için problemin girdi verilerine karşılık gelen çıktı verilerinin veya sadece girdi verilerinin sağlanması gerekir. Girdi ve çıktı verileri ile tanımlanan öğrenme kümesi yeteri sayıda örnek içermelidir. Öğrenme süreci, sistem girdileri ve sistem çıktısı arasındaki ilişkiyi veya girdi verileri arasındaki ilişkilendirmeyi tanımlayan ağırlık verilerinin elde edilme süreci olarak da tanımlanabilir. YSA'ya bu özellik öğrenme algoritması kullanılarak kazandırılır
- Genelleme yapma: Eğitim sürecinin ardından YSA eğitim kümesi dışındaki veriler için de çıktılar üretilebilir. YSA'nın ürettiği çıktıların kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı, test verilerinin bilinen sistem çıktısı ile YSA'nın çıktı değerleri karşılaştırılarak anlaşılabilir. Bu uygulama, genellemenin testi olarak bilinir. Karşılaştırmada elde edilen hata değeri kabul edilebilir sınırlar içerisinde ise YSA çıktılarının kabul edilebilir değerler olduğu farz edilir. YSA, eğitim aşamasından sonra sisteme çıktı üretmek için girdi verilerinin tüm parametrelerine ihtiyaç duymaz. Bu YSA'nın paralel yapısının sağladığı bir üstünlüktür. Eksik parametrelerle uygulanan sistem girdisine karşılık en uygun sistem çıktı değeri üretilebilir.

- Uyarılma: Yapay sinir ağıları parametreleri değişen probleme veya sisteme uygun çözümler sağlamak için tekrar tekrar eğitilebilir. Eğitim gerçek zamanda da gerçekleştirilebilir. Bu özellik yapay sinir ağlarının hedef tanıma, uyarlamalı örnek tanıma, sınıflandırma, işaret işleme, otomatik kontrol ve sistem kimliklendirme ile modelleme gibi alanlarda kullanımını sağlamıştır.
- Veri işleme: Biyolojik sistemlerde veri, dağınık yapıda saklanır. Yapay sinir ağlarında ise, ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmış şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve işlenmektedir. Ağırlıklar herhangi bir anda YSA'nın problemle ilgili olarak sahip bulunduğu bilgiyi ifade eder. Yapay sinir ağlarında veri dağıtılmış birleşik hafıza yapısı kullanılır ve bilgi farklı formlara dönüştürülerek işlenebilir

3.2.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

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.

Çok tabakalı bir algılayıcı ağı girdi tabakası, hesaplama yapan sinir hücreleri olan bir veya daha fazla gizli tabaka ve çıktı tabakasından oluşur. Şekil 3.7'den görüldüğü üzere iki komşu tabaka arasında ileriye doğru ağırlıklı bağlantılar vardır. Yapay sinir ağlarında tek tabakalı algılayıcı modelinin çözüm üretemediği doğrusal olmayan ilişkiler söz konusu olduğunda çok tabakalı algılayıcılara ihtiyaç vardır. Çok tabakalı algılayıcı ağlarının eğitilmesi çok zor olabildiği gibi bazı durumlarda eğitim çok başarılı olabilir. Tek tabakalı ağlarda çözümü zor veya mümkün olmayan problemler çok tabakalı ağlarda kolaylıkla çözülebilmektedir.



Şekil 3.7. Yapay sinir ağının genel yapısı

Çok tabakalı algılayıcı ağları eğitici öğrenme stratejisine göre çalışır. Çok tabakalı algılayıcı ağının öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme Kuralının genelleştirilmiş halidir. Bu yüzden öğrenme kuralına Genelleştirilmiş Delta Kuralı da denilmektedir. Ağın öğrenebilmesi için eğitim seti adı verilen ve örneklerden oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Bu eğitim seti içinde her örnek için ağın hem girdiler hem de o girdiler için üretmesi gereken çıktılar belirlenmiştir. Genelleştirilmiş delta kuralı iki safhadan oluşur. Bunlar ağın çıktısını hesaplama safhası olan ileri doğru hesaplama ve ağırlıkları değiştirme safhası olan geriye doğru hesaplamadır (Terzi, 2004).

3.2.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümlerine geçmeden önce zaman serileri hakkında genel bir bilgi vermek faydalı olacaktır. Zamana bağlı değişkenlerin, belli aralıktaki kayıtları ile elde edilen zaman serileri $X(t)$, kendisini oluşturan bileşenler incelendiğinde şu şekilde ifade edilebilir.

$$X_t = P_i + T_i + S_i + R_i + \varepsilon_i \quad (3.1)$$

Burada ε_i rastgele (bağımsız) bileşen, P_i periyodik bileşen, T_i trend bileşeni, S_i sıçrama bileşenini, R_i iç bağımlı bileşeni ifade eder. Zaman serileri, sahip oldukları spektral bileşenlerin zaman içerisinde değişip değişmemesine göre kararlı, zamanla değişmeyen (stasyonör) ya da kararlı olmayan, zamanla değişen (nonstasyonör) seriler olarak ayrılabilirler. Aslında istisnasız bütün sistemler zamanla değişirler.

Ancak, değişimin tam olarak tanımlanıp modele uydurulması zor olacağı için genelde sistemlerde zamanla değişmezlik kabulü yapılır. Yani bu durumda tüm spektral bileşenler tüm zaman boyunca değişmemektedir. Ancak bu durum, sistemin gerçekliğinden uzaklaşılması anlamına gelir. Genelde yıllık akım serileri gibi seriler böyle kabul edilebilirler (Partal, 2007). Fakat bu genel bir kabuldür ve bu serilerde bile zaman içerisinde değişen bileşenler söz konusu olabilir. Mevsimsel, aylık ya da günlük zaman serileri periyodik bileşenlere sahip oldukları için zamanla değişen serilerdirler. Ayrıca doğal olaylara ait kayıtların yapısı çok karmaşıktır. Bu verilerde zaman içerisinde ortaya çıkan ve değişen pek çok spektral bileşen bulunmaktadır ve bunların incelenmesi çok zordur. İşte bu tür değişkenlerin incelenmesinde dalgacık dönüşümü çok yararlı bir yöntemdir.

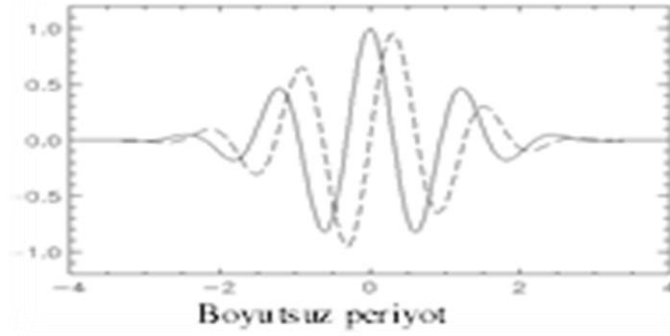
Dalgacık dönüşümlerinin temelinde Fourier dönüşümleri vardır. Fourier dönüşümleri daha çok kararlı işaretlerin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bir tür işaretleme tekniği olan Fourier dönüşümlerinde fonksiyon kendisini oluşturduğu varsayılan sinüs veya kosinüs gibi periyodik fonksiyonlarla ifade edilmektedir. Fourier dönüşümü gibi teknikler, incelenmesi ve yorumlanması zor olan zaman serilerinin çözümlenmesine ve farklı durumlarda incelenmesine olanak sağlayan kullanışlı yöntemlerdir. Dönüşüm yapılarak bir fonksiyonun orijinal değerlerinden elde edilemeyen ilave ve gizli bilgilere ulaşılabilir. Dönüşüm işlemindeki temel amaç karmaşık fonksiyonların basit temel yapıları ile temsil edilmeleridir. Daha çok kararlı işaretlerin analizi için uygun olan Fourier dönüşümleri kararlı olmayan işaretler için de kullanılabilirler. Ancak kararlı olmayan işaretler zaman içerisinde değişen spektral bileşenlere sahiptir. Fourier dönüşümleri bu tür bileşenleri ifade edebilir, ancak bunların ne zaman başlayıp ne zaman bittiğini yani bu periyodik bileşenlerin zaman içerisindeki değişimlerini belirleyemezler. Bu durumu çözmek için kısa süreli Fourier dönüşümü (KSFD) adıyla bilinen yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde işaret, zaman ortamında tanımlanmış bir pencereden geçirildikten sonra Fourier dönüşümü uygulanır. Pencere fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon sayesinde, işaretin farklı zaman aralıklarında frekans cevapları (frekans spektrumu) elde edilir. Bu sayede işaretin frekans bilgisinin yanında zaman bilgisi de elde edilmiş olur ve işaretin frekans cevabının zamanla değişimi bulunur.

KSFD ile ortaya çıkan gelişmeler dalgacık dönüşümün temelini atmıştır. KSFD' nda kullanılan pencere fonksiyonu sabit genişliktedir. Bu yüzden işarettteki yüksek

frekanslı hızlı değişimler tam olarak ortaya çıkarılamayabilir. Bu soruna çözüm amacıyla, sabit genişlikteki pencereler yerine, işaretteki yavaş değişimleri yakalamak için geniş pencere fonksiyonları, hızlı değişimler için ise dar pencere fonksiyonları kullanılması düşünülmüş ve sonuçta dalgacık dönüşümü ortaya çıkmıştır. Dalgacık analizi matematik alanında ilk olarak 1980’li senelerde kullanılmaya başlamıştır.

3.2.2.1. Dalgacık Nedir

Dalgacık (Wavelet), dalganın küçük bir parçası olarak tanımlanabilir. Bu anlamda dalgacık, süresi sınırlı bir titreşim işaretidir (Partal, 2007). Şekil 3.8’ de dalgacık olarak adlandırılan ve dalgacık dönüşümünde en çok kullanılan Morlet dalgacık tipi görülmektedir.



Şekil 3.8. Morlet dalgacığı

Dalgacık analizinde en çok kullanılan ana dalgacıklar Morlet (Şekil 3.11.), Haar, Meksika şapka tipi, Daubechies dalgacıklarıdır. Dalgacıklar, veriyi farklı frekans bileşenlerine ayıran ve sonra kendi ölçekleriyle eşleştirilmiş bir çözünürlüğe sahip bileşenler üzerinde çalışan matematiksel fonksiyonlardır. Dalgacık algoritmaları, veriyi farklı ölçek veya çözünürlüklerde işler. Eğer geniş bir pencereden bir işarete bakarsak, büyük özellikleri fark ederiz. Benzer şekilde, küçük bir pencereden bir işarete bakarsak, küçük özellikleri fark ederiz. Dalgacıkları ilginç ve aynı zamanda yararlı kılan bu özelliktir.

3.2.2.2. Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümü, işaretin ya da zaman serisinin zaman-frekans-ölçek ekseninde incelenmesine imkan verir. İşaret, sürekli dalgacık dönüşümünde (SDD)

dalgacık adı verilen zamanda ötelenebilen, genişliği değiştirilebilen bir fonksiyonla çarpılır. Analiz boyunca, adım adım öteleme sağlanarak her adımda o adımdaki dalgacık ve sinyalin çarpılmasıyla katsayılar elde edilmiş olur. İşaretin tamamı geçilip sonuna ulaşıldığında ise dalgacık katsayılarından oluşan bir küme elde edilir. Yapılan bu işlemler ölçeği değiştirilmiş yeni dalgacıklarla tekrarlanır. Böylece başka bir ölçekte de dalgacık katsayıları kümesi elde edilmiş olur. Her ölçekte dalgacık katsayıları zamanın bir fonksiyonu şeklinde ayrı ayrı ele alınır. Sürekli dalgacık dönüşümünde en çok kullanılan dalgacık tipi Morlet dalgacıdır. Sürekli dalgacık dönüşümü işlemi (SDD) şu şekilde ifade edilir (Partal, 2007).

$$SDD_x^{\Psi} \tau, s = \Psi_x^{\Psi} \tau, s = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (3.2)$$

$$\Psi_{r,s} = \frac{1}{s} \Psi \left(\frac{t-\tau}{s} \right) \quad (3.3)$$

Burada SDD, τ (öteleme) ve s (ölçek) parametrelerinin bir fonksiyonudur. $\Psi_{r,s}$ dönüşüm fonksiyonudur ve ana dalgacık fonksiyonu olarak adlandırılır. $x(t)$ ise analiz edilecek işarettir. Dönüşümde kullanılan farklı genişliğe sahip alt pencere fonksiyonları da ana dalgacıktan ölçekleme yoluyla türetilir. Öteleme terimi, KSFD’nda kullanılan pencerenin zamandaki yerini ifade etmektedir. Pencere, işaret üzerinde gezdirilir. Zaman bilgisi, dönüşümden ötelemeyle sağlanır. Ölçek değeri büyük ise (düşük frekanslar) işaret hakkında global bir bilgi elde edilir. Ölçek değeri küçük ise (yüksek frekanslar) işarettaki detaylar (kısa süren değişimler) yakalanır. Ölçek parametresi (s) 1/ frekans olarak tanımlanır. Ölçek değeri küçük ise yani yüksek frekanslardaki işarettaki detaylar elde edilir. Ölçek değeri büyük ise düşük frekanslardaki işaret hakkında bilgi elde edilir.

Dalgacık fonksiyonunun işaretle ötelenecek çarpımı ile dalgacık dönüşümü katsayıları (C) elde edilir. Bu katsayılar dalgacık fonksiyonu ile işaret arasındaki benzerliği ortaya koyarlar, eğer ilişkileri yüksek ise C katsayısı yüksek değerler alır. Burada bulunan her katsayı o ölçekte dalgacık fonksiyonu ile işaret arasındaki korelasyonu göstermektedir ve bu katsayının yüksek olması o andaki ilişkinin yüksek olmasını yani o dalgacık fonksiyonunun içerdiği frekans bilgisinin işaretle bulunduğu anlamına gelir. Bu da işaretle o frekans değerine ait spektral bileşeni ortaya çıkarır. Dalgacık fonksiyonu farklı ölçekler kullanılarak işaret üzerinde tüm zaman boyunca çarpılır. Böylece işaretin ölçek-zaman-frekans ekseninde oluşan 3 boyutlu

görünümünü veren yersel dalgacık spektrumu ortaya çıkarılmış olur. Farklı ölçeklerdeki dalgacık fonksiyonlarının tüm zaman boyunca işaretle çarpımı sonucunda elde edilen katsayılar, boyutu ‘zaman × ölçek ’ kadar olan bir matris oluşturur. Bu matris ise zaman-ölçek eksenlerinde bir görüntü oluşturur. Oluşan görüntü işarettaki farklı ölçek değerlerindeki spektral bileşenlerin ne zaman başlayıp ne zaman bittiği bilgisinin yanında spektral bileşenin işaret ile olan ilişkisinin kuvvetini de verir.

3.2.2.3. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık katsayılarının ölçek değerinde hesaplanması çok miktarda katsayının oluşmasına ve işlem yüküne neden olduğundan dolayı, katsayıların yalnızca seçilen ölçekler ve zaman diliminde hesaplanması bir çok avantaj sağlar. Bu sayede daha az sayıda ancak yinede işaretin frekans-ölçek bilgisinin zaman boyunca değişimini veren katsayılar elde edilmiş olur. Bu katsayılar bir zaman serisi meydana getirirler ve bu zaman serileri çeşitli amaçlar için kullanılabilir.

Ayrık dalgacık dönüşümünde kullanılan ikili ölçek ve zaman adımıdır. Bu şekilde elde edilen her bir bileşen iki ve ikinin katları olacak şekilde ölçek değerlerine ait zaman serilerini ya da dalgacık katsayılarını verirler. Ayrık dalgacık dönüşümü için kullanılan dalgacık fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\Psi_{m,n}\left(\frac{t-\tau}{S}\right)=S_0^{-m/2}\Psi\left(\frac{t-n\tau_0S_0}{s_0^m}\right) \quad (3.4)$$

Burada m ve n tamsayı olarak dalgacığın sırası ile ölçek ve zaman eksenindeki öteleme parametreleridir. S_0 sabit bir öteleme adımını ifade eder ve bu çalışma da 2 olarak alınmıştır. τ_0 zaman eksenindeki öteleme aralığı değerini verir ve değeri 1 olarak alınmıştır. Bu değerler iteratürde en çok kullanılan değerlerine göre alınmıştır. İkinci katları kullanılarak oluşturulan dalgacık fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\Psi_{m,n}\left(\frac{t-\tau}{S}\right)=S_0^{-m/2}\Psi\left(\frac{t-n\tau_0S_0}{s_0^m}\right) \quad (3.5)$$

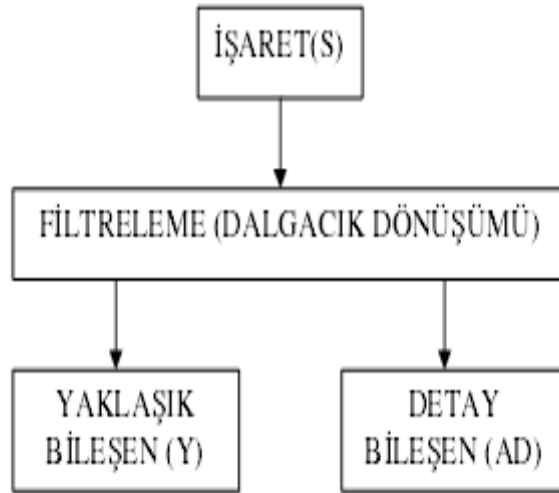
Bir i ayrık adımına sahip $x(t)$ zaman serisi için ayrık dalgacık dönüşümü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$W_{m,n} = 2^{-m/2} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \psi \left(\frac{i-n}{2^m} \right)$$

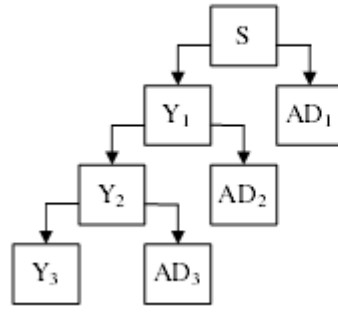
(3.6)

Burada $W_{m,n}$, $s=2^m$ ölçek ve $r=2^m$ n zaman değerlerine sahip dalgacık dönüşümü katsayılarıdır. Denklemde $x_i, i=1, \dots, N-1$; sonlu değerlere sahip bir zaman serisi ve $N, N=2M$ şeklinde ifade edilen ikinin katı bir tamsayıdır. $1 < m < M$ olmak üzere $2m$ ölçeğinde, $m=M$ olduğu en geniş ölçekte, tüm zaman serisini kaplayacak yalnızca bir tane dalgacık gerekir. Bir sonraki ölçekte ise $(2M-1)$ iki adet dalgacık tüm zaman aralığını kapsar ve iki adet katsayı üretilmiş olur. Bu işleme $m=1$ 'e kadar devam edilir. Bu işlemlerden sonra boyutu $N=2M$ olan bir ayrık zaman serisini ifade edecek toplam katsayı sayısı $1+2+4+\dots+2M-1$ adettir. Böylece ayrık dalgacık dönüşümü bize farklı zaman ve ölçeklerdeki bir zaman serisinin değişimi hakkında bilgi sağlar.

Ayrık dalgacık dönüşümünün bu şekli ile her seferinde veri sayısı yarı oranda azalmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümünün çok çözünürlüklü analiz (multiresolution analysis, ÇÇA) adlı başka bir şekli daha vardır. Mallat (1989) tarafından önerilen ADD' nin genel çalışma prensibi Şekil 3.9. ve Şekil 3.10' de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Mallat tarafından önerilen ADD' nin genel çalışma prensibi



$$\begin{aligned}
 S &= Y_1 + AD_1 \\
 &= Y_2 + AD_1 + AD_2 \\
 &= Y_3 + AD_1 + AD_2 + AD_3
 \end{aligned}$$

Şekil 3.10. İşaretin ADD ile bileşenlerine ayrılıp tekrar oluşturulması (S, orijinal işaret; Y, yaklaşık bileşen; AD, Detay bileşen)

İşaret ADD yardımıyla bir çeşit filtrelemeden geçirilerek, bir yaklaşık bileşenine ve detay bileşenine ayrıştırılır (Şekil 3.10). Ardından işlem yaklaşıklık serisinin diğer filtreden geçirilmesiyle devam eder. Her seferinde kalan yaklaşık serisi tekrar, yaklaşık ve detay olmak üzere ayrıştırılabilir. Bileşenlerine ayırma işlemi ardışık tekrar ederek işaret istenilen çözünürlük seviyesinde bileşenlerine ayrılabilir. Sonuçta işaret birçok alt çözünürlük seviyesinde bileşenlerine ayrılmış olur. Bu olaya çok çözünürlüklü analiz adı verilir. Çok çözünürlüklü analiz için genelde Daubechies dalgacıkları kullanılmaktadır.

Burada yaklaşık serisi işaretin yüksek ölçekli ya da düşük frekanslı bileşenini, detay bileşeni ise düşük ölçekli veya yüksek frekanslı bileşenini temsil eder. Orijinal işaret, iki tamamlayıcı filtreden geçirilerek iki ayrı işarete ayrılır. Yüksek frekanslı (düşük ölçek) detay bileşeni için, yüksek geçirir sıkıştırılmış bir dalgacık fonksiyonu kullanılır ve işarettaki hızlı değişimlere sahip yüksek frekanslı değişimler belirlenir.

Düşük frekanslı (yüksek ölçek) yaklaşık bileşeni için, alçak geçirir genişletilmiş bir dalgacık fonksiyonu kullanılır ve işarettaki trend mevsimsel değişimler gibi yavaş değişimleri belirler. Burada toplam kaç detay bileşeni bulunacağı kullanıcı tarafından istenildiği gibi belirlenebilir. Her bir detay bileşeni 2 den başlayarak ve 2'nin katları olacak şekilde ölçeklerde bilgi verir. ADD özelliği gereği, orijinal verinin tekrar elde edilmesine imkan tanımaktadır. Elde edilen tüm detay bileşenleri ve yaklaşık bileşenleri toplanırsa orijinal veriye dönülmüş olur.

İşaretin frekans bileşenlerine ayrılması, yüksek geçirir ve alçak geçirir filtreleme işlemi ile sağlanır. $x(q)$ orijinal işaret, $g(q)$ yüksek geçirir ve $h(q)$ alçak geçirir filtrelerden geçirilerek bileşenlerine ayrıştırılmış olur. Burada k filtre seviyesidir.

$$y_{yüksek}(k) = \sum_n x(q) \cdot g(2k - q) \quad (3.7)$$

$$y_{alçak}(k) = \sum_n x(q) \cdot h(2k - q) \quad (3.8)$$

Detay bileşenlerinin her birisi ayrı bir zaman serisi olup ait olduğu ölçekte orijinal seri hakkında önemli bilgiler içerir. Bu sayede orijinal serinin yapısının gizli özellikleri, detay bileşenler üzerinden incelenebilir. Detay bileşenlerinin bazıları orijinal serinin özelliklerinin büyük kısmını barındırabilir.

3.2.2.4. Global Dalgacık Spektrumu

Dalgacık dönüşümü ile elde edilen dalgacık katsayılarının zaman eksenini boyunca toplanması sonucunda global dalgacık spektrumu elde edilir. Global dalgacık spektrumu farklı ölçek seviyelerindeki bileşenlerin toplam enerji seviyelerinin belirlenmesine ve ölçek-enerji ekseninde sunulmasını sağlar.

$$W^2_s = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{T-1} |W_n(s)|^2 \quad (3.9)$$

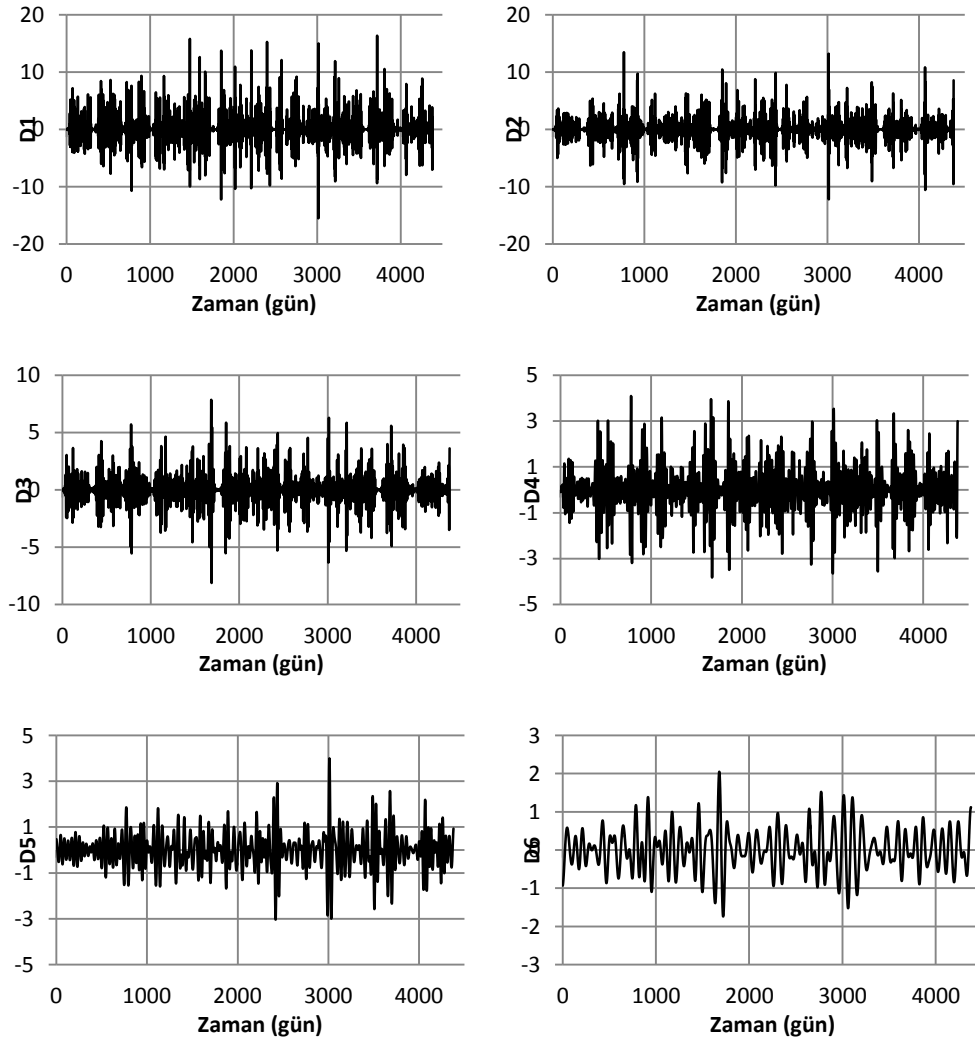
Burada T , işaretin uzunluğu, s ölçek değeri ve W_t ise dalgacık dönüşüm fonksiyonunu ifade eder. Tüm zaman eksenini boyunca elde edilen spektrumların ortalaması alınarak, düzleştirilmiş bir global dalgacık spektrumu elde edilmiş olur (Partal, 2007).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

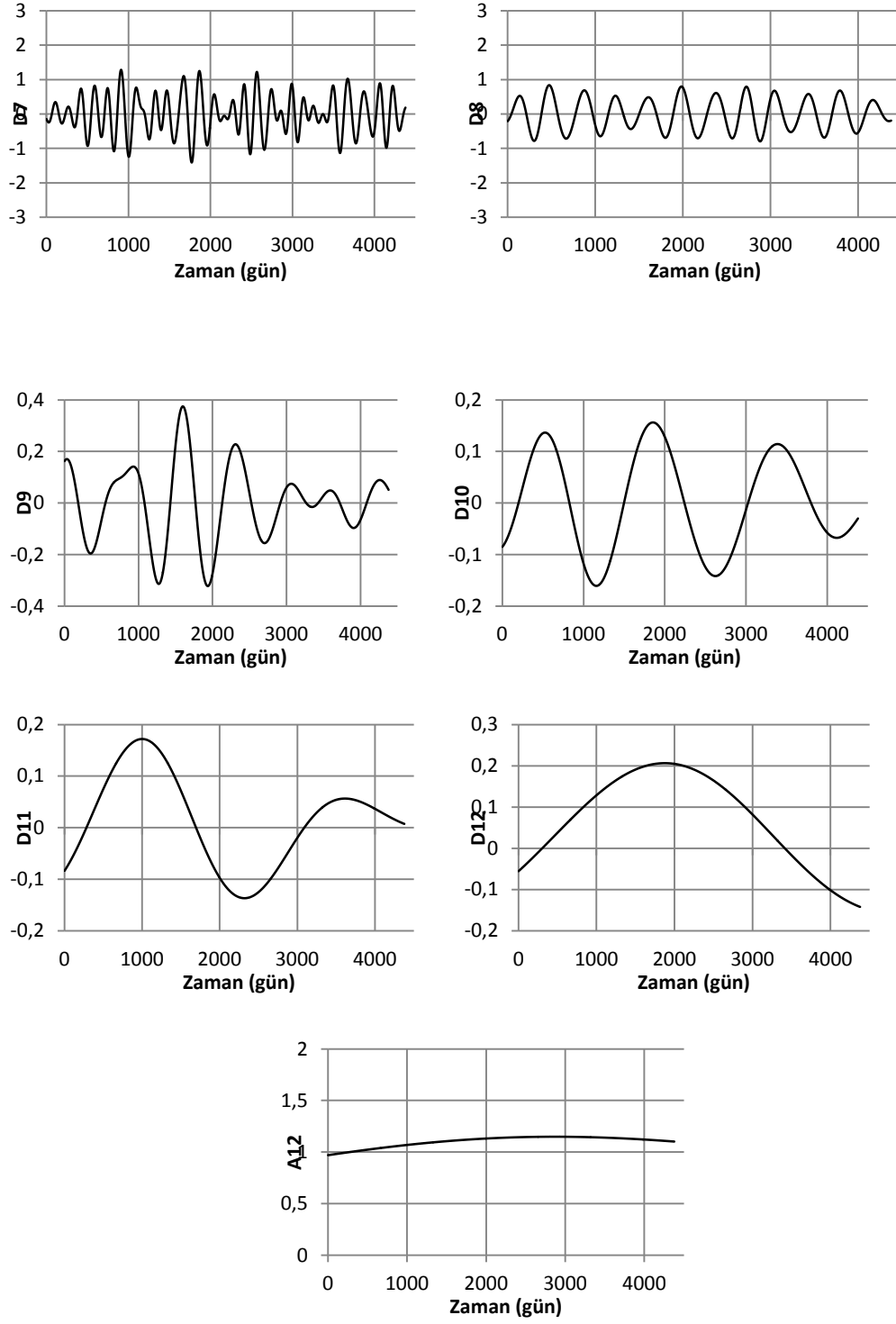
Dalgacık-YSA (D-YSA) modeli, ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemlerinin uygulanması ile oluşur. D-YSA modeli elde edilebilmesi için ilk olarak, orijinal zaman serisi ADD kullanılarak alt serilere ayrılır. Elde edilen alt serilerin her biri orijinal seri üzerinde farklı davranış gösterir. Daha sonra, elde edilen alt seriler ile model çıktısı arasında korelasyon katsayıları hesaplanır. Korelasyon katsayı değerlerine göre uygun alt seriler belirlenerek D-YSA modelinin girdileri belirlenir.

Detay bileşeni sayısını, Wang ve Ding (2003) çalışmasında n zaman serisinin uzunluğu olmak şartıyla $\log(n)$ ile belirlemiştir. Kişi ve Partal (2011) akım tahmini için 8 adet, Partal ve Kişi (2007) yağış tahmini için 10 adet, Kim ve Valdes (2003) kuraklık tahmini için 5 adet ve Krishna vd. (2011) akım tahmini için 3 adet detay bileşeni kullanmışlardır. Bu yazarların, verilen zaman serisi için detay bileşeni sayısını belirlemede herhangi bir kural uygulamadığı görülmüştür. Bu çalışmada, günlük yağış verileri ($Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$) ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak 12 adet detay (2-4-8-16-32-64-128-256-512-1024-2048-4096 günlük periyodik bileşenler) ve 1 adet yaklaşıklık bileşenine ayrılmıştır. Ayrık dalgacık dönüşümü algoritmalarından, Mallat ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak elde edilen detay ve yaklaşıklık bileşenlerinin toplanmasıyla, orijinal veri tekrar bulunabilir (Mallat, 1989). Zaman serisinde, 2 günlük ölçek (D1), 4 günlük ölçek (D2), 8 günlük ölçek (D3), 16 günlük ölçek (D4), 32 günlük ölçek (D5), 64 günlük ölçek (D6), 128 günlük ölçek (D7), 256 günlük ölçek (D8), 512 günlük ölçek (D9), 1024 günlük ölçek (D10), 2048 günlük ölçek (D11), 4096 günlük ölçek (D12) bileşenleri ve yaklaşıklık bileşeni Y_t için Şekil 4.1.'de verilmiştir. $Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$ için haar ve dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler ekte verilmiştir. Alt serilerin oluşturulmasında, ayrık dalgacık dönüşüm tekniğinde en çok kullanılan ana dalgacıklardan, dmey ve haar kullanılmıştır. Dmey dalgacığı kullanılarak elde edilen, günlük yağış ($Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$) verilerine ait alt seriler ile orijinal akım serisi arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Bu korelasyon değerleri, akım değerleri üzerinde etkili olan alt bileşenlerin belirlenmesinde önemlidir. Orijinal akım serisinin yağış alt serileri ile olan korelasyon katsayılarına bakıldığında, D7, D8 ve D9 bileşenleri diğerlerinden daha yüksek korelasyon göstermektedir. D1 ve D2

bileşenleri genel olarak diğerlerine göre en düşük korelasyon değerlerine sahiptir. En yüksek ilişkiye sahip D7 ve D8 bileşenleri, akım tahmininde D-YSA modelinin girdi parametresi olarak kullanılmak üzere seçilmiştir. Diğer dalgacık türü olan haar dalgacığı kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları ise Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelge 4.2'den görüldüğü üzere, haar ile elde edilen korelasyonlar içerisinde en yüksek ilişki D7 bileşeninde elde edilmiştir. D8 ve D10 bileşenlerinde de yüksek korelasyonlar elde edildiğinden, D7, D8 ve D10 bileşenleri D-YSA modelinde girdi parametreleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Y_t için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



Şekil 4.1. Y_t için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler(devamı)

Çizelge 4.1. Dalgacık bileşenleri (dmey) ile orijinal akım serileri arasındaki korelasyon katsayıları

ADD bileşenleri	Y_t	Y_{t-1}	Y_{t-2}	Y_{t-3}	Y_{t-4}
D1	0,000	0,011	-0,007	-0,004	0,006
D2	0,013	0,048	0,029	-0,014	-0,033
D3	0,054	0,070	0,064	0,035	-0,002
D4	0,042	0,059	0,072	0,078	0,078
D5	0,049	0,053	0,055	0,056	0,056
D6	0,085	0,085	0,083	0,081	0,078
D7	0,313	0,311	0,309	0,308	0,306
D8	0,378	0,387	0,394	0,401	0,407
D9	0,163	0,161	0,163	0,163	0,162
D10	0,063	0,062	0,061	0,061	0,058
D11	0,064	0,013	0,013	0,014	0,019
D12	0,115	0,088	0,088	0,089	0,093
Yaklaşık	-0,012	0,105	0,105	0,105	0,091

Çizelge 4.2. Dalgacık bileşenleri (haar) ile orijinal akım serileri arasındaki korelasyon katsayıları

ADD bileşenleri	Y_t	Y_{t-1}	Y_{t-2}	Y_{t-3}	Y_{t-4}
D1	0,003	0,024	0,003	-0,007	-0,002
D2	0,021	0,039	0,037	0,010	-0,014
D3	0,049	0,068	0,045	0,032	0,012
D4	0,042	0,055	0,061	0,055	0,055
D5	0,071	0,094	0,109	0,098	0,104
D6	0,135	0,116	0,116	0,116	0,105
D7	0,393	0,393	0,388	0,389	0,385
D8	0,196	0,203	0,201	0,205	0,208
D9	0,043	0,164	0,168	0,169	0,165
D10	0,253	0,253	0,253	0,253	0,253
D11	0,044	0,044	0,043	0,043	0,044
D12	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
Yaklaşık	0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005

Akım tahmin modelleri geliştirmek için, yağışın önceki periyotlarına bağlı olan beş farklı girdi kombinasyonu değerlendirilmiştir. Bu girdi kombinasyonları; (1) Y_t , (2) Y_t, Y_{t-1} , (3) Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2} , (4) $Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}$, (5) $Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$ şeklindedir. Bütün kombinasyonlarda çıktı tabakası, o günkü gözlenmiş akım değeri olan bir hücreye sahiptir.

Bu çalışmada, günlük akım tahmini için iki aşama bulunmaktadır. Bunlardan ilki, gözlenmiş yağış değerleri kullanılarak geliştirilen YSA modelleridir. İkincisi ise, ayrık dalgacık dönüşümü ile elde edilen yağış alt serileri girdi olarak kullanılarak D-YSA modellerinin geliştirilmesidir. YSA yöntemi ile modeller geliştirilmeden önce girdi ve çıktı parametrelerinin farklı birimlere sahip olmalarından dolayı eşitlik 4.1'de verilen bağıntı kullanılarak boyutsuz hale getirilmiştir.

$$F = \frac{F_i - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \quad (4.1)$$

Burada, F, boyutsuz değer, F_i , ölçümlerdeki i. değer, F_{\max} ve F_{\min} ölçümlerdeki maksimum ve minimum değerlerdir (Terzi ve Keskin, 2005). Yapay sinir ağı modelleri genellikle YSA(i,j,k) ağ mimarisi ile gösterilir. Burada i, girdi tabakasındaki nöron sayısı, j gizli tabakadaki nöron sayısı, k ise çıktı tabakasındaki nöron sayısıdır. Çalışmada, girdi tabaka nöron sayısı $i=1, 2, 3, \dots, 12$ ve çıktı tabaka nöron sayısı $k=1$ olarak alınmıştır. Farklı gizli tabaka nöron sayıları denenerek akım olayını en iyi temsil eden gizli tabaka nöron sayıları belirlenmiştir. Modeli eğitmek için verilerin %80'i (01.10.1993-08.05.2003) kullanılmıştır. Geriye kalan %20 lik kısmı (09.05.2003-30.09.2005) modelin geçerliliğini sorgulamak için ayrılmıştır. YSA ve D-YSA modellerinin performansını değerlendirmek için, karekök ortalama hata (KOH) (eşitlik 4.2), ortalama mutlak hata (OMH) (eşitlik 4.3) ve korelasyon katsayısı (R) değerleri belirlenmiştir.

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{i(gözlenmiş)} - R_{i(model)})^2} \quad (4.2)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_{i(gözlenmiş)} - R_{i(model)}| \quad (4.3)$$

Burada, n toplam veri sayısı, $R_{i(gözlenmiş)}$ ve $R_{i(model)}$ sırasıyla ölçülen akım değeri ve geliştirilen modellerin sonuçlarıdır.

Çalışmada ilk olarak, orijinal yağış verileri kullanılarak YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu YSA modellerinin test setine ait istatistiksel

parametreleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Günlük akımı tahmin etmek için geliştirilen YSA modellerinden Y_t , Y_{t-1} , Y_{t-2} , Y_{t-3} ve Y_{t-4} girdilerini kullanan model en iyi performansı göstermiştir. Burada YSA(5,7,1) model yapısı, girdi tabakasında beş, gizli tabakada dört ve çıktı tabakasında ise bir hücre olduğunu göstermektedir. Her bir girdi kombinasyonu için, KOH hesaplanarak en küçük KOH değerini veren model yapısı seçilmiştir. Örneğin, beş girdili olan YSA(5,7,1) modeli için gizli tabaka hücre sayısı ile KOH değerleri arasında çizilen grafiğe (Şekil 4.2) bakıldığında en küçük KOH değerini veren gizli tabaka hücre sayısının dört olduğu görülmektedir. Diğer modeller için de aynı işlem yapılmıştır. Geliştirilen modeller incelendiğinde, YSA(3,3,1), YSA(4,6,1) ve YSA(5,7,1) modelleri yakın korelasyon değerleri vermiştir. YSA(1,1,1) modeli en büyük hata değerlerine sahiptir. Girdi parametreleri arttıkça modellerin performanslarının da arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.3. Orijinal yağış verileri ile geliştirilen YSA modellerine ait parametreler

Modeller	Model yapısı	Eğitim seti			Test seti		
		KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R	KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R
Y_t	YSA(1,1,1)	49,92	30,03	0,214	33,46	23,17	0,238
Y_t, Y_{t-1}	YSA(2,9,1)	49,18	29,69	0,269	32,99	22,87	0,282
Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}	YSA(3,3,1)	48,63	29,54	0,309	32,47	22,69	0,328
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}$	YSA(4,6,1)	47,46	28,93	0,367	32,59	22,08	0,330
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$	YSA(5,7,1)	47,81	29,04	0,353	32,35	22,01	0,339



Şekil 4.2. YSA(5,7,1) modeli için gizli tabaka hücre sayısı ile KOH değerleri arasındaki ilişki

Çalışmanın ikinci aşamasında, ADD'nden dmey ve haar dalgacıkları ile elde edilen yağış alt serileri girdi parametresi olarak kullanılarak D-YSA modelleri geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde Partal ve Küçük (2006), Adamowski ve Chan (2011), Partal ve Cıgızoğlu (2008), Kişi (2009) ve Kişi ve Partal (2011) çalışmalarında, ADD'nden elde ettikleri alt serileri toplayarak YSA metodunda girdi olarak kullanmışlardır. Wang ve Ding (2003) ve Krishna vd. (2011) ise, çalışmalarında her bir alt seriyi ayrı girdi parametresi olarak kullanmışlardır. Kişi (2009) çalışmasında alt serilerin tek tek girdi olarak kullanılması durumunda, YSA modelinde girdi sayısı arttıkça, hesaplama süresinin uzamasından dolayı modelin karmaşıklaşacağını belirtmiştir. Bu çalışmada ise, her iki durum ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu iki durum ve dalgacık türleri için geliştirilen D-YSA modellerinin test setine ait istatistiksel parametreler Çizelge 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.4 ve 4.5'de, dmey dalgacığından elde edilen alt serilerin ayrı ayrı kullanılması ve toplanması ile geliştirilen modeller ve Tablo 4.6 ve 4.7'de ise haar dalgacığı kullanılarak geliştirilen D-YSA modelleri sırasıyla verilmiştir. Tablolar incelendiğinde, toplanmış yağış alt serileri ile geliştirilen modeller, genel olarak yağış alt serilerinin ayrı ayrı kullanılması ile geliştirilen modellere göre daha iyi performans göstermişlerdir. Fakat Çizelge 4.4 ve 4.5'de dmey ile geliştirilen modeller incelendiğinde, en yüksek R (0,811) ve en düşük OMH (11,350) değerleri, yağış alt serilerinin ayrı ayrı kullanıldığı Y_t , Y_{t-1} , Y_{t-2} , Y_{t-3} ve Y_{t-4} girdilerine sahip D-YSA modelinde görülmüştür.

Çizelge 4.4. Yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (dmey) modellerine ait parametreler

Modeller	Model yapısı	Eğitim seti			Test seti		
		KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R	KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R
Y_t (D ₇ ,D ₈)	D-YSA(2,2,1)	42,82	24,93	0,542	19,848	13,105	0,698
Y_t, Y_{t-1} (D ₇ ,D ₈)	D-YSA(4,7,1)	29,58	15,83	0,814	28,623	18,054	0,628
Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2} (D ₇ ,D ₈)	D-YSA(6,7,1)	35,04	17,67	0,727	23,803	15,009	0,546
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}$ (D ₇ ,D ₈)	D-YSA(8,1,1)	43,77	26,31	0,512	21,877	15,348	0,642
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$ (D ₇ ,D ₈)	D-YSA(10,10,1)	36,58	20,12	0,696	16,491	11,350	0,811

Çizelge 4.5. Toplanmış yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (dmey) modellerine ait parametreler

Modeller	Model yapısı	Eğitim seti			Test seti		
		KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R	KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R
Y _t (D ₇ +D ₈ +D ₉)	D-YSA(1,1,1)	41,82	25,14	0,576	18,803	12,882	0,698
Y _t , Y _{t-1} (D ₇ +D ₈ +D ₉)	D-YSA(2,8,1)	40,88	24,50	0,597	18,952	13,219	0,680
Y _t , Y _{t-1} , Y _{t-2} (D ₇ +D ₈)	D-YSA(3,4,1)	39,86	24,92	0,625	20,504	15,315	0,691
Y _t , Y _{t-1} , Y _{t-2} , Y _{t-3} (D ₇ +D ₈)	D-YSA(4,8,1)	43,10	25,14	0,534	19,619	13,204	0,678
Y _t , Y _{t-1} , Y _{t-2} , Y _{t-3} , Y _{t-4} (D ₇ +D ₈ +D ₉)	D-YSA(5,8,1)	38,79	23,75	0,649	20,600	14,870	0,655

Haar ile geliştirilen modellere bakıldığında, en iyi performansa sahip model, D7, D8 ve D10 alt bileşenlerinin toplanması ile elde edilen serinin kullanıldığı Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2} ve Y_{t-3} girdilerine sahip olan D-YSA(4,1,1) modelidir (Çizelge 4.6. ve 4.7.). Bu modelin R değeri 0,680 olarak belirlenmiştir. Burada geliştirilen tüm modellere bakıldığında, ADD'nden elde edilen alt bileşenlerin toplanması veya toplanmadan ayrı ayrı kullanılması durumunda her iki dalgacık türünde farklı performanslar görülmüştür. Bu durumda toplanması veya ayrı ayrı kullanılması ile ilgili olarak bir sonuca varılamadığından, her iki durumunda modellemelerde göz önüne alınması gerekmektedir.

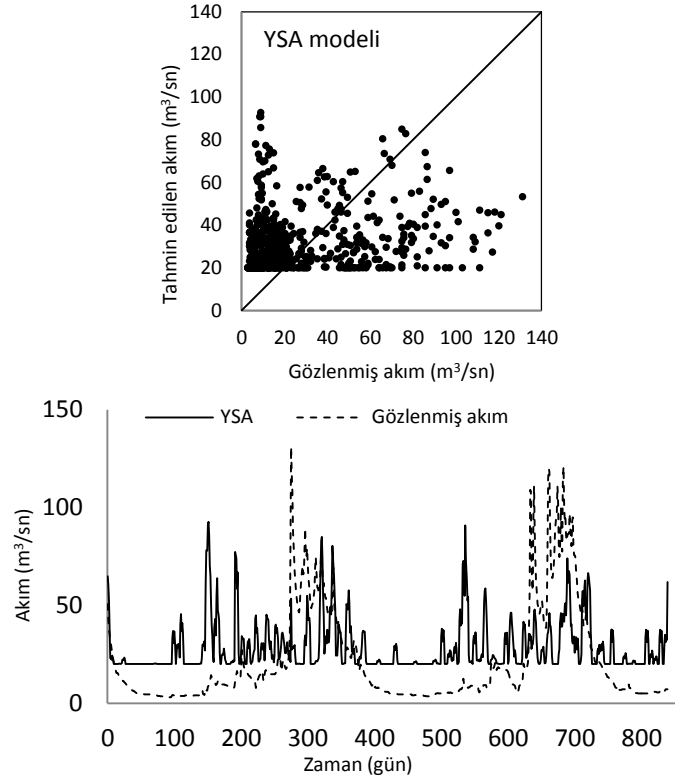
Çizelge 4.6. Yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (haar) modellerine ait parametreler

Modeller	Model yapısı	Eğitim seti			Test seti		
		KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R	KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R
Y _t (D ₇ ,D ₁₀)	D-YSA(2,2,1)	48,21	30,19	0,323	22,347	15,807	0,466
Y _t , Y _{t-1} (D ₇ ,D ₈ ,D ₁₀)	D-YSA(6,2,1)	29,75	15,77	0,813	22,715	15,599	0,531
Y _t , Y _{t-1} , Y _{t-2} (D ₇ ,D ₈ ,D ₁₀)	D-YSA(9,1,1)	44,11	25,26	0,505	22,671	15,671	0,431
Y _t , Y _{t-1} , Y _{t-2} , Y _{t-3} (D ₇ ,D ₈ ,D ₁₀)	D-YSA(12,2,1)	28,57	13,80	0,828	22,834	17,828	0,635
Y _t , Y _{t-1} , Y _{t-2} , Y _{t-3} , Y _{t-4} (D ₇ ,D ₈ ,D ₁₀)	D-YSA(15,4,1)	48,38	30,68	0,314	19,525	14,796	0,665

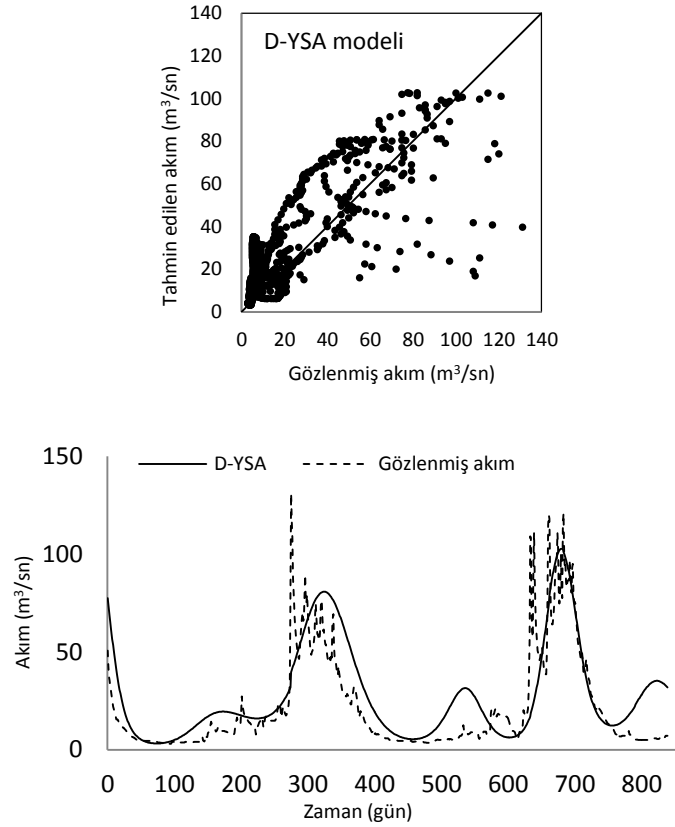
Çizelge 4.7. Toplanmış yağış alt serileri ile geliştirilen D-YSA (haar) modellerine ait parametreler

Modeller	Model yapısı	Eğitim seti			Test seti		
		KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R	KOH (m ³ /sn)	OMH (m ³ /sn)	R
$Y_t (D_7+D_8+D_{10})$	D-YSA(1,5,1)	31,43	17,59	0,787	24,470	16,960	0,498
$Y_t, Y_{t-1}(D_7+D_{10})$	D-YSA(2,2,1)	45,75	28,47	0,440	24,845	17,112	0,554
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2} (D_7+D_8+D_{10})$	D-YSA(3,1,1)	39,51	23,37	0,631	21,971	15,592	0,490
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}$ ($D_7+D_8+D_{10}$)	D-YSA(4,1,1)	38,64	21,20	0,652	22,713	16,030	0,680
$Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$ ($D_7+D_8+D_{10}$)	D-YSA(5,2,1)	47,67	29,19	0,354	25,196	19,053	0,458

Orijinal serilerle elde edilen YSA modellerinde en iyi performansı gösteren YSA(5,7,1) modelinin performansının D-YSA modellerine bakıldığında arttığı görülmüştür. YSA(5,7,1) modelinin R değeri 0,339 iken, dalgacık dönüşümünden sonra D-YSA(10,10,1) modelinin değeri 0,811'e yükselmiştir. YSA ve D-YSA modelleri için test setine ait saçılma diyagramları ve zaman serisi grafikleri Şekil 4.3. ve 4.4.'de verilmiştir. Şekil 4.4.'den görüldüğü üzere D-YSA modeli, YSA modelinden daha az saçılma göstermektedir. YSA modelinin düşük değerlerin tahmininde başarılı olmadığı, fakat D-YSA modelinin düşük gözlemleri daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. YSA(5,7,1) modeli 4,48 m³/sn akım değerini 20,13 m³/sn olarak % 349 yukarıda tahmin ederken, aynı değer D-YSA(10,10,1) modeli ile 4,34 m³/sn ile % 3 aşağıda tahmin değeri vermiştir. Bu durum Şekil 4.4.'de görülmektedir.



Şekil 4.3. YSA(5,7,1) modeline ait saçılma diyagramları ve zaman serisi



Şekil 4.4. D-YSA(10,10,1) modellerine ait saçılma diyagramları ve zaman serisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynakları tasarımı ve projelendirilmesinde uzun dönemli hidrolojik veriye ihtiyaç vardır. Ancak pek çok havzada yağış ve akışla ilgili yeterli ve istatistiksel olarak anlamlı veri bulmak oldukça zordur. Uzun dönemli veriyle yağış-akış ilişkisi kurarak birçok su yapısının ön tasarımında gerekli olan tasarım debisi bulunabilmektedir. Akarsu akımlarının ölçülmesi ve analizi, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi açısından çok önemlidir. Devlet Su İşleri ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından akım gözlem istasyonlarından elde edilen akım verilerinin, bazı nedenlerle ölçülememesi veya ölçüm sisteminin başarısız olması gibi durumlarda yapay zekâdaki son gelişmeler ve özellikle bu teknolojilerin örnek tanımayı amaçlaması, akımın modellenmesinde alternatif yaklaşım sağlamaktadır. Bu çalışmada, yapay zekâ yöntemlerinden sayısal veriler arasında tanımlanamayan ilişkileri tespit etme ve bunlara ait tahmin modelleri geliştirme yeteneğine sahip olan yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile akım tahmin modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca YSA yönteminin başarısını artırmak ve farklı bir yaklaşım oluşturmak için dalgacık dönüşüm tekniği ile elde edilen alt seriler YSA yönteminde kullanılarak dalgacık-YSA (D-YSA) modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller geliştirilirken Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1993–2005 yıllarına ait Sivas istasyonu günlük yağış değerleri ve EİE'den alınmış 1535 (Söğütluhan) no.lu akım gözlem istasyonunun günlük ortalama akım değerleri kullanılmıştır.

D-YSA modelleri geliştirilirken haar ve dmey dalgacıkları kullanılarak alt seriler elde edilmiştir. Bu alt serilerin tahmin edilmesi amaçlanan ölçülmüş akım verileri ile korelasyon ilişkilerine bakıldığında, dmey dalgacığı için D8 ve D10 bileşenleri, haar dalgacığına bakıldığında D7, D8 ve D10 bileşenleri ile yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. Bu yüzden, bu alt bileşenler girdi parametreleri olarak kullanılarak D-YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen D-YSA modellerinin sonuçları ile orijinal seriler ile geliştirilen YSA modelleri kıyaslandığında, D-YSA modellerinde yüksek performanslar elde edilmiştir. YSA modelleri düşük akım değerlerini yukarıda tahmin ederken D-YSA modelleri düşük akım değerlerine daha yakın değerler vermiştir. Böylece, YSA yönteminin tek başına problemlere çözüm bulamadığı

durumlarda ve YSA modellerinin performanslarının geliştirilmesinde, dalgacık dönüşümü tekniği ve YSA yönteminin birlikte kullanılmasının iyi bir alternatif oluşturduğu görölmüştür.

KAYNAKLAR

- Aksoy, H., 1999. Gama Dağılımının Hidrolojik Analizlerde Kullanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140 s, İstanbul.
- Alp, M., Cıgızoğlu, H. K., 2004. Farklı Yapay Sinir Ağı Metotları İle Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi, İtü Dergisi/d 3(1), 80-88s, İstanbul.
- Anctil, F., Tape, D.G., 2004. An exploration of artificial neural network rainfall runoff forecasting combined with wavelet decomposition, Journal of Environmental Engineering and Science, 3, 121-129.
- Anctil F., Lauzon N., Andreassian V., Oudin L. , Perin C., 2004. Improvement of Rainfall-Runoff Forecasts Through Mean Areal Rainfall Optimization, Journal of Hydrology, 328, 717-725.
- Aci M., 2006. Yapay Sinir Ağları İle Hidrolik Modelleme. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Manisa.
- Adamowski J., Chan H. F., 2011. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. Journal of Hydrology, 407, 28-40.
- Bayazıt M., 2003. Hidroloji. Birsen Yayınevi, 219, İstanbul.
- Bayazıt, M., Aksoy, H., 2001. Using Wavelets for Data Generation. Journal of Applied Statistics. 28(2), 140-152.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Rasmussen, P., Bobee, B., 2000. A recurrent neural networks approach using indices of low frequency climatic variability to forecast regional annual runoff. Hydrologic Processes 14, 2755-2777.
- Cıgızoğlu, H.K., 2003. Incorporation of ARMA models into flow forecasting by artificial neural Networks. Environmentrics, 14(4), 417-427.
- 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 , 1-8.
- Coulibaly, P., Burn, D.H., 2004. Wavelet analysis of variability in annual Canadian streamflows. Water Resources Research, 47, W03105.
- Collischonn W., Haas R., Andreolli I., Tucci C. E. M., 2004. Forecasting River Uruguay Flow Using Rainfall Forecasts From A Regional Weather-Prediction Model. Journal of Hydrology, 305, 87-98.
- Cıgızoğlu, H.K., 2005. Application of generalized regression neural networks to intermittent flow forecasting and estimation. Journal of Hydrological Engineering, ASCE, 10(4), 336-341.
- Çoşkun Ö., Çömlekçi S., 2007. Wavelet Teorisinin Medikal Alana Ugunlanması Üzerine Bir Ön Çalışma. Akademik Bilişim'07 - IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 31 Ocak - 2 Şubat 2007, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 317-320.

- Drago, A.F., Boxall, S.R., 2002. Use of the wavelet transform on hydro-meteorological data. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 1387–1399.
- EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi), Kızılırmak nehri ve akım istasyonları haritası. 10.07.2012. eie.gov.tr.
- Elmas Ç., 2003. *Yapay Sinir Ağları Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama, Seçkin Yayıncılık, Ankara.*
- Gaucherel, C., 2002. Use of wavelet transform for temporal characterisation of remote watersheds. *Journal of Hydrology*, 269, 101–121.
- Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational capabilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79.
- Jones, P. D, Lister, D. N., 1998, Riverflow Reconstruction for 15 Catchments Over England Wales and Assessment of Hydrology Drought Since 1865. *Int J Climatology*, 8, 999-1013.
- Jordan, D.A., Hajj, M.R., Tieleman, H.W., 1998. Wavelet analysis of the relation between atmospheric wind and pressure fluctuations on a low-rise building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 69 (71), 647-655.
- Jain, S.K., Das, A., Srivastava, D.K., 1999. Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 125(5), 263-271.
- Jain., A., Indurthy SKVP., 2003. Comparative analysis of event based rainfall- runoff modelling techniques- Deterministic, statistical and artificial neural Networks. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 8 (2), 93-98.
- Jain A. and Kumar A.M., 2006. Hybrid Neural Network Models For Hydrologic Time Series Forecasting; *Science Direct. Applied Soft Computing*, 1-8.
- Kumar, P., Georgiou, E., 1993. A Multicomponent Decomposition of Spatial Rainfall Fields 2. Self-Similarity in Fluctuations. *Water Resources Research*, 29(8), 2533-2544.
- Kişi, Ö., 2001. Akış Tahmini ile İlgili Bir Uygulama”, *Mühendislikte Modern Yöntemler Sempozyumu (MMYS'2001), İstanbul*, 35-43.
- Kişi, Ö., 2003. Partal T., Yapay Sinir Ağları ve Otoregresif Modellerle Rüzgar Hızı Tahmini, III. Atmosfer Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), İstanbul, 150-156.
- Kim, T., Valdes J.B., 2003. Nonlinear Model For Drought Forecasting Based on a Conjunction of Wavelet Transforms and Neural Networks, *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(6), 319-328.

- Küçük, M., 2004. Dalgacık dönüşüm tekniği kullanarak akım serilerinin modellenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 186s, İstanbul.
- Keskin M.E., Taylan D., Terzi O., 2006. Adaptive neural-based fuzzy inference system approach for modelling hydrological time series, *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 51 (4), 588-598.
- Keskin M.E. ve Taylan E. D., 2007. Orta Akdeniz Havzasındaki Akımların Stokastik Modellemesi, *İMO Teknik Dergi*, 282, 4271-4291.
- Kişi, Ö., 2009. Neural Network and Wavelet Conjunction Model for Intermittent Streamflow Forecasting. *Journal of Hydrological Engineering*, 14(8) , 773-782.
- Kişi Ö., Partal T., 2011. Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for streamflow forecasting. *Hydrology Research* , 42(6), 447-456.
- Krishna B., Satyaji Rao Y.R., Nayak P.C., 2011. Time Series Modeling of River Flow Using Wavelet Neural Networks. *Journal of Water Resource and Protection*, 3, 50-59.
- Shiri J., Kişi, Ö., 2010. Short –term and long-term streamflow forecasting using a wavelet and neuro-fuzzy conjunction model. *Journal of Hydrology* , 394, 486-493.
- Şahin M., 2007. Karadeniz Bölgesindeki Yağış-Akış İlişkisinin Farklı Yapay Sinir Ağları Metotlarıyla Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, İstanbul.
- Labat, D., Ababou, R., Mangin, A., 2000. Rainfall-runoff relations for karstic springs. part II: 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.
- Lin G. F., Chen L. H., 2003. A Non-linear Rainfall-Runoff Model Using Radial Basis Function Network, *Journal of Hydrology* 289(2004), 1-8, Taiwan.
- Labat, D., 2005. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts, *Journal of Hydrology* 314, 275–288.
- Mallat, S., G., 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), 674–693.
- Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Jain, S.K., 2007. Rainfall-runoff modeling through hybrid intelligent system. *Water Resources Research*, 43(7), 100-115.
- Oğul E., 2006. Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Sinir Ağları Yöntemleriyle Modellenmesi : Kurukavak Havzası Uygulaması; Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Eskişehir.

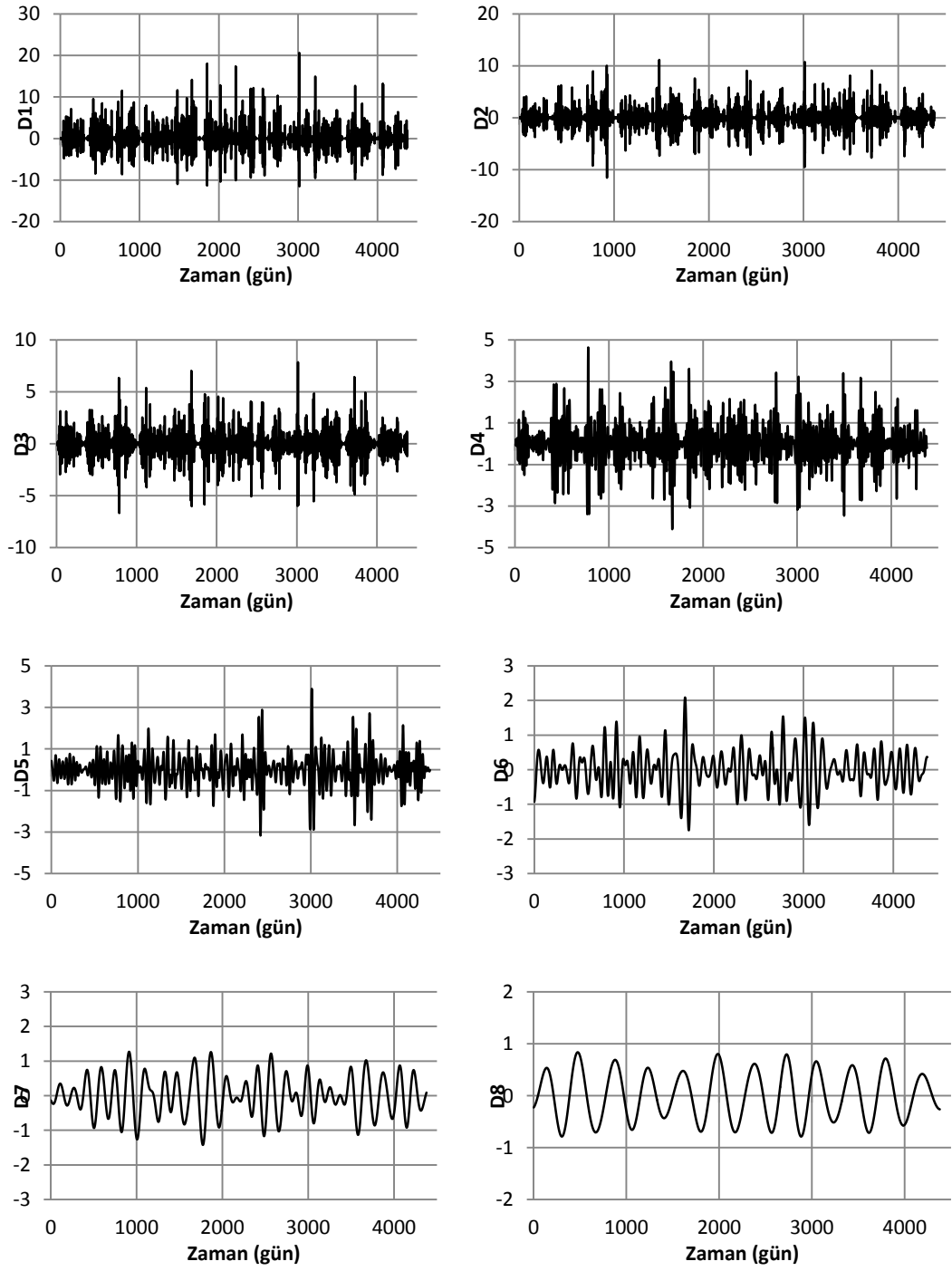
- Öziş, Ü., Baran, T., Demirci, N., 1999. Türkiye’de Dicle Havzasındaki Akım Gözlem İstasyonlarının Aylık Akışları. İ.M.O. Teknik Dergi, 2029-2045.
- Öztemel E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 232s. ,İstanbul.
- Öztopal A.; Kahya, C., Sırdaş, S., 2003. Yapay Sinir Ağları İle Akış Tahmini. Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları Konferansı, Su Vakfı, İstanbul, 200-215.
- Özdemir H., 2007. SCS CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir). Coğrafi Bilimler Dergisi, 5 (2), 1-12.
- Özfidaner M., 2007. Türkiye Yağış Verilerinin Trend Analizi ve Nehir Akımları Üzerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Adana.
- Partal, T., Küçük M., 2006. Long-term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in Marmara region(Turkey). Phys Chem Earth, 31, 1189-1200.
- Partal,T.,2007. Türkiye Yağış Miktarlarının Yapay Sinir Ağları ve Dalgacık Dönüşümü ile Tahmini. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 181s, İstanbul.
- Partal, T., Kişi Ö., 2007. Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting. Journal of Hydrology, 342, 199-212.
- Partal T., Kahya E., Cıgızoğlu K.,2008. Yağış verilerinin yapay sinir ağları ve dalgacık Dönüşümü yöntemleri ile tahmini, İTÜ Dergisi mühendislik, 7(3), 73-85.
- Rajurkar, M.P., Kothari, U.C., Chaube, U.C., 2002. Artificial neural networks for daily rainfall–runoff modelling. Hydrological Sciences Journal, 47(6), 865–877.
- Smith, L. C., Turcotte D. L., Isacks B. L., 1998. Stream flow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. Hydrologic Processes, 12, 233–249.
- Sajikumar, N.; Thandaveswara, B. S., 1999. A Non-linear Rainfall-Runoff Model Using an Artificial Neural Network. Journal of Hydrology, 216, 32-55.
- Sepetçioğlu, M. Y., Gerger, R., 2000. Akarsularda Akım Serilerinin İstatistiksel Modellemesi, 3. Gap Kongresi, Şanlıurfa, 200-212.
- Saplıoğlu, K; 2007. Hidrolojide Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. Seminer IV, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,100-111.
- Terzi, Ö., 2004. Eğirdir Gölü’ne Ait Buharlaştırma Modellerinin Geliştirilmesi Ve Uygulanması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 124s, Isparta.

- Türkeş, M., 2001. Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, Ankara, 187-205.
- Türktemiz B., 2008. Baraj haznelerine giren akımların Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109s, Isparta.
- Ünal, N.E., Aksoy, H., Akar, T., 2004. Annual and monthly rainfall data generation schemes. Stoch. Envir. Res. And Risk Ass, 18, 245-257.
- Yıldız, M., Malkoç, Y., 2000, Türkiye Akarsu Havzaları ve Hidrolojik Kuraklık Analizi. EİEİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yurtcu Ş., Uygunoğlu T., İçağa Y., 2005. Yeraltı Suyu Akımı İle diğer Meteorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkinin bulanık Mantıkla Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,12(2), 285-292.
- Yurdusev M. L., Acı M., Turan M.E., İçağa Y., 2007. Akarçay Nehri Aylık Akımlarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(1), 73-88.
- Widrow, B., Hoff, M., 1960. Adaptive switching circuits. Ire Wescon Convention Record, 4(4), 96-104.
- Wang,W., Ding J.,2003. Wavelet Network Model and Its Application to the Prediction of Hydrology, Nature and Science, 1(1), 67-71.
- Wang, W., 2006. Stochasticity, Nonlinearity and Forecasting of Streamflow Processes. Ph.D. Thesis.
- Wikipedia , Kızılırmak, 2012.www.wikipedia.org.

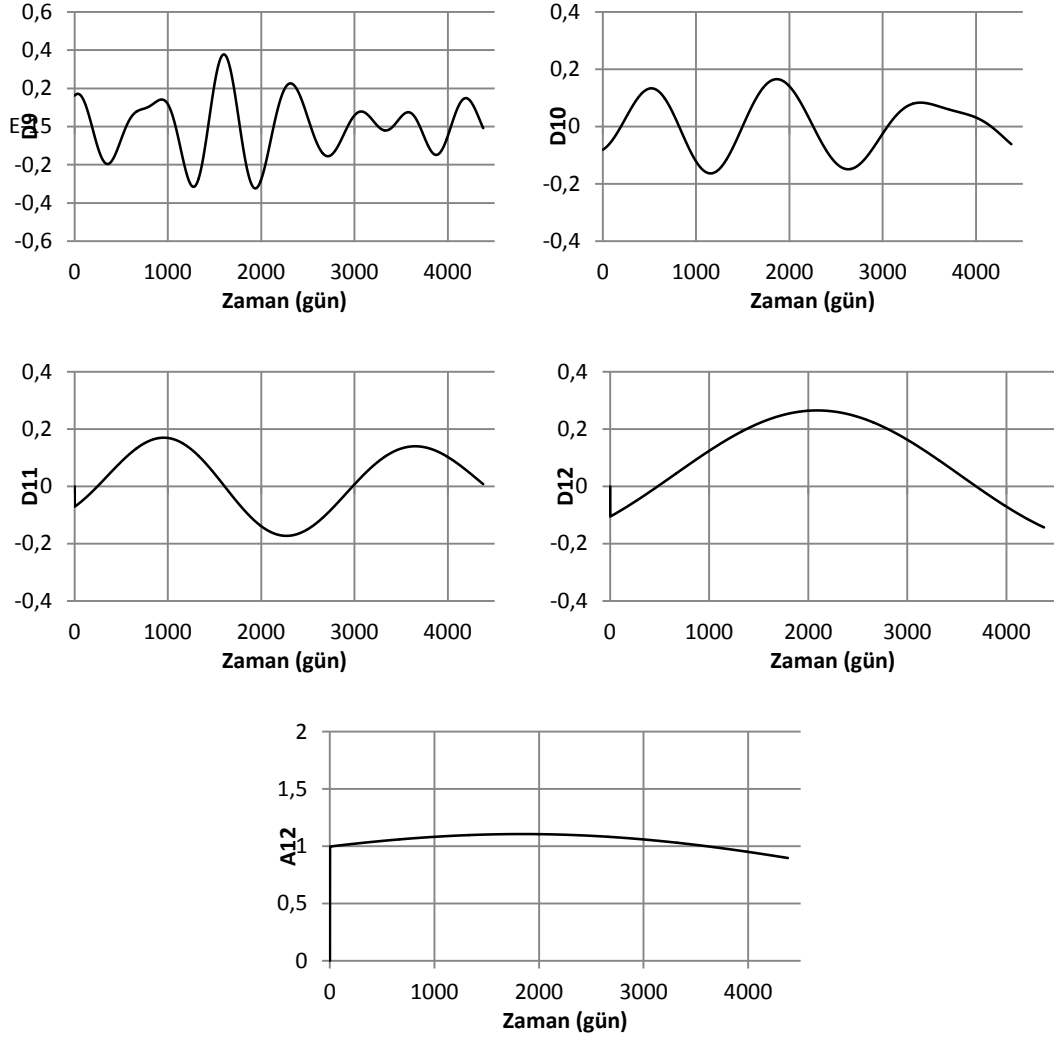
EKLER

EK A. Şekiller

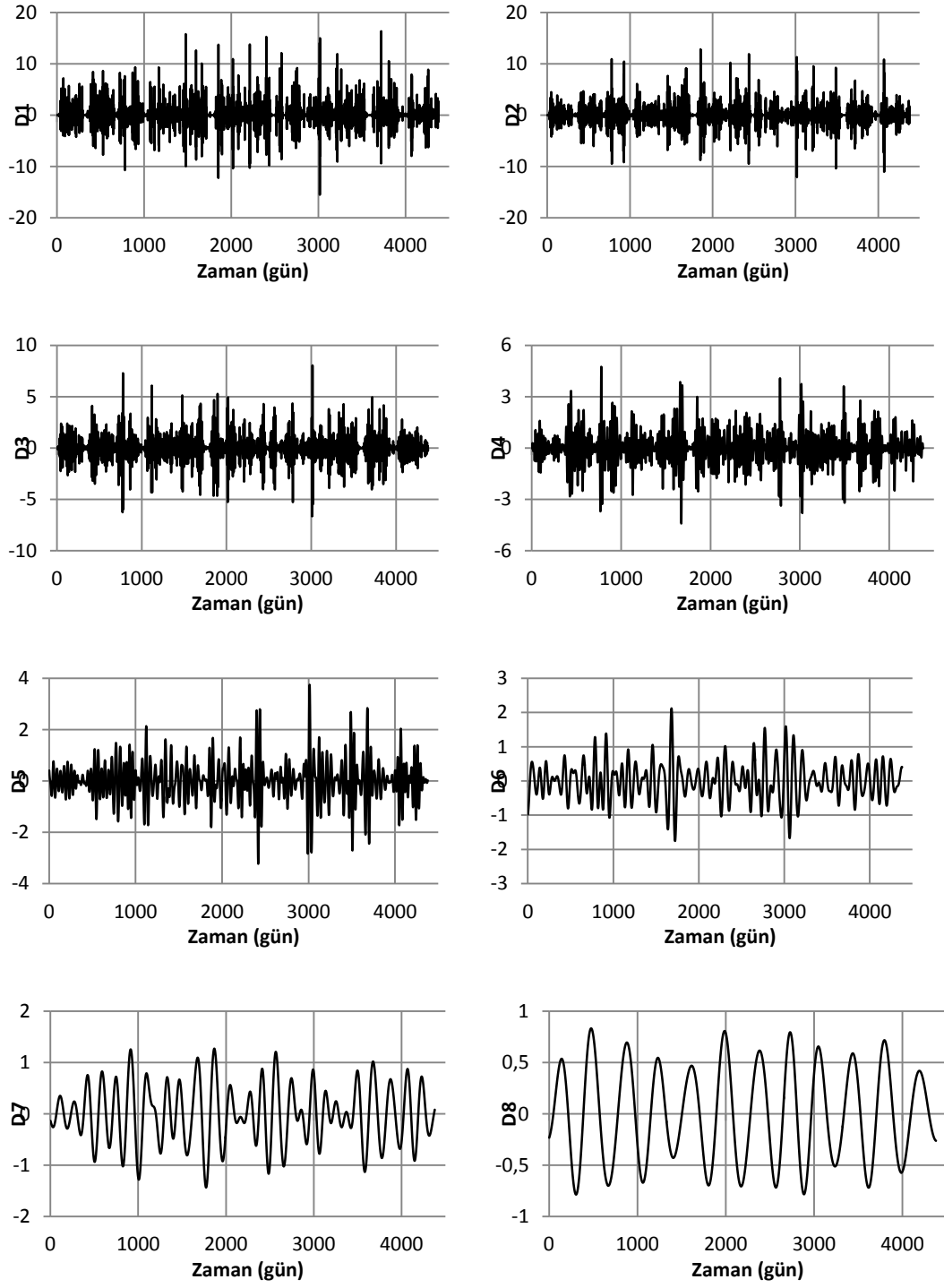
EK A. Şekiller



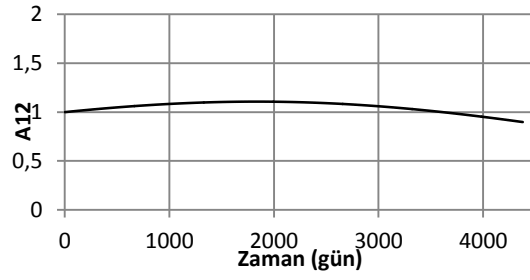
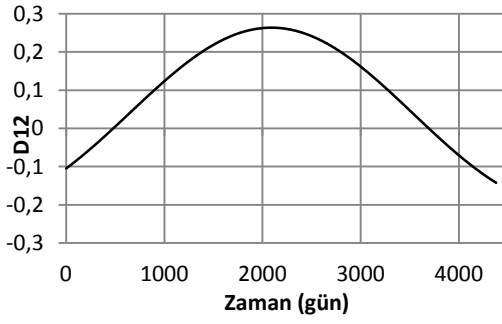
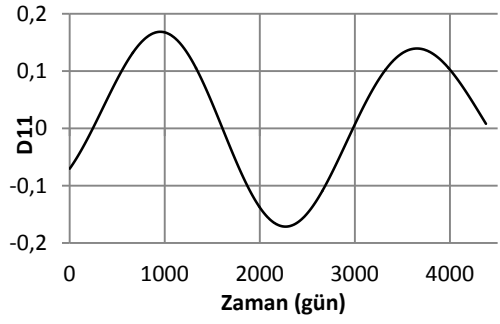
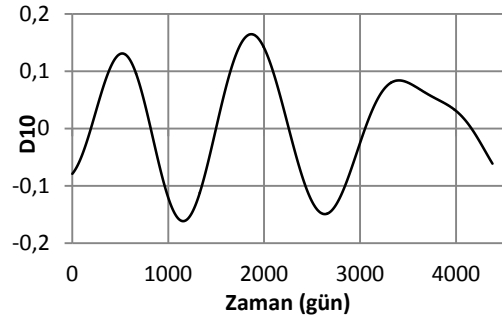
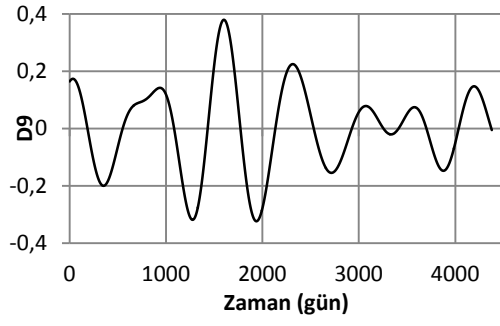
Şekil A.1. Y_{t-1} için dmev dalgacı ile elde edilen alt bileşenler



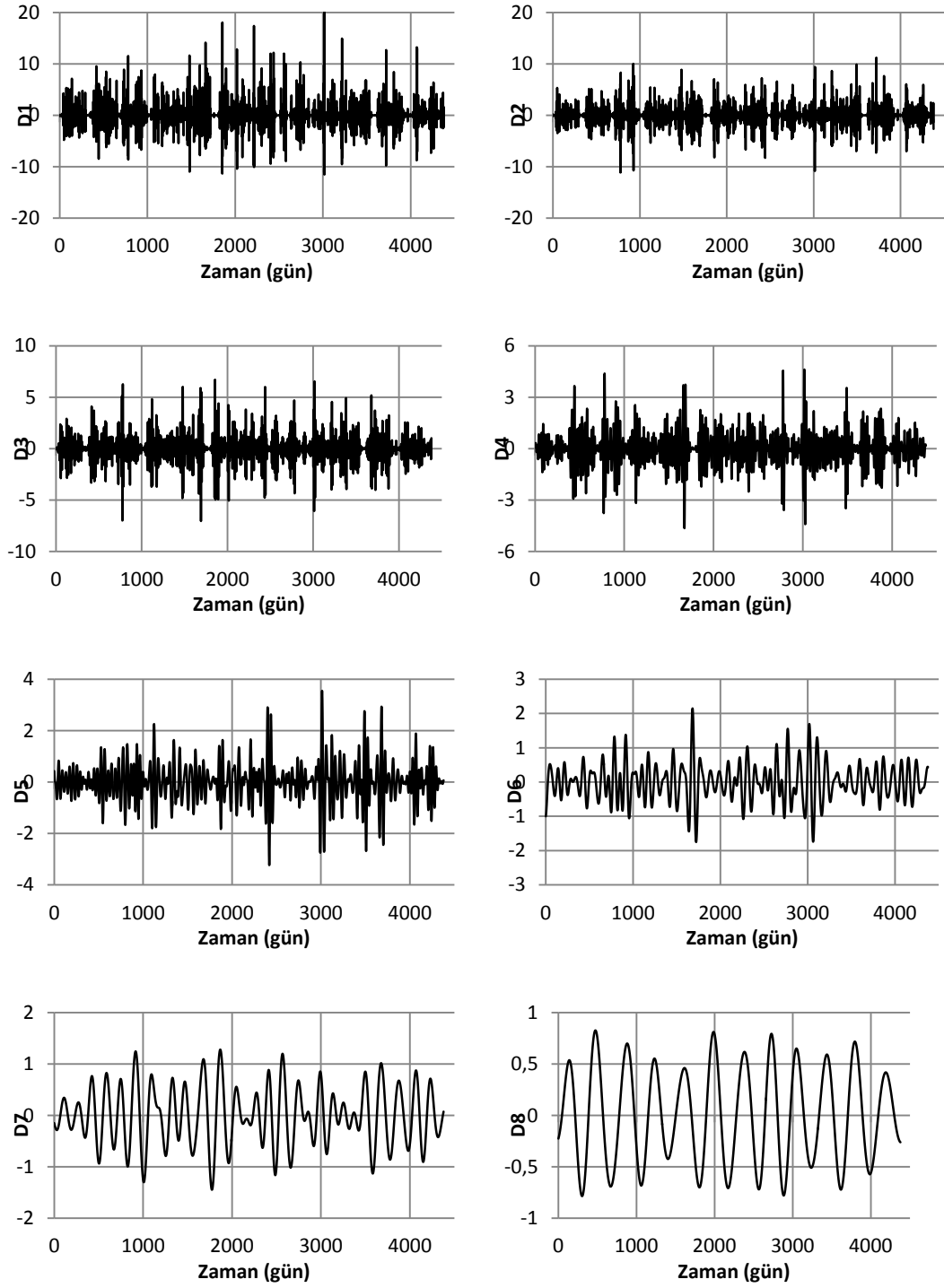
Şekil A.1. Y_{t-1} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler(devamı)



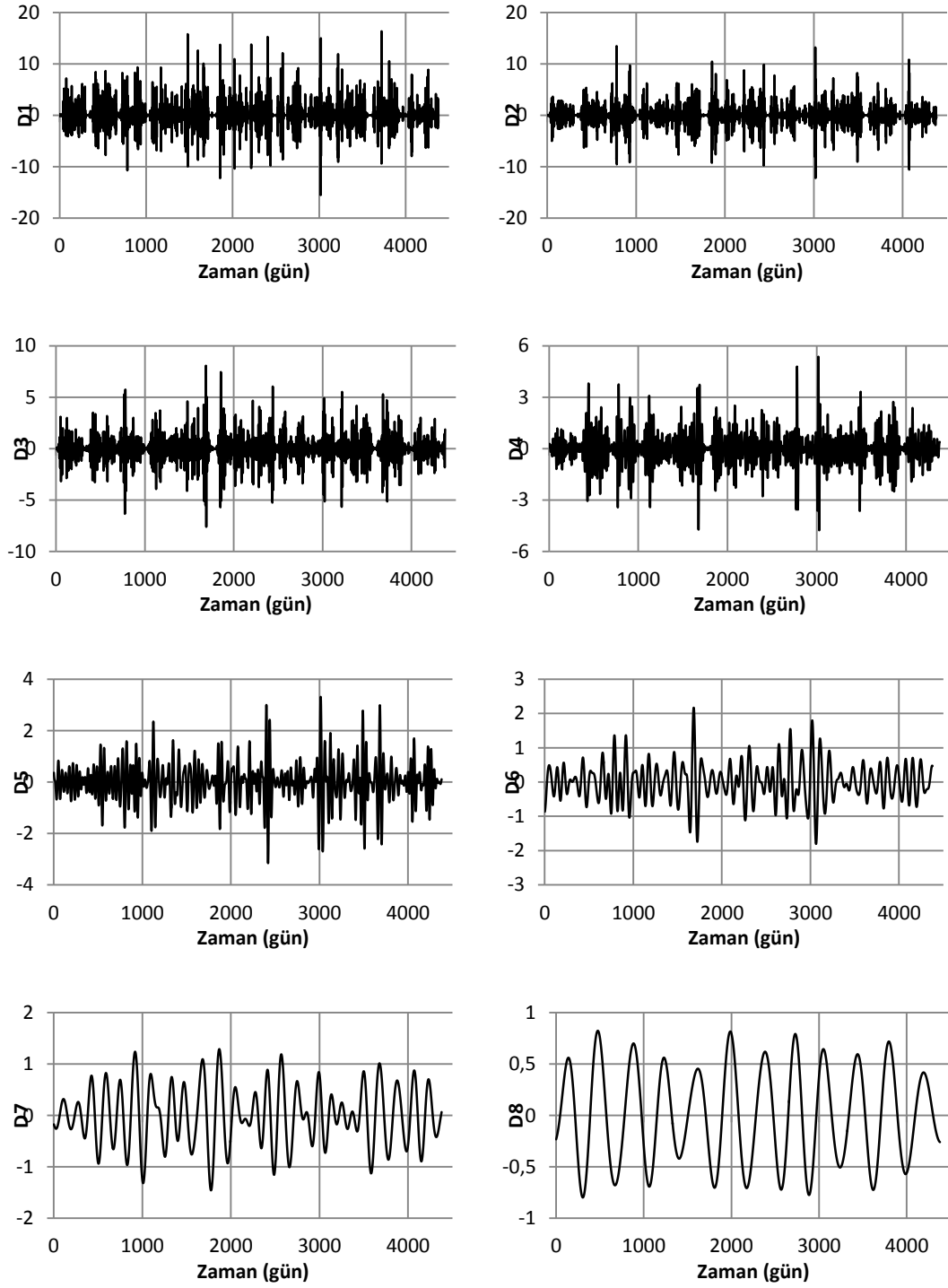
Şekil A.2. Y_{t-2} için dmev dalgacı ile elde edilen alt bileşenler



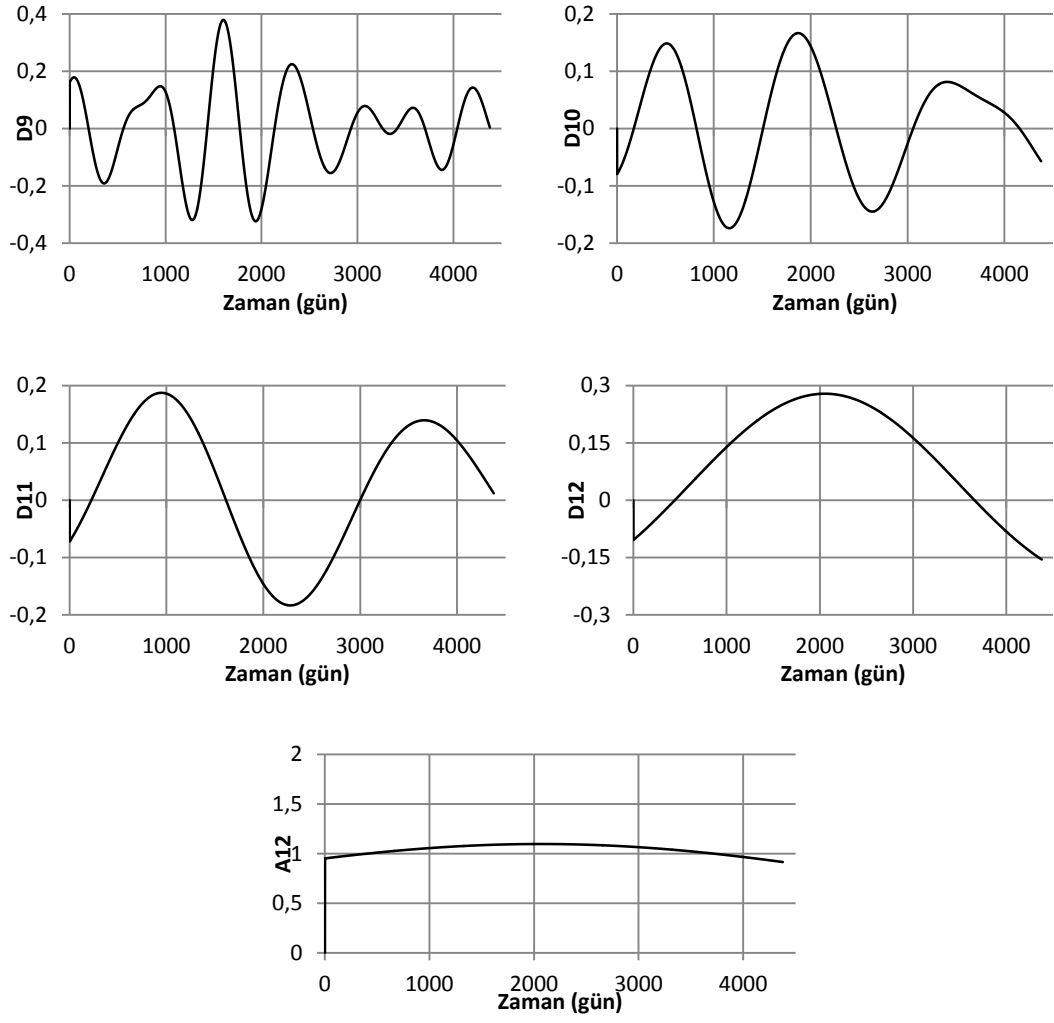
Şekil A.2. Y_{t-2} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)



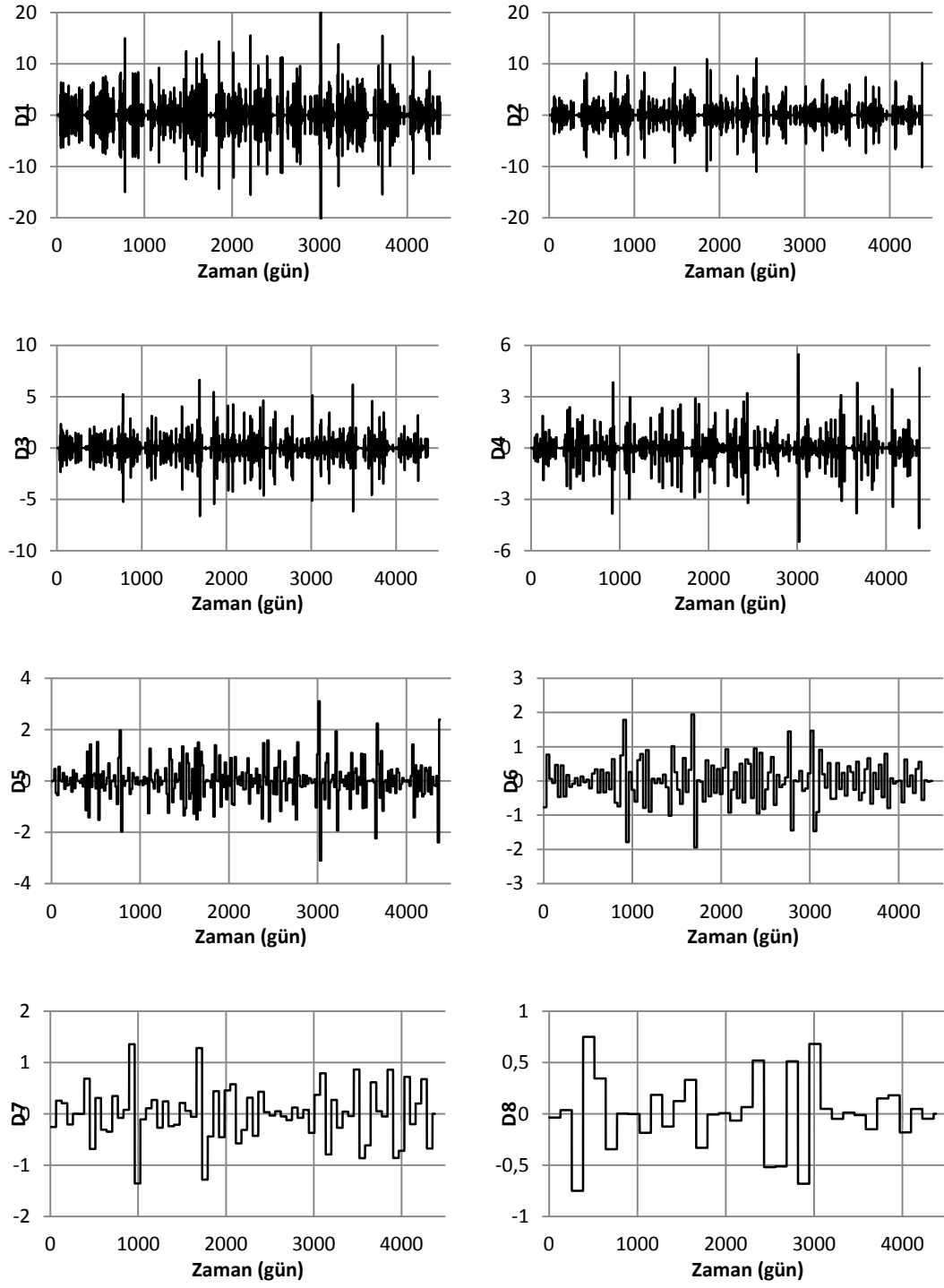
Şekil A.3. Y_{t-3} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



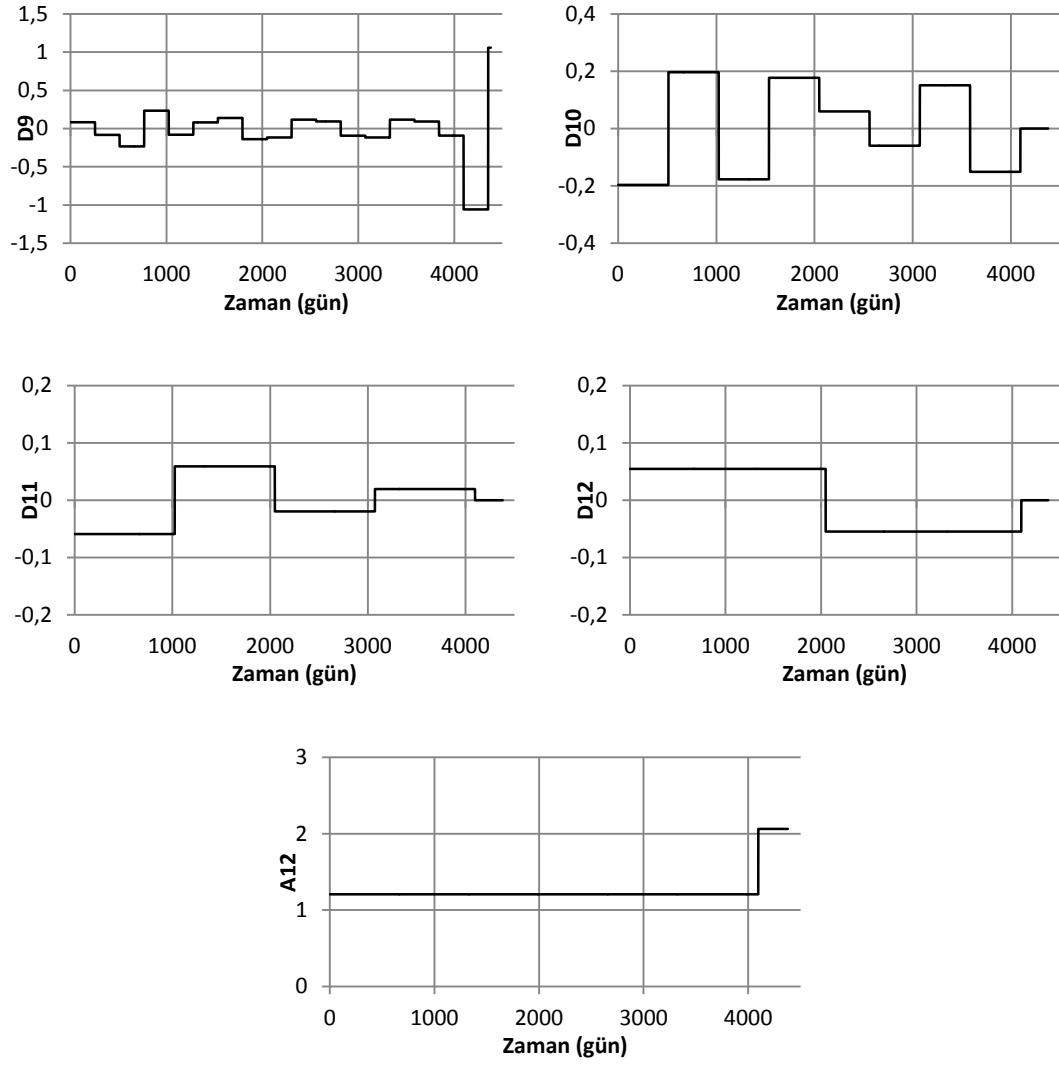
Şekil A.4. Y_{t-4} için dmev dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



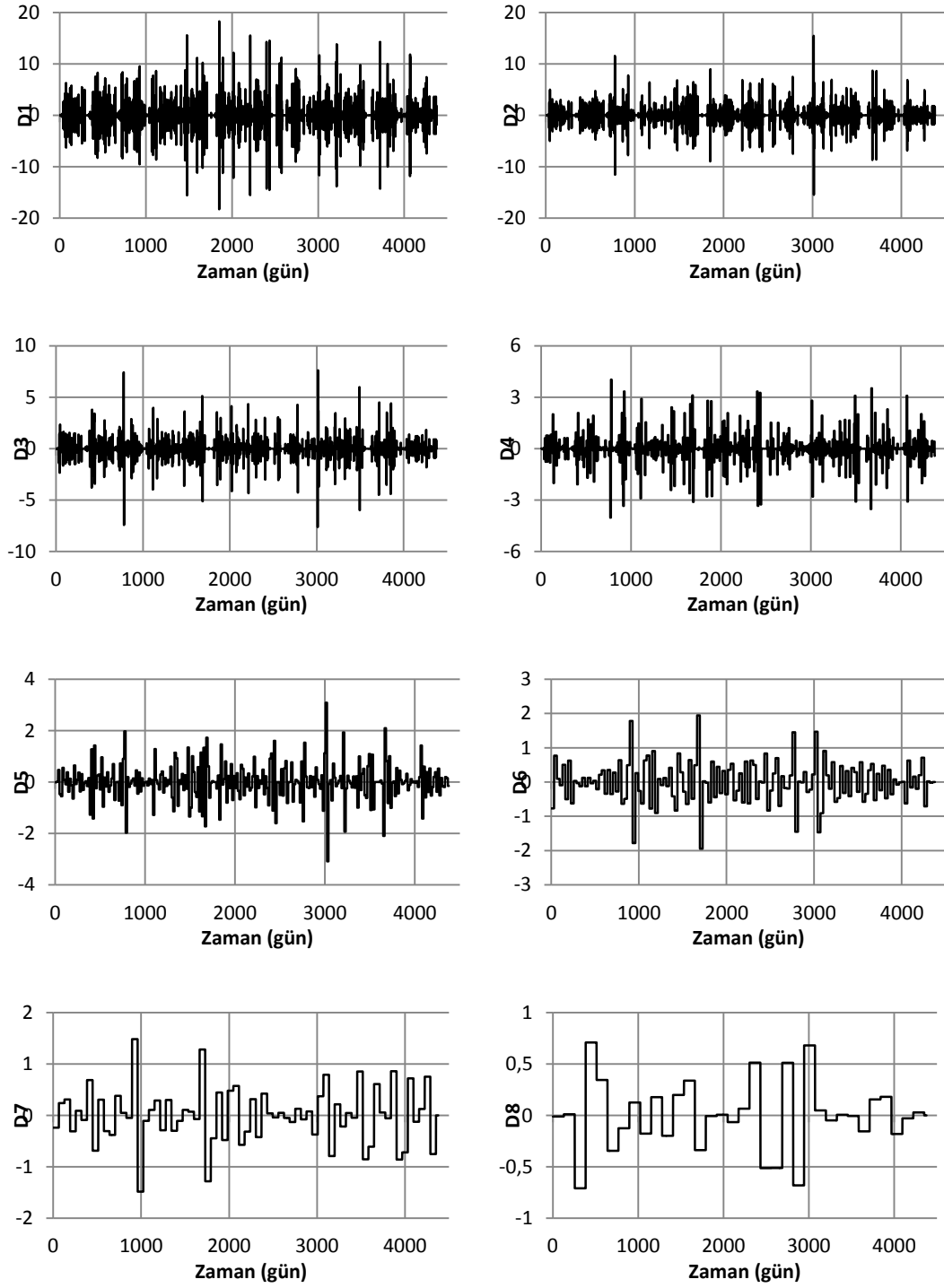
Şekil A.4. Y_{t-4} için dmey dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)



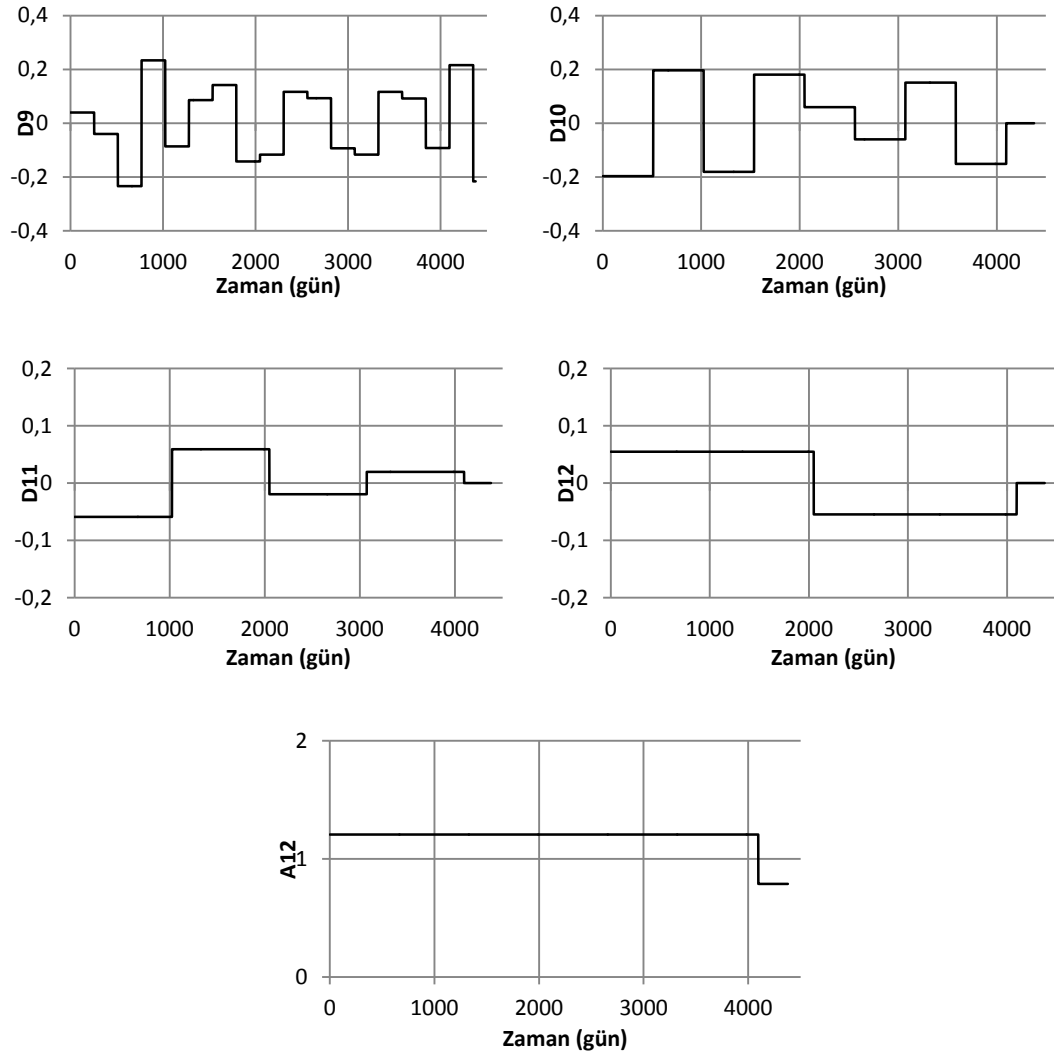
Şekil A.5. Y_t için haar dalgacı ile elde edilen alt bileşenler



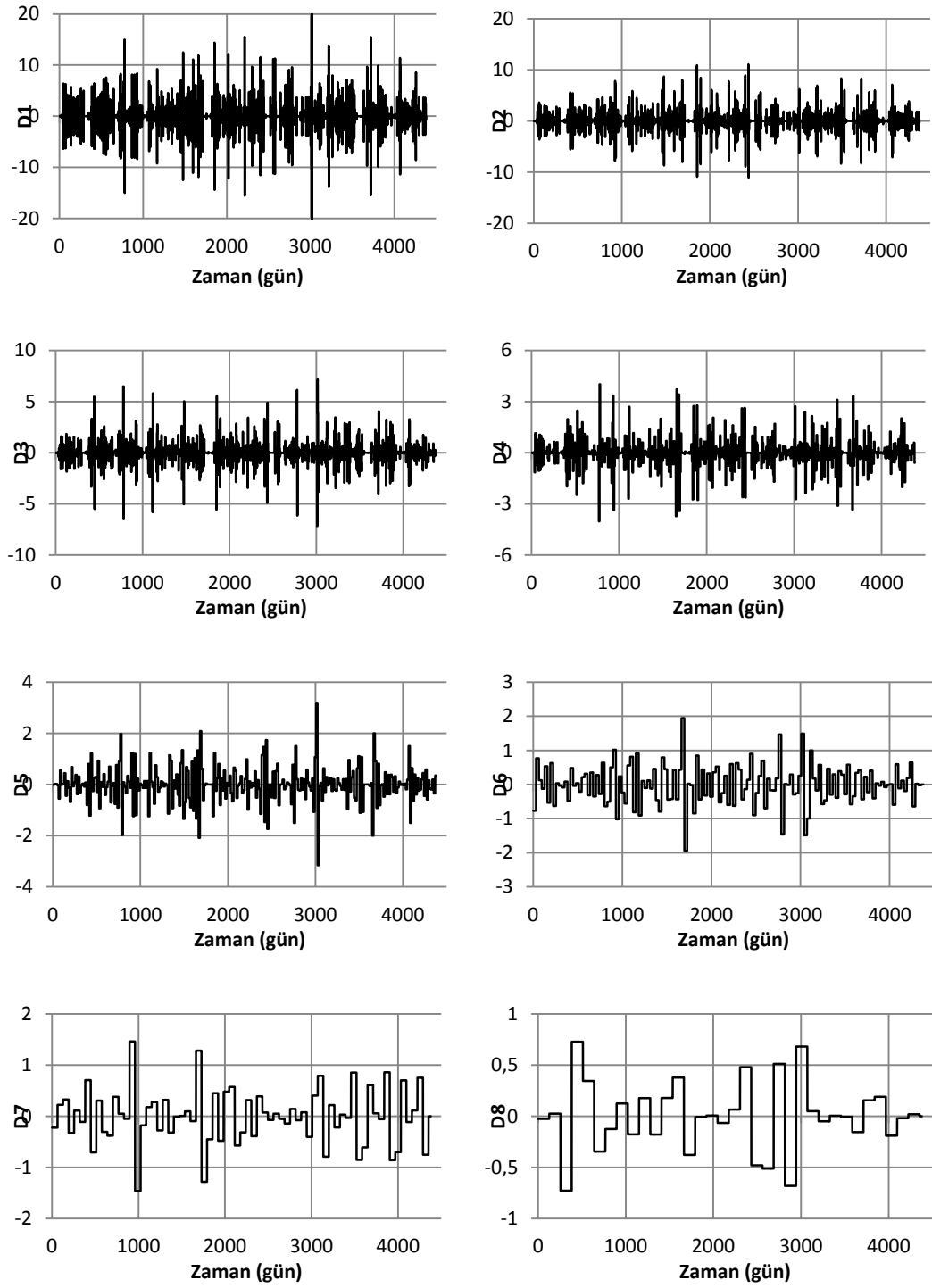
Şekil A.5. Y_t için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)



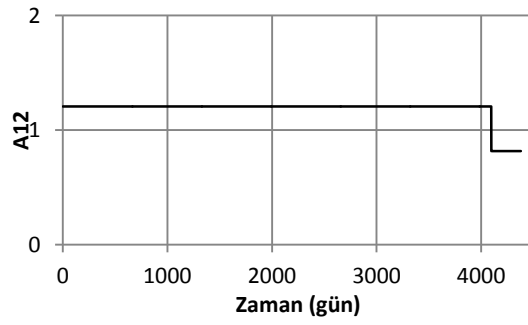
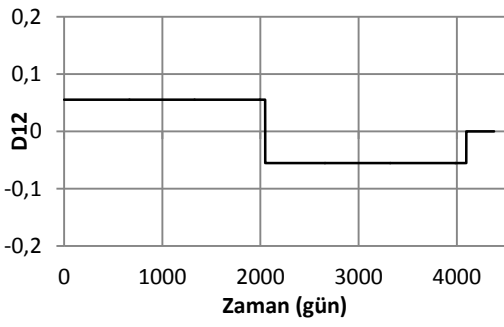
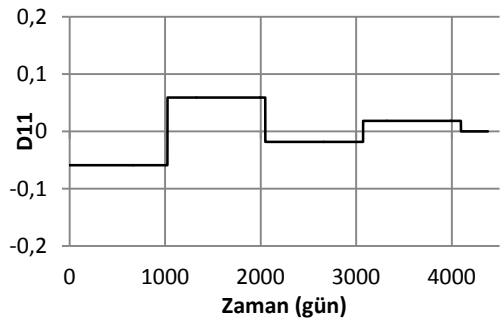
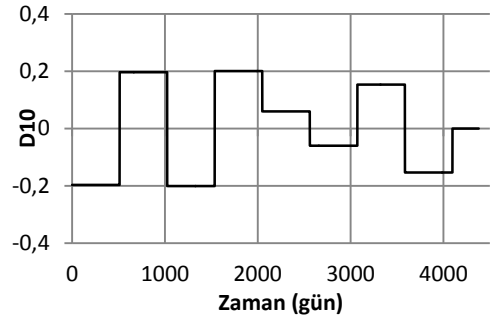
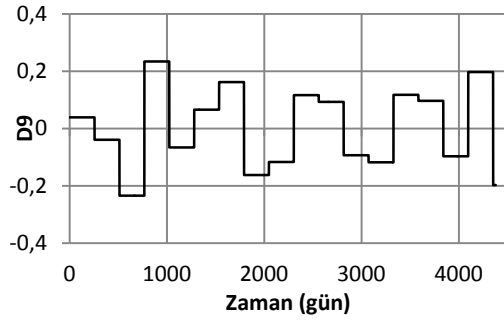
Şekil A.6. Y_{t-1} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



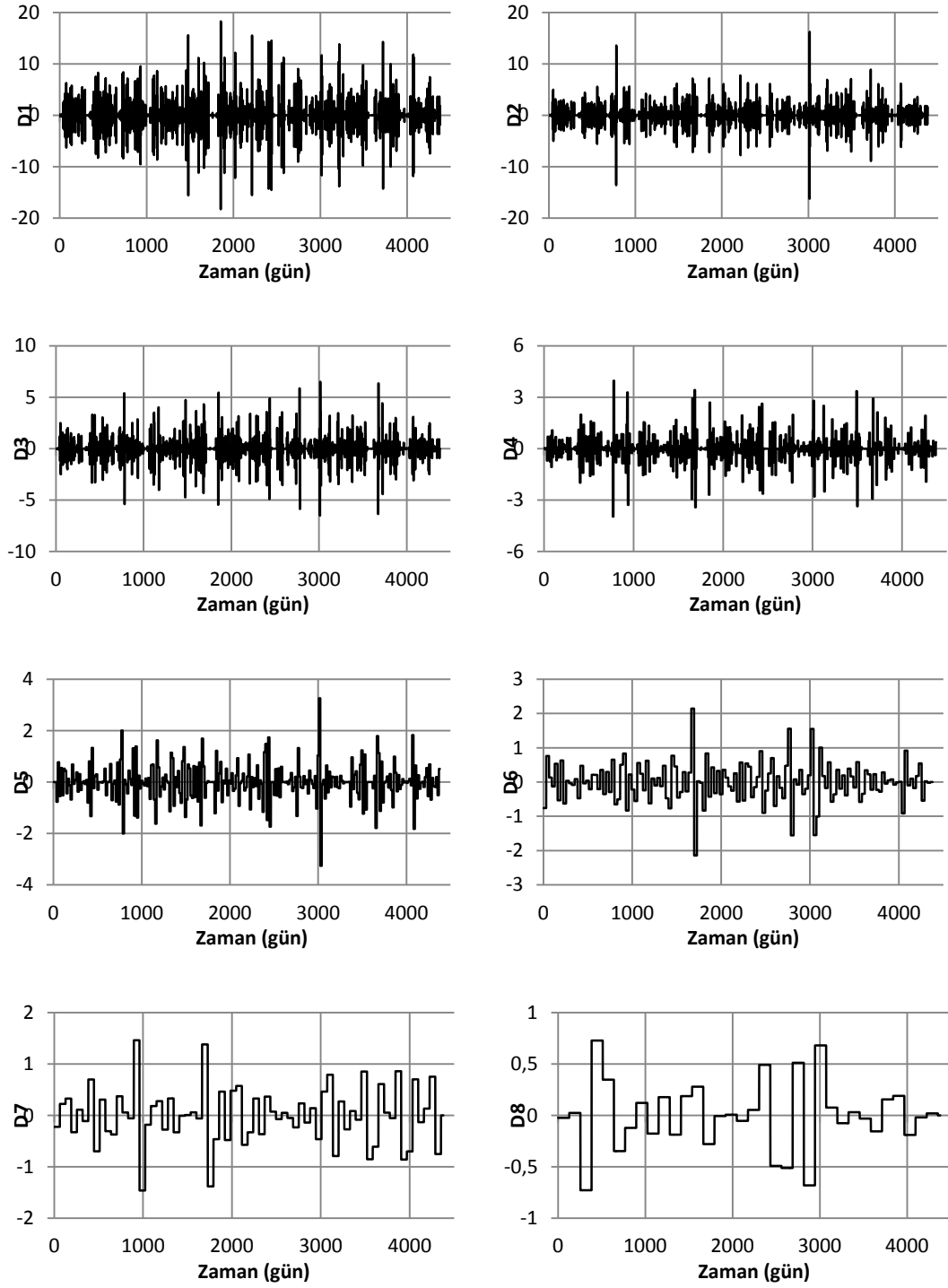
Şekil A.6. Y_{t-1} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)



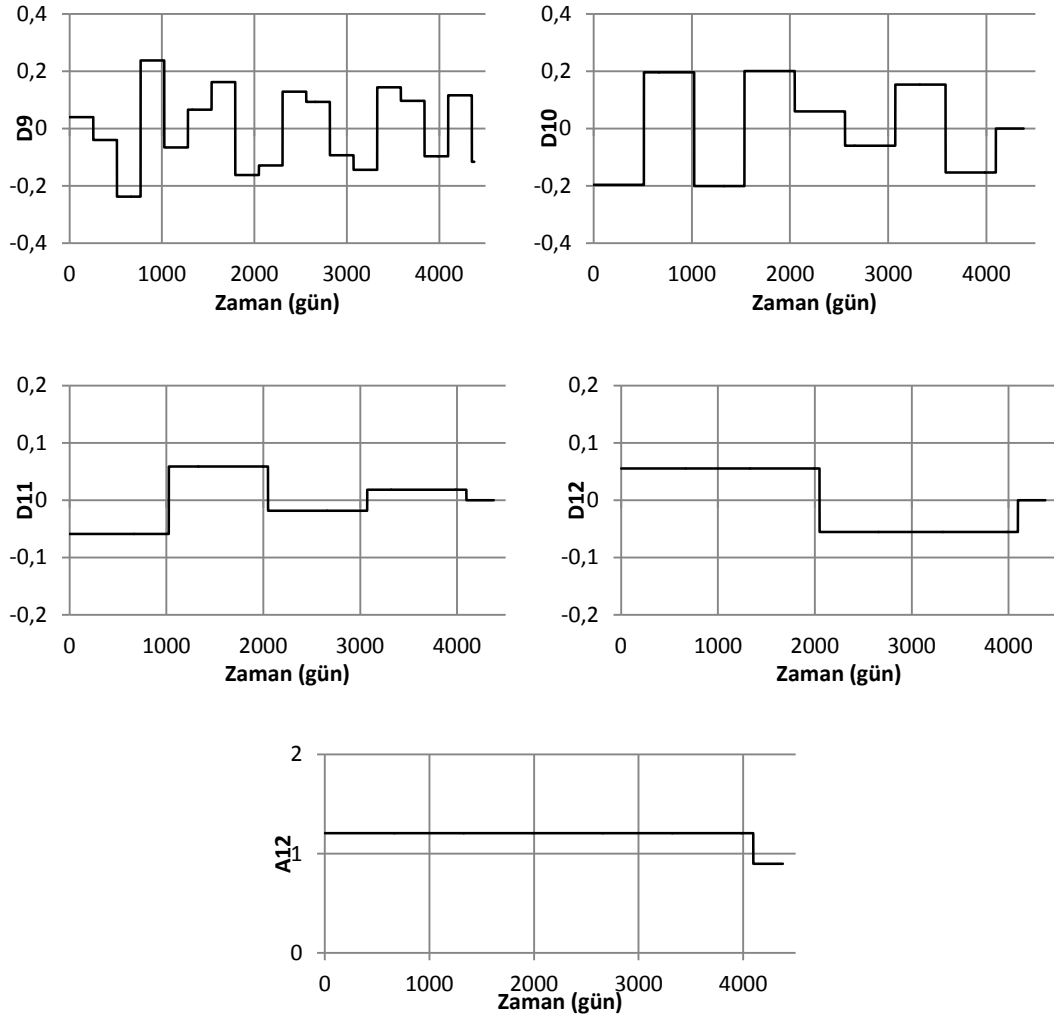
Şekil A.7. Y_{t-2} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



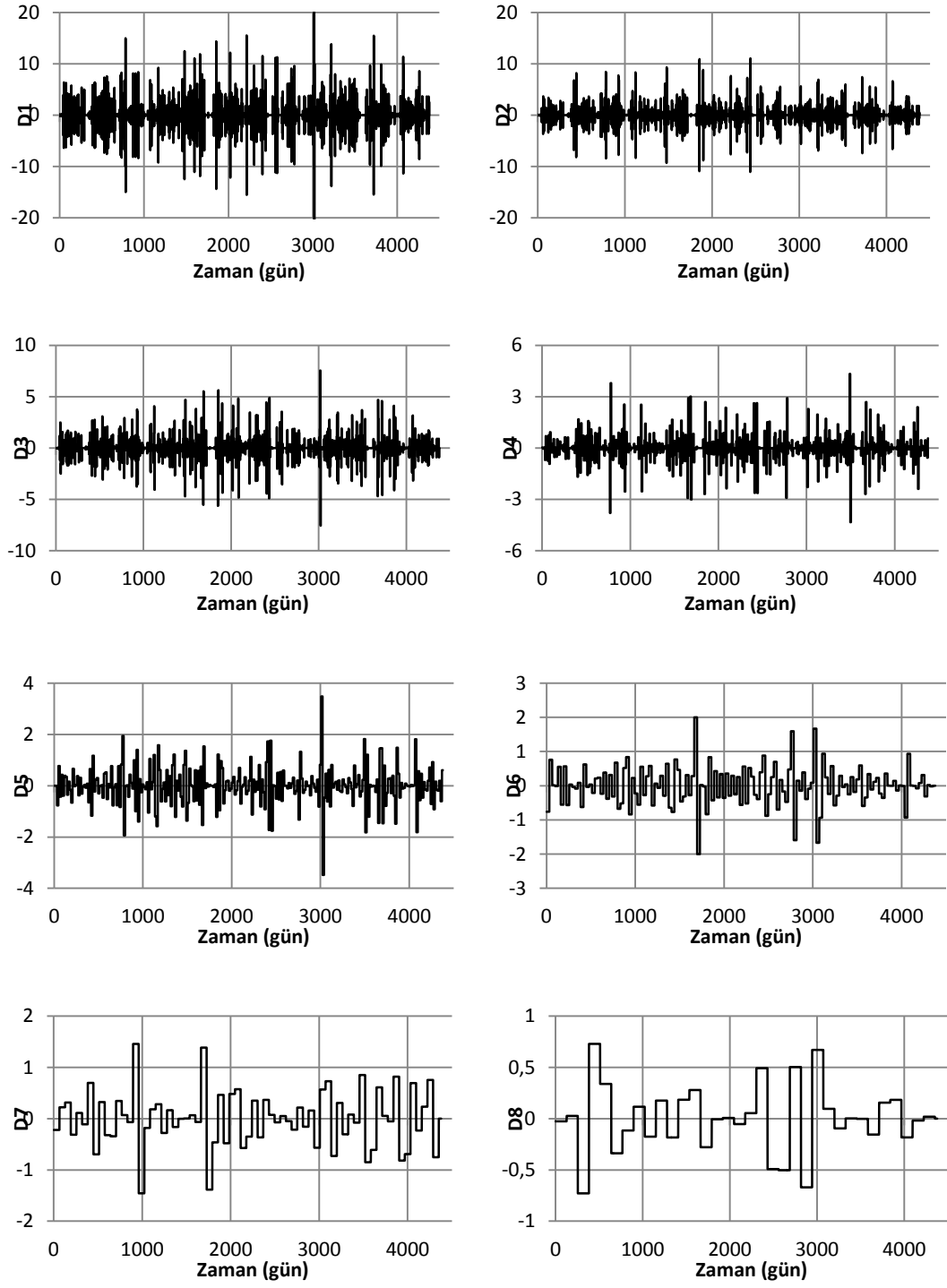
Şekil A.7. Y_{t-2} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)



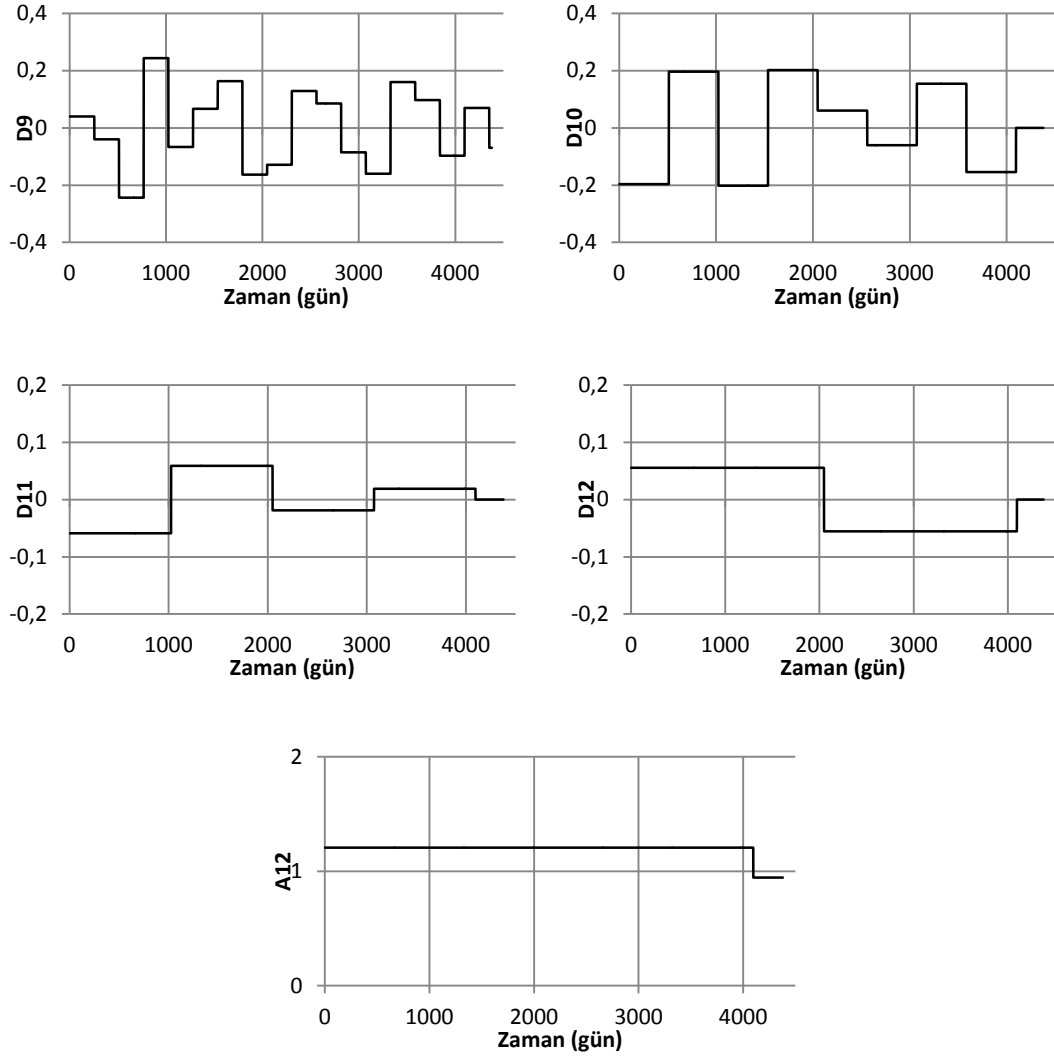
Şekil A.8. Y_{t-3} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



Şekil A.8. Y_{t-3} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)



Şekil A.9. Y_{t-4} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler



Şekil A.9. Y_{t-4} için haar dalgacığı ile elde edilen alt bileşenler (devamı)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melike BARAK
Doğum Yeri ve Yılı : Kırıkkale, 1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : melikebrk_0706@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Kırıkkale Anadolu Lisesi, 2003
Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi

Mesleki Deneyim

Milli Eğitim Bakanlığı, Isparta, Okul Öncesi Öğretmenliği
2009-2010

Yayınları

- Yapay Sinir Ağları Metodu ile Rüzgar Hızı Tahmini. Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 91-94, 2010 Kayseri.
- Bulanık Mantık Yöntemi ile Güneş Işınımı Tahmini. VI. Ulusal Hidroloji Kongresi, 408-415, 22 - 24 Eylül 2010, Denizli.
- Dalgacık Dönüşümü ve Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Akım Tahmini, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulama Sempozyumu, 3-4 Temmuz 2012, Trabzon.