İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAN GÖLÜ SU SEVİYESİNİN STOKASTİK MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. İlkay TELTİK

Anabilim Dalı : KIYI BİLİMLERİ VE KIYI MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KIYI BİLİMLERİ VE KIYI MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAN GÖLÜ SU SEVİYESİNİN STOKASTİK MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İlkay TELTİK
(517041005)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ekim 2008

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Hafzullah AKSOY**

Tez Danışmanı: **Yar. Doç. Dr. N. Erdem ÜNAL**

Diğer Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. H. Kerem CIĞIZOĞLU

Doç.Dr.Kasım KOÇAK

Yar. Doç. Dr. C.Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Van gölü su seviyesinin stokastik modellemesi yapılmış ve Segmenter programı ile model irdelenmiştir.

Bu çalışmada benden desteğini esirgemeyen hocalarım Sayın Doç. Dr. Hafzullah AKSOY ve Yar. Doç. Dr. N.Erdem ÜNAL' a bana göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Her şeyden önce mesleğimi bana sevdiren, yüksek lisans eğitimim için teşvik eden, İnş. Yük. Müh. S. Mithat ÖZMUTLU' ya gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen hocalarım, Prof. Dr. Miktad KADIOĞLU, Prof Dr. Mehmetçik BAYAZIT ve Prof Dr. Zekai ŞEN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında verdiği destekten ötürü İnş. Yük. Müh. Çağatay KONUK' a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde benden maddi manevi desteğini esirgemeyen ve daima yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim 2008 İnş. Müh. İlkay TELTİK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Konusu 1
1.2. Konunun Önemi 1
1.3. Çalışmanın Amacı 1
1.4. Çalışmanın Yöntemi 2
1.5. Çalışmanın Düzeni 2

2.KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR **3**
2.1 Çalışmalar 3
2.1.1. Jeolojik çalışmalar 3
2.1.2. Hidrometerolojik çalışmalar 5
2.1.3. İzotop teknikleri 11
2.1.4. Planlama çalışmaları 12
2.2. Değerlendirme 18
2.3. Çalışmanın Gerekliliği 18

3. VAN GÖLÜNÜN ÖZELLİKLERİ **19**
3.1. Van Gölünün Coğrafik Konumu 19
3.2. Van Gölünün Topografyası 19
3.3. Van Gölünün Jeolojik Yapısı 21
3.4. Van Gölünün Oluşumu 21
3.5. Van Gölünün Meteorolojik Özellikleri 22
3.6 Van Gölü Deprem Tarihçesi 25
3.7. Van Gölünün Hidrolojik Özellikleri 26
3.8. Van Gölü Su Seviye Değişimleri 27

4. ZAMAN SERİLERİNİN MODELLENMESİ **29**
4.1. Zaman Serisi Modelleri 29
4.1.1. Deterministik bileşen 32
4.1.2. Stokastik bileşen 33
4.2. Stokastik Süreçlerin Bileşeni 36
4.2.1. Eğilim (trend) bileşeni 36
4.2.2.Periyodik bileşen 37
4.3. Stokastik Modelleri 44
4.3.1. Otoregresif modelleri 45
4.3.2. Hareketli ortalama modelleri 46
4.3.3. Otoregresif-hareketli ortalama modelleri 47
4.4. Model Seçimi ve Kontrolü 48
4.5. Sentetik Seriler 50
4.6. Segmenter Programı 51
4.6.1. Program ara yüzü ve kullanımı 54

5. VAN GÖLÜNÜN STOKASTİK MODELLENMESİ **60**
5.1. Kullanılan Veri 60
5.2. Baz Gözlem İstasyonuna Ait Karakteristikler 61
5.3. İzlenen Yöntem 64
5.4. Uygulama 67
5.4.1. Tekli eğilim için model uygulaması 67
5.4.2. Çoklu eğilim için model uygulaması 73
5.4.2.1. Dördüncü mertebe segmentasyon 75
5.4.2.2. On ikinci mertebe segmentasyon 80
5.4.2.1. Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon 86
5.5. Segmentasyon Sonuçları 92
5.6. Sentetik Seri 94

6. SONUÇLAR **99**

KAYNAKLAR **101**

EKLER **105**

ÖZGEÇMİŞ **109**

KISALTMALAR

AIC	: Akaike İnformasyon Kriteri
AR	: Otoregresif Model
ARMA	: Otoregresif-Hareketli Ortalama Model
BB	: Dal ve Sınır Yöntemi
DP	: Dinamik Programlama Yöntemi
MA	: Hareketli Ortalama Model
MDP	: Geliştirilmiş Dinamik Programlama Yöntemi

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	Bazı meteorolojik Veriler.....	23
Tablo 3.2	Yıllık yağış değerleri.....	24
Tablo 3.3	Van gölü suyunun bileşenleri.....	27
Tablo 3.4	Van gölü su seviyesinin yıllara göre değişimi.....	28
Tablo 5.1	Bitlis ili, Tatvan ilçesi göl gözlem istasyonunun özellikleri	60
Tablo 5.2	Tek eğilim durumunda otokorelsyon ve kısmi otokorelsyon katsayıları.....	71
Tablo 5.3	Model seçiminde kullanılan parametreleri.....	72
Tablo 5.4	AR(2) model parametreleri(tek eğilim).....	72
Tablo 5.5	Dördüncü mertebe segmentasyon için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları.....	78
Tablo 5.6	Dördüncü mertebe segmentasyon için model seçiminde kullanılan parametreler	78
Tablo 5.7	Dördüncü mertebe segmentasyon için belirlenen AR(2) model parametreler.....	79
Tablo 5.8	On ikinci mertebe segmentasyon için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları.....	83
Tablo 5.9	On ikinci mertebe segmentasyon için model seçiminde kullanılan parametreler.....	84
Tablo 5.10	On ikinci mertebe segmentasyon için belirlenen AR(2) model parametreler.....	84
Tablo 5.11	Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları.....	89
Tablo 5.12	Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için model seçiminde kullanılan parametreler.....	90
Tablo 5.13	Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için belirlenen AR(2) model parametreler.....	90
Tablo 5.14	AR(2) modeli ile hesaplanan ve gözlenen su seviyeleri arasındaki benzerliğin segmentasyon mertebesi ile değişimi	93
Tablo 5.15	İstatistik değerler Minumum değerler	95
Tablo 5.16	Gözlenen ve sentetik belli dönüş aralıklarındaki maksimum göl su seviyeleri (cm).....	97
Tablo 5.17	Gözlenen ve sentetik belli dönüş aralıklarındaki minimum göl su seviyeleri (cm)	98

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	**:** Van gölü ve çevresi coğrafik haritası…….....	20
Şekil 3.2	**:** Van gölü ve uzaydan görünüz……	22
Şekil 3.3	**:** Türkiye iklim haritası.....	23
Şekil 3.4	**:** Türkiye deprem haritası.....	25
Şekil 4.1	**:** Model tespit şeması.....	31
Şekil 4.2	**:** Zaman serileri şeması.....	32
Şekil 4.3	**:** Süreçten küme elde edilmesi.....	34
Şekil 4.4	**:** Sıçrama bileşeni.....	36
Şekil 4.5	**:** Eğilimi tespit edilmiş süreç.....	37
Şekil 4.6	**:** Periyodik bileşen ve alt harmonikler.....	39
Şekil 4.7	**:** Periyodogram.....	42
Şekil 4.8	**:** Korelogram.....	43
Şekil 4.9	**:** Parçalara ayrılmış bir zaman serisi ve ilgili büyüklükler.....	52
Şekil 4.10	**:** Program ara yüzü.....	55
Şekil 4.11	**:** Analiz yöntemleri.....	55
Şekil 4.12	**:** Regression seçimi.....	56
Şekil 4.13	**:** Kullanılan testler.....	56
Şekil 4.14	**:** Veri analiz dosyasının programa yüklenmesi.....	57
Şekil 4.15	**:** Veri dosyasına ait bilgiler.....	57
Şekil 4.16	**:** Çıktı tipleri.....	58
Şekil 4.17	**:** Segmanların kırılma noktasını veren rapor.....	58
Şekil 4.18	**:** Dördüncü mertebeden doğrusal segmantasyon grafiği.....	59
Şekil 5.1	**:** Van gölü kapalı havzası gözlem istasyonlarının yeri.....	61
Şekil 5.2	**:** Tatvan göl istasyonu 1943-2007 arası aylık ortalama su Seviyeleri.	62
Şekil 5.3	**:** Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası yıllık ortalama su seviyeleri.....	62
Şekil 5.4	**:** Tatvan göl gözlem istasyonu 1943-2007 arası aylık ortalama su seviyeleri.....…….....	63
Şekil 5.5	**:** Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası aylık ortalama su seviyeleri standart sapması.....	64
Şekil 5.6	**:** Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası aylık ortalama su seviyeleri değişim katsayıları.....	64
Şekil 5.7	**:** İzlenen yönteme ait şematik aşamalar.....	66
Şekil 5.8	**:** Su seviyesine ait tek eğilim gafiği.....	67
Şekil 5.9	**:** Eğilimi çıkartılmış aylık ortalama su seviyeleri.....	68
Şekil 5.10	**:** Eğilimi çıkartılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi.....	69
Şekil 5.11	**:** Göl su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşeni çıkartılmış stokastik bileşen.....	70

Şekil 5.12 **:** Standartlaştırılmış su seviyesi..... 70
Şekil 5.13 **:** Stokastik kısmın korelasyon katsayısı..... 71
Şekil 5.14 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı..... 72
Şekil 5.15 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serisi.. 73
Şekil 5.16 **:** Segmenter program çıktısı..... 74
Şekil 5.17 **:** Dördüncü mertebe segmentasyon..... 75
Şekil 5.18 **:** Dördüncü mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri..... 76
Şekil 5.19 **:** Dördüncü mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi..... 76
Şekil 5.20 **:** Dördüncü mertebe segmentasyon için su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkarılmış stokastik bileşeni..... 77
Şekil 5.21 **:** Dördüncü mertebe segmentasyon için standartlaştırılmış su seviyeleri..... 77
Şekil 5.22 **:** Dördüncü mertebe segmentasyona ait stokastik kısmın korelasyon katsayıları..... 78
Şekil 5.23 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı (dördüncü mertebe segmentasyon için)..... 79
Şekil 5.24 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serileri (dördüncü mertebe segmentasyon için)..... 80
Şekil 5.25 **:** On ikinci mertebe segmentasyon..... 81
Şekil 5.26 **:** On ikinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri..... 81
Şekil 5.27 **:** On ikinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi..... 82
Şekil 5.28 **:** On ikinci mertebe segmentasyon için su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkartılmış stokastik bileşeni 82
Şekil 5.29 **:** On ikinci mertebe segmentasyon için standartlaştırılmış su seviyeleri..... 83
Şekil 5.30 **:** On ikinci mertebe segmentasyona ait stokastik kısmın korelasyon katsayıları..... 84
Şekil 5.31 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı (on ikinci mertebe segmentasyon için)..... 85
Şekil 5.32 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serileri (on ikinci mertebe segmentasyon için)..... 85
Şekil 5.33 **:** Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon..... 86
Şekil 5.34 **:** Yirmi sekizinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri..... 87
Şekil 5.35 **:** Yirmi sekizinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi..... 87
Şekil 5.36 **:** Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkartılmış stokastik bileşeni 88
Şekil 5.37 **:** Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için standartlaştırılmış su seviyeleri..... 88
Şekil 5.38 **:** Yirmi sekizinci mertebe segmentasyona ait stokastik kısmın korelasyon katsayıları..... 90
Şekil 5.39 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı (yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için)..... 91

Şekil 5.40 **:** Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serileri (yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için)..... 91
Şekil 5.41 **:** Benzerlik kriterlerinin segmentasyon mertebesi ile değişimi..... 92

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{A_i}$: Fourier katsayısı
AIC : Akaike bilgi kriteri
$\mathbf{B_i}$: Fourier katsayısı
$\mathbf{a}_\tau$: Sürecin Herhangi bir parametresinin istatistiği
$\mathbf{C_i}$: Fourier serisindeki harmoniklerin genliği
$\mathbf{C_k}$: k.mertebe otokovaryans istatistiği
k : Otokorelasyon katsayısı için adım
N : Toplam gözlem süresi
n : Yıl sayısı
$\mathbf{P_t}$: Periyodik bileşen
p : Otoregresif modelin mertebesi
q : Hareketli ortalama modelinin mertebesi
$\mathbf{r_k}$: k' ıncı mertebeden otokorelasyon katsayısı
s : Standart sapma
$\boldsymbol{s}_\tau$: τ'uncu periyodik standart sapma
$\mathbf{T}_t$: Sürecin eğilim bileşeni
$\mathbf{x_t}$: Gözlenmiş serinin rastgele değişkeni
$\mathbf{x}_{v,\tau}$: x_t değişkeninin periyodik hali
$\mathbf{y_t}$: Logaritmik dönüştürülmüş rastgele değişken
$\mathbf{y}_{v,\tau}$: y_t değişkeninin periyodik hali
$\mathbf{z_i}$: Standart normal değişken
$\mathbf{z_t}$: Standart hale getirilmiş sürecin değişkeni
$\mathbf{z}_{v,\tau}$: z_t değişkeninin periyodik hali
α_τ : Sürecin herhangi bir periyodik parametresi
$\boldsymbol{\varepsilon_t}$: Modellerdeki bağımsız rastgele değişken, kalıntı terimi
ϕ : Otoregresif modelin regresyon katsayısı
$\phi_{k,k}$: k. mertebe kısmi otokorelasyon katsayısı
γ_k : k. mertebe otokovaryans parametresi
λ : Box-Cox dönüşümü sabiti
μ : Sürecin ortalama parametresi
θ : Hareketli ortalama modelinin regresyon katsayısı
ρ_k : k. mertebe otokorelasyon katsayısı parametresi
σ : Sürecin standart sapma parametresi
ξ_i : N(0,1) dağılmış rastgele sayı
ξ_t : Sürecin stokastik bileşeni

VAN GÖLÜ SU SEVİYESİNİN STOKASTİK MODELLENMESİ

ÖZET

Van Gölü su seviyesinde 1987'den bu yana süregelen ani sıçramalar şeklinde, 2 m civarında artış gözlenmektedir. Öyle ki bölge Doğal Afet alanı kapsamına alınmıştır. Göl su seviyesindeki bu artışların sebeplerinin bulunabilmesi için yapılan çalışmalar, su seviyesinin artış eğilimi göstermesi nedeniyle yoğunluk kazanmıştır. Fiziksel nedenlerinin tespitinin yanı sıra istatistiksel yaklaşımlarla da göl seviyesi irdelenmektedir. Bu çalışmada istatistiksel bir çalışma olup, göl su seviyesi üzerine en uygun stokastik model kurulmaya çalışılmıştır. Model, 1943–2007 yılları arasında Tatvan istasyonuna ait yapılan ölçümler sonucu, Van Gölü'nün su seviyesinin aylık ortalama verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Yeryüzünde gerçekleşen tüm hidrolojik olaylar, zamanla sürekli olarak değişim gösterir. Bu yüzden hidrolojik süreç genellikle zaman serileri olarak ele alınır. Bir stokastik sürecin tam olarak belirlenebilmesi için sürecin rastgele değişkeninin olasılık dağılımı ve stokastik bağımlılığı bilinmelidir. Model eldeki verinin barındırdığı eğilimin ve periyodikliğin giderilmesinin ardından elde kalan rastgele (stokastik) bileşen için geliştirilmiştir. Burada öncekilerden farklı olan eldeki verinin tamamına tek bir eğilim çizgisi uydurmak yerine zaman serisinin önce İTÜ İnşaat Fakültesi'nde geliştirilen SEGMENTER adlı bilgisayar yazılımı ile homojen dönemlere ayrılması, her döneme ait eğilim çizgilerinin belirlenmesi, verideki eğilimin bu çizgiler kullanılarak giderilmesidir. Böylelikle mevcut yöntemlerin tahminlerinin iyileştirilmesi beklenmektedir. Kurulan model yardımıyla sentetik seriler üretilmiştir. Mevcut gözlem değerleri ile aynı istatistiksel özelliklere sahip daha uzun seriler elde edilmiştir. Böylece su seviyesinin belli dönüş aralıklarında alabileceği maksimum ve minimum değerlerin tespiti yapılmıştır.

STOCHASTIC MODELING OF THE VAN LAKE LEVEL

SUMMARY

The observations since 1987 has revealed that the water level of Van Lake have increased as sudden bounces to around 2 m. The rises were such that the region has been declared as a Natural Disaster Area. Studies to find the reasons behind the water level rises have been intensified owing to the increasing trend of the water level. The water level has been examined not only through the identification of the physical reasons but also statistical approach. This is a statistical study that aimed to develop a model of the Lake's water level. The model has been developed by using the monthly water level data of the Lake which were observed at Tatvan station between 1943–2007. All hydrological events on Earth constantly change through time. Hence, hydrological process are generally handled as time series. To determine a stochastic process precisely, probability distribution of the random variable of the process and stochastic dependency are to be known. Model was developed for the random (stochastic) component which remained after eliminating the tendency and periodicity of the existent data. The difference from the prior studies were; splitting the time series into homogenic periods via using the computer software named SEGMENTER developed by the ITÜ Civil Engineering Faculty instead of adapting one single tendency line for all the existing data, identification of tendency lines for each period and elimination of the tendency in the data by using these lines. Thus, it is expected to improve the estimations of the current methods. Sytnhetic series were generated with the aid of the developed model. Therefore, maximum and minimum values of the water level within specific rotation intervals were identified.

1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Van Gölü su seviyesinde gözlenen değişimleri ifade edebilecek bir stokastik model tanımlanması, modelde kullanılan veride zamana bağlı ortaya çıkan eğilim etkisinin SEGMENTER adlı program yardımı ile incelenmesidir.

1.2 Konunun Önemi

Türkiye'nin en büyük sodalı gölünde gözlenen yüksek mertebeli seviye değişimleri, gölün gelecekteki durumu ve göl çevresinin doğal yaşamına etkileri nedeniyle incelenmeye değerdir. Gelecekte yaşanacak seviye değişimlerinin tahmini için mevcut durumun sahip olduğu stokastik ve deterministik karakterlerin ortaya konması faydalı olacaktır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Van Gölü su seviyesinde son dönemlerde gözlenen 2 m civarındaki artış göldeki su seviyesinin çok yönlü bir şekilde incelenmesine, konu üzerinde yapılan çalışmaların artmasına neden olmuş, göl su seviyesinin tahmini için mevcut yöntemler kullanılması ile birlikte alternatif tahmin yöntemleri için arayışlar başlamıştır.

Bu çalışmada, 1944–2007 yılları arasında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından işletilen Tatvan göl su seviye ölçüm istasyonunun aylık verilerine dayanan bir model belirlenmeye çalışılmıştır. Model eldeki verinin sahip olduğu eğilimi ve periyodikliğin giderilmesinin ardından kalan rastgele (stokastik) bileşen için geliştirilmiştir. Burada önceki modellerden farklı olarak eldeki verinin tamamına tek bir eğilim çizgisi uydurmak yerine zaman serisi önce SEGMENTER adlı bilgisayar yazılımı ile homojen dönemlere ayrılmış, her döneme ait eğilim çizgileri belirlenmiş böylece verideki eğilim giderilmiştir. Yapılan bu değişiklik ile model tahminlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Van gölüne ait 64 yıl süreli aylık su seviye gözlemlerinin öncelikle bileşenlerine ayrılması gerekmektedir. Bunun için serideki eğilim ve periyodiklik gibi deterministik bileşenler belirlenmiştir. Bu bileşenlerin seriden çıkarılması ile sadece stokastik bileşeni olan zaman serisine ulaşılmıştır. Ardından otoregresif modeller arasında stokastik yapıdaki seriyi en iyi ifade eden model seçilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak burada zaman serisine birden fazla eğilim çizgisi uydurulmuştur.

1.5 Çalışmanın Düzeni

Çalışmanın tanıtıldığı bu bölümden hemen sonra Bölüm 2'de Van Gölü ile ilgili yapılmış çalışmalara değinilmiş, literatür özetlenmiştir. Bölüm 3'te çalışma alanı Van Gölü hakkında detaylı bilgi sunulmaktadır. Bölüm 4'te ise kullanılan yöntem anlatılmıştır. Zaman serisi modelleri detaylı bir şekilde açıklanmış, kullanılan SEGMENTER adlı yazılım tanıtılmıştır. Bölüm 5'te de ise yapılan uygulamaların sonuçları verilmiştir. Çalışmada varılan sonuçlar Bölüm 6'da ifade edilmiştir.

2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1 Çalışmalar

Van Gölü ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Van gölü oluşumu, yapısı ve florası ile geniş bir inceleme alanına sahiptir. Göldeki su seviyesinin önemli değişimler göstermesi nedeniyle son zamanlarda bu değişimleri inceleyen çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Burada bu çalışmaların bazılarından bahsedilecektir.

2.1.1 Jeolojik çalışmalar

Van gölü ve çevresi üzerine yapılan ilk jeolojik incelemelerde bölgenin tanımlanması, haritalandırılması ve stratigrafisinin belirlenmesi yönünde çalışmalarda bulunulmuştur. Bu çalışmalarda gölün doğusu, batısı ve güneyi farklı zamanlarda incelenmiştir. Bölgenin jeolojik yapısının tespiti üzerine, Zernek, (1953), Kıraner, (1959), Demirtalı ve Pısoni, (1964), Altınlı, (1966) ve Bigazzi ve diğ.,(1997) çalışmalarda bulunmuşlardır.

Doğu Anadolu bölgesinin jeomorfolojik gelişimi ve göl su seviyesindeki değişime etkileri üzerine yapılan çalışmada; Van Gölü ve Muş Havzasının tek havza iken ikiye bölündüğü tespit edilmiştir. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemlerde çökelme, göl ve akarsularda gerçekleşmiş, yine aynı dönemlerde bölgede tektonik hareketler de başlamıştır. Kıvrımlanma aşınmaya göre çok hızlı olmuş ve bu nedenle yükselti farkları çok olan havzalar oluşmuştur. Van Gölü ve Muş havzası tek havza iken morfolojik gelişmeler sonucu, oluşan çatlaklardan Nemrut yanardağı oluşmuş ve havza ikiye bölünmüştür. Van gölünün şekillerinin oluşumu yine tektonik yapıdadır. Çatlak alanlarından çıkış imkanı bulan lav akıntıları vadilerin dolmasına ve akarsuların dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Zamanla akarsuların oluşan çökeltileri aşındırması ve yeniden dengeye kavuşmaları ile Van gölündeki şekilleri oluşmuştur. Ayrıca Van gölünün şekillenmesinde iklim rejimlerinin de etkisinin

olduğu kabul edilmiştir. İklimsel değişiklikler akarsu rejimi dolayısıyla göl su seviyesini etkilemiştir. Van gölü şekillerinin bir kısmı iklimsel olarak gelişmiştir. Yine bölgenin kapalı havza olması Pliyosen sonunda bölgenin kıvrımlanması sonucu olmuştur. Muş-Van havzasında jeomorfolojik evrim sonucu kapalı havza olması, çökelme gözlenmesi ve volkanik faaliyetler sonucu kömür oluşmuştur (Güner ve Şaroğlu, 1981).

Van Gölü su seviyesinde meydana gelen artışlar üzerine, göl çevresinde ve içinde yer alan aktif faylar hava fotoğraflarından yararlanılarak detaylı bir şekilde incelenmiş, tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi belirlenmiş, göl çevresinde yer alan teraslar yaşlandırılmış ve göl çevresindeki GPS ağının sıklaştırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Böylece yaklaşık 18.000 yıl önce en yüksek teras (+74) 1720–1730 m'ler arasında yer almıştır. Van gölünün güneyinde bulunan Botan nehrinin kollarından Komşu deresi Van gölüne yatay olarak 2–3 m kadar yaklaşmaktadır. Reşadiye'nin doğusunda göl ile nehir arasındaki en alçak sırt yaklaşık 1800 m yüksekliğindedir. Bu yükseklik 1720 m olan en yüksek teras seviyesinden yaklaşık 80 m daha yukarıdadır. 18.000 yıl önce su seviyesinin 1720 m'nin üzerine çıkmamış olmasının sebebinin bu kottan sonra Botan nehri kollarının katılıyor olmasından kaynaklandığı kabul edilmiştir. Ayrıca deprem kayıtlarında yapılan incelemelerde bu yüzyıl içinde önemli bir depreme rastlanmamış, göl çevresinde meydana gelen iki önemli deprem olarak 1903 Malazgirt ve 1976 Çaldıran depremleri kaydedilmiştir. Bu depremler dışında göl içinde belirgin herhangi bir deprem aktivitesi veya büyük bir depreme rastlanmamış, buna neden olarak aletsel eksiklik gösterilmiştir. Van gölü yakınlarında yapılan GPS ölçümlerinde yöredeki hareketlerin kuzeye doğru olduğu ve hareket hızının 20 mm/yıl değerinde olduğu belirlenmiştir (Barka, 1995).

Van gölü çevresinde bulunan ve oluşumunda önemli rol oynayan volkanikler üzerine yaş tayini amaçlı yapılan çalışmada volkaniklerin yapısı hakkında incelemeler yapılmış, Nemrut volkaniğinin aktif kabul edilebileceği ortaya konmuştur. Kuvaterner volkanik seriden olan Nemrut çevresinde bölgenin en önemli obsidiyen yatakları tespit edilmiştir. Van gölünün kuzey kıyısı yakınlarında bulunan Anadolu'daki ikinci en yüksek dağ olan Süphan Dağı (4150 m) aktivitesi esnasında obsidiyen ortaya çıkaran, Kuvaterner yaşlı bir volkandır. Süphan Dağının güneyinde bulunan Nernek volkanik dağı ile birleşim tespit edilmiştir. Van gölünün doğusunda

bulunan Meydan dağı da kuvaterner yaşlı bir volkaniktir. Van gölünün kuzey doğusunda bulunan Tendürek Dağı kuvaterner volkanik serisinden olup iki krateri vardır. Solfatar tütme kısmında hala aktiftir ve obsidiyen ürettiği tespit edilmiştir (Özdoğan ve diğ., 1997).

2.1.2 Hidrometeorolojik çalışmalar

Van gölüne giren yüzeysel sular, göl yüzeyine düşen yağış, göl yüzeyinden olan buharlaşma, yeraltı suyuna olan katkı ve kaçakların belirlendiği; su seviyesi analizi yapılarak yükselmenin nedenlerinin irdelendiği ve su seviyesinin neden olduğu zararların önlenmesine yönelik planların önerildiği bir çalışmada, seviyedeki artış fiziksel nedenler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bölgedeki meteorolojik tespitlere göre yıllık toplam yağıştaki % 39'luk artış, yıllık buharlaşmadaki %15'lik azalma, göl su seviyesinde 32 cm'lik yükselmeye neden olmaktadır. Van gölünün çıkış ayağının olmaması konumu ve suyunun özellikleri, göl su seviyesinin yükselmesine neden olmuştur. Bu nedenlerle seviye artışının zararlarını önlemeye yönelik tedbir alınmasına imkân vermemektedir. Çalışmada tespit edilen diğer bir önemli sorun da Van gölü suyunun sodalı olması nedeniyle mevcut ve geliştirilecek olan sulama faaliyetlerinin yapılamamasıdır. Göl sularının hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan kolları vasıtasıyla Dicle nehrine verilmesi, bu nehir üzerinde yapılması düşünülen enerji amaçlı Ilısu, enerji ve sulama amaçlı Cizre barajı nedeniyle mümkün görülmemektedir (Baytaş, 1995).

Van gölü havzasındaki iklim değişimlerinin göl üzerindeki etkisini Kadıoğlu ve diğ., (1996) oluşturdukları model yardımı ile su seviyesindeki yükselmeyi incelemişlerdir. Şen ve diğ., (1996) tarafından su seviyesindeki dalgalanmaların aylık simülasyonu ve Cluster Regresyon modelini kurmuşlardır. Kadıoğlu ve diğ, (2000) Van gölüne ait aylık ortalama su seviyeleri için Otoregresif model kurulmuş ve farklı dönüş aralıkları için seviye tahmininde bulunmuşlardır.

Van Gölü su seviye artışının nedenlerinin tespitine yönelik yapılan çalışmada, bölgenin fiziksel koşulları, havzanın yapısı incelenmiş ve yıllık yüzeysel akış, göl yüzeyine düşen yağış ve buharlaşma değerlerinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Yüzeysel akış miktarının tespiti için kullanılan ölçüm istasyonları Van gölünden oldukça uzakta bulunmaktadır. Van gölüne giden toplam suyun belirlenmesi için

istasyonla Van gölü arasında kalan havza alanı belirlenmiş, akarsuların toplam havza alanları bulunduktan sonra her yılki yüzeysel akışa karşılık gelen havza verimleri her akarsu için hesaplanmıştır. Ancak eldeki verilerin eksik olması nedeniyle akış miktarları regresyon analizi kullanılarak tamamlanmış, böylece göle giren yıllık yüzeysel akış bulunmuştur. Sonuç olarak yıllar bazında yüzeysel akış, buharlaşma değerleri tespit edilmiştir. Seviyenin artış gösterdiği yıllarda, özellikle 1966–1991 yılları arasındaki seviye değişimi ile buharlaşma değişiminin ters orantılı olduğu belirlenmiştir (Geçel, 1996).

Van Gölü'ndeki su seviyesi değişimlerinin hidrometeorolojik parametrelerle ilişkisi üzerine yapılan çalışmada; Van gölü etrafında bulunan istasyonlarda (Ahlat, Tatvan, Van, Erciş, Muradiye) ölçülmüş yağış, buharlaşma ve sıcaklık kayıtları toplanmış, ayrıca akış değerleri için Van gölüne akan nehirler üzerinde istasyonlarda ölçülmüş akım değerleri incelenmiştir. Gölün ortalama yağış ve buharlaşma yükseklikleri Thiessen metodu ile hesaplanmıştır. Yüzeysel akış yüksekliği ile elde edilen değerler arasından seviye artışında etkin rol oynayan etkenin tespitine çalışılmıştır. Çalışmadaki eksik veriler regresyon ve korelasyon analizi ile tamamlanmıştır. Elde edilen bulgulara göre; 1965–1975 yılları arasında göl su seviyesinin yükselmesinde etkin parametre olarak yüzeysel akışlar tespit edilmiştir. Göle giren yüzeysel akış yüksekliği değerleri arttığı zaman göl seviyesi de artmış, azaldığı zaman buharlaşmanın da etkisiyle göl su seviyesi azalmıştır. Bu durumda seviye değişimi üzerindeki en etkin parametre olarak akış yüksekliği bulunmuştur. Yağış yüksekliği de, genellikle göl su seviyesinin yükseldiği aylar olan Haziran, Temmuz aylarında azalma gösterdiği için seviyeyi akış ve buharlaşma yüksekliği kadar belirgin etkilememektedir. Akış yüksekliği değerleri ile seviye değerleri arasında iki aylık bir faz farkı bulunmuştur. Bu sonuçlar da, göl seviyesini kontrol eden sadece yüzeysel akışın değil, gecikmeli olan yüzey altı ve yeraltı akışının da etkili olduğunu ortaya koymuştur (Gençsoy, 1997).

Van gölünün seviye değişimleri ile iklim verileri arasında bir ilişki bulunması amacı ile seviye değişimleri zaman serisi modelleri Erol (1996) tarafından kurulmuştur. İklim değişimleri ve seviye arasındaki ilişki korelasyon ve çoklu regresyon modelleriyle tespit edilmiş. Göl su toplama havzasının su bütçesinin belirlenmesi için Van gölüne ve havzaya düşen yağışların akışa dönen miktarı hesaplanmış, böylece

seviye değişimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda; Van gölü seviye yükselmelerinin gidiş eğilimi taşıdığı görülmüştür. Bazı yıllarda sapma gözlenmesine rağmen değişim artış eğilimindedir. Kurulan model tahminine göre ise yaklaşık 15 yıl boyunca mevcut seviye devam edecek ya da seviye etrafında dalgalanmalar olacaktır. 15 yıl sonra da bir sıçrama ile bu artışın devam edeceği öngörülmüştür. Çalışmada seviyenin devamlı bir artış yönünde olmasının iklimsel bağı kurulamamıştır. Ancak yükselmeye karşı arazilerin korunması gerektiği belirtilmiştir (Erol, 1996).

Van Gölü'ndeki su seviye değişimleri ile yağışlar arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, havza üzerine düşen yağıştaki farklılaşmanın ne kadar bir süre içinde göl üzerinde etkili olduğu araştırılmıştır. Çalışmada Tatvan'da ölçülen göl su seviyesi eşel değerleri kullanılmıştır. Van Gölü su seviyesine etki eden en önemli meteorolojik faktörlerden biri yağıştır. Kritik göl seviyeleri, genellikle yağışların, ortalamaların üstünde olduğu ıslak dönemlerde veya altında olduğu kurak dönemlerde oluşur. Göllerin su seviyelerindeki değişimleri araştırmak için yağışın iki tipinin göz önünde bulundurulması önerilmektedir: (1) doğrudan gölün üzerine düşen ve göl seviyesini derhal etkileyen yağış, (2) havza alanına düşen ve göldeki etkisi sonradan gözlenen yağış. Bu iki etki; havza alanının gölün kapladığı alana oranına, göl ve havza üzerindeki yağış miktarları arasındaki farka ve göle son olarak ulaşan havza alanına düşen yağışın oranına bağlıdır. Ayrıca sızma sonucu oluşan yeraltı akışının da göz önüne alınmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Aylık veriler kullanılarak yapılan incelemede yağışlar ile su seviyesi arasında genelde önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Tüm aylar bir arada ele alınınca, özellikle havzaya düşen yağışın, genelde 1 veya 2 ay sonra su seviyesinde yükselmeye neden olduğu görülmüştür. Tatvan'da gözlenen yıllık toplam yağış ve ortalama yıllık su seviye ölçüm değerleri kullanılarak yapılan inceleme sonucunda yıllık toplam yağıştaki herhangi bir artışın bir sonraki yıl su seviyesini etkilediği tespit edilmiştir. Buna göre, 1987 yılındaki yıllık toplam yağıştaki artışın etkisi 1988 yılında göl su seviyesinde artış şeklinde ortaya çıkmıştır. Daha hassas çalışmalar için periyodikliği giderilmiş aylık veriler kullanan yöntemlerin ortaya konması daha yararlı olacaktır (Sezen, 1996).

Van gölünün su bütçesi ve havza iklimi üzerine yapılan çalışmada sıcaklık, yağış, bağıl nem ve rüzgar parametrelerinin Van gölü havzasındaki yerel dağılımı incelenerek havza iklimi üzerinde durulmuştur. Ayrıca tektonik hareketler ve güneş lekeleri ile su seviyesi arasındaki ilişki irdelenmiştir. Havzanın iklimi üzerine yapılan analizlerde yıllık toplam yağış, en fazla Tatvan'da (800 mm), en az ise Güzelsu'da (320 mm) gözlenmiştir. Van gölü havzasının batısı ve güneyi, havzanın kuzeyinden ve doğusundan daha fazla yağış almaktadır. Halbuki gölü besleyen akarsular daha çok doğuda bulunmaktadır. Havzanın kuzeyi ile güneyi arasındaki yıllık toplam yağış farkı 80 mm iken doğusu ve batısı arasında en az 300 mm'lik fark vardır. Havzadaki en fazla yağış Mart ve Nisan aylarında, en düşük yağışlar Temmuz ve Ağustos aylarında gözlenmektedir. Van Gölü kapalı havzasının klimatolojik irdelemesinin yanı sıra su bütçesi yöntemi ile seviye farklılaşmasının nedenleri de araştırılmıştır. Hem göl üzerindeki yağış miktarının hem de havzaya düşen yağış miktarının alansal ortalamaları Yüzde Ağırlıklı (YA) Poligon metodu ile hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Aritmetik ortalama gibi bölge topografyasını göz önüne almayan bir yöntemle yapılan su bütçesi hesaplarında alansal ortalama yağışın daima fazla hesaplanma tehlikesi vardır. Van Gölü'nde meydana gelen buharlaşma hem su dengesi metodu ile hem de tava katsayısı kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır (Batur, 1996).

Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde, yapılan çalışmalar çok daha verimli hale gelmiştir. Özellikle batimetrik çalışma gerektiren alanlarda 3 boyutlu modelleme ile alan hareketleri tahmin noktasında daha kesin sonuçlar elde edilebilmektedir.

Van gölünün üç boyutlu dolaşım modelinde, göl su dolaşımı ve göl kesitinde sıcaklık değişimi tespiti çalışması yapılmıştır. Düşey ve yatay kesitlerde göl su değişimi ve sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla üç boyutlu, düşeyde sigma koordinatlarını kullanan POM (Princeton Ocean Model) modeli kullanılmıştır. Simülasyonlarda düşey çözünürlük 30 sigma seviyesi, yatay çözünürlük 1 km olarak belirlenmiştir. POM modeli, başlangıç ve sınır koşulları 1995–2000 yılları arasındaki NCEP/NCAR Reanaliz çıktıları ile verilmiş olan MM5 bölgesel atmosfer modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak elde edilen haftalık klimatolojik rüzgar gerilmesi ve yüzey akıları ile çalıştırılmıştır. 9 km çözünürlükteki MM5 modeli çıktıları POM modelinin 1 km'lik ağı üzerine interpolasyon yolu ile aktarılmıştır. Elde edilen altı

yıllık klimatolojik atmosfer verisi, POM modeline model kararlı duruma ulaşana kadar döngüsel olarak uygulanmış ve gölün klimatolojik su dolaşımı ve sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.

Su kaynaklarının en önemli bileşenlerinden birini dış etkilere son derece açık olan göller ve bunları içine alan havzalar oluşturmaktadır. Göllerin hidrodinamik ve ısıl özelliklerinin belirlenerek daha iyi anlaşılması, dış etkilere nasıl tepki vereceklerini belirlemek için yapılması gereken en temel araştırmalardan birisidir. Ülkemizde bu konuda yapılan araştırmalar oldukça kısıtlıdır. İklim ve insan etkilerinin göller üzerindeki etkisine verilecek en güzel örneklerden biri ülkemizin yüzölçümü olarak ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü'nün ve bu gölü besleyen akarsu ve çayların son yıllarda giderek artan bir hızla kuruması ve buna bağlı olarak çevre ekosisteminin bundan etkilenmesidir. Bu etkiler karşısında gerekli tedbirlerin alınmaması gelecekte Tuz Gölü gibi diğer göllerin de kuruyarak yok olmasına neden olabilir. Gölün klimatolojik davranışından yola çıkarak, zaman içerisindeki anlık değişimlerin belirlenmesi ve gelecek için senaryoların üretilmesi mümkündür.

Elde edilen sonuçlara göre Haziran-Eylül ayları arasında gölde termal tabakalaşma güçlenmekte ve karışım tabakasının derinliği 40–50 m'ye kadar çıkmaktadır. Bu dönemde göl yüzeyi sıcaklığı ise 20°C'ye kadar çıkmaktadır. Yaz aylarının aksine kış aylarında gölde güçlü bir tabakalaşma görülmemektedir. Ancak daha soğuk olan yüzey tabakası ve bunun altında bulunan nispeten sıcak tabaka Ocak ve Şubat aylarında gölde nispeten yavaş düşey akıntılara neden olmaktadır. Hypolimnion, yani gölün en alt tabakası incelendiğinde yıl boyunca oluşan sıcaklık değişimlerin etkisinin bu tabaka üzerinde etkisinin olmadığı görülebilir. Bu tabaka genellikle yıl boyunca 4°C civarında sabit bir sıcaklığa sahiptir. Tabakalaşma açısından bakıldığında gölü hiçbir zaman tam olarak alt ve üst tabaka arasında karışıma sahip olmadığından ve durağan bir alt tabakaya sahip olduğundan 'meromictic' bir davranış sergilediği söylenebilir. Gölde kış aylarında rüzgar nedeniyle oluşturulan kuzey batı yönlü yüzey akıntıları baskındır. Bu akıntılar ilkbahar mevsiminde batı yönüne doğru dönerek yaz aylarına doğru göldeki en derin bölgeler olan Tatvan ve Deveboynu çukurları üzerinde döngüsel akıntılar oluşmasına neden olmaktadır. Haziran ayında Deveboynu çukuru üzerinde başlayan bu antisiklonik (saat ibresi yönünde) yüzey akıntıları Temmuz ayında güçlenmekte ve Tatvan çukuru üzerine de yayılarak birbirleri ile etkileşimli iki adet antisiklonik yüzey akıntısı oluşturmaktadır.

Bu akıntıların hızları en kuvvetli oldukları Ağustos ayında 15-20 cm/s mertebesine kadar ulaşmaktadır. Bu yüzey akıntıları Kasım ayına kadar yavaş yavaş zayıflayarak devam etmektedir. Bu temel döngüsel akıntılar dışında Eylül-Kasım ayları arasında gölün sığ olan kuzey boynuna doğru uzayıp giden ve yine antisiklonik yönde olan ufak ve nispeten daha zayıf yüzey akıntıları mevcuttur (Turunçoğlu ve Dalfes, 2008).

Van gölü su seviyesi modellenmesi ve ekstrem seviyelerin tahminine yönelik çalışmada (Kadıoğlu ve diğ., 2008), su denge bileşenleri (yağış-akış-buharlaşma) ve su seviye kayıtları kullanılarak çoklu regresyon analizi yöntemi ile Van Gölü su seviye modellemesi yapılmıştır. Oluşturulan regresyon modeli yardımıyla gelecekteki olası ekstrem yıllık su seviyeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Van Gölü, kapalı bir havzaya sahip olduğu için göldeki su seviyesi doğrudan havzaya hakim hidrometeorolojik değişkenlerin etkileşimine ve rejimine bağlıdır. Hidrometeorolojik değişkenler, stokastik (rastgele) bir yapıya sahip olduğu için geçmişte gözlenen sulak dönemler gelecekte de tekrarlanabilir ve su seviyesi tekrar artabilir. Bu çalışmada, Tatvan'da ölçülen 1944–2007 dönemine ait yıllık ortalama su seviyeleri kullanılarak çoklu regresyon analizi yöntemi ile su seviyesi modellenmiştir. Geçmişte gözlenmiş yüksek yağış, düşük buharlaşma dönemleri dikkate alınarak gelecek için oluşturulan 4 yıllık yağış-buharlaşma senaryoları oluşturulmuş ve gelecekteki ekstrem su seviyeleri model yardımıyla tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır. 1988 yılında gözlenmiş 775 mm'lik alansal yağış 2008 yılında da havzaya düşebileceği kabul edildiğinde, su seviyesi 2008 su yılı içinde 1996'daki seviyesine ulaşmaktadır. Yani, Van iskelesinin su altında kalması, demir ve karayolu ulaşımının aksaması demektir. Bu sonuç, 2008 yılı için gerçekleşecek anlamına gelmemelidir. Gölün kotu, 2007 su yılı kotuna yakın kotlarda iken böyle bir yağış olması durumunda 1 yılda 1996'de yaşanan olumsuzlukları yaşatabileceği şeklinde yorumlanmalıdır. Dolayısıyla havzadaki alansal yağış titizlikle her yıl takip edilmelidir. Genelde mevcut yılda yağan yağışın etkisi bir sonraki yıl daha çok hissedilmektedir. 1988 yılında gözlenen 775 mm'lik alansal yağış, 2008 su yılında 45 cm su seviyesini yükseltmektedir. 1 yıl sonra 2009 su yılında, 2008'e göre daha düşük yağış (675 mm) düşeceği senaryosunda ise 2009 su yılında 73 cm su seviyesinde artış gözleneceği sonucu çıkmaktadır. Daha düşük yağış ile daha yüksek su seviyesi tahmin edilmiştir. Bu etki,

1 yıl önceki yağışın etkisidir. Dolayısıyla, mevcut yıldaki su seviyesi üzerinde 1 yıl önceki alansal yağışın etkisi büyüktür. Geçmişte gözlenmiş 4 yıllık yüksek yağış ve düşük buharlaşma periyotları gelecekte tekrarlandığında su seviyesi özel mülkiyetin kamulaştırıldığı 1652 m kotuna rahatlıkla yükselebilmektedir. Yani, 1652 m kotunun altının yerleşime kapatılma ve kamulaştırma kararı aynen devam etmelidir.

Geçmişte ve bugün Van Gölü'nde görülen su seviyesi yükselmesi problemi gelecekte de büyük ihtimalle tekrarlanacaktır. Bugün bu problemin nedenini ve çözümünü belirlemede büyük veri problemleri ile karşılaşılmaktadır. Van gölü ile ilgili daha ayrıntılı çalışmalar yapılabilmesi için bir an önce göl üzerinde ölçüm ağının kurulması ve gölün drenaj alanındaki hidrometeorolojik ölçüm ağının geliştirilerek göl giriş akımlarının daha iyi kontrol edilmesi gerekmektedir (Batur ve diğ., 2008).

2.1.3 İzotop teknikleri

Van gölü su bütçesinin yapılması ve değerlendirilmesine yönelik Çelik, (1999) tarafından yapılan çalışmada, su bütçesinin hesaplanması için göl ve civarında tüm hidrolojik elemanlarının bilinmesi gerekmektedir. Yağış, buharlaşma, yüzey girişi ve çıkışları gibi bazı elemanlar arazide ölçülebilirken yüzey altı giriş ve çıkış miktarlarının arazide ölçülmesi güç ve masraflıdır. Ancak suyun içinde doğal olarak bulunan, döteryum ve trityum yardımı ile yazılan izotop su bütçesi denklemi kullanılarak yazılabilen ek eşitliklerle bilinmeyen elemanların (yeraltı giriş-çıkış) bulunması mümkündür. Bu metotla ayrıca gölün homojenliği, karışım mekanizması, tabakalaşma, durgun su cephelerinin oluşumu, gölü besleyen suların orijini, göle giriş çıkış noktalarının belirlenmesi hakkında da bilgi sahibi olunmalıdır. Hidrojen ve oksijenin ağır izotopları, yağış ve buharlaşma esnasında daha az hareketli ortamda bulunacağından, doğal su döngüsünde yer alan su kütleleri buharlaşmanın etkisiyle değişik oranda izotop konsantrasyonu sergiler. Gölün izotop konsantrasyonunun değişmesinde, buharlaşma, göle giren suyun gölde kalış süresi, giren su kütlelerinin ilk izotop değerleri, atmosfer neminin izotop miktarı etki etmektedir. Van gölü ve havzasından alınan numunelerin izotop ve kimyasal analizi sonunda; çevredeki tüm akarsu ve yeraltı sularının göl suyundan tamamen farklı bir karaktere sahip olduğu, yaz dönemi ile sonbaharda alınan numunelerin kimyasal değerlerinde önemli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Van gölünün güney-batı kesiminde kaynakların

bulunduğu bölgede alınan göl suyu numunelerinde sıcaklık elektrik iletkenliği, sodyum klorür gibi parametrelerin 10–15 m derinliğe kadar değişmediği görülmüştür. Göl sıcaklığının 50 m derinliğe kadar giderek azaldığı, göl suyunun kimyasal özelliklerinin derinlik boyunca fazla değişim göstermediği, 1974 yılında ve son yıllarda alınan numunelerin izotop kompozisyonlarında önemli bir değişiklik görülmediği belirlenmiştir. Ayrıca trityum değerlerinde göl tabanına doğru bir miktar azalma tespit edilmiştir. Van gölünde 1966 yılında trityum değerinin 47 TU' ya ulaştığı, 1996 yılında 11 TU'ya düşmüş olması gerektiği ve aynı meteorolojik koşulların devam etmesi halinde 2100 yılında göl suyunun trityum değerinin 1,5 TU'ya düşeceği tahmin edilmiştir. Ancak 1996 yılında göl suyunun trityum değerinin 11 TU civarında olması gerekirken 15,4 TU bulunmuş olup bu durumda göl suyunun yenilenmiş olması gerekmektedir. Böylece gölde çıkış olduğu ihtimali oluşmaktadır. Bu çalışma sonucunda su seviye artışının devam edeceği ve çözüm olarak göl suyunun boşaltılması gerektiği ya da göldeki buharlaşma yüksekliğinin 50 cm' den 150 cm' ye ulaşması gerektiği belirtilmiştir (Çelik, 1999).

2.1.4 Planlama çalışmaları

Göl seviyesinin 1655 m'yi geçmesi üzerine 08.06.1995 tarihinde Bakanlar Kurulu tarafından 1655 m kotu altında kalan alan "Afete Maruz Bölge" ilan edilmiştir. Bölgenin acil çözümlere ihtiyaç duyması nedeniyle Kılıçaslan (1998) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Van gölü su seviyesinde dikkat çeken değişimlerin 1968 yılında başladığı belirtilmiştir. Kapalı havza olan Van gölünün seviye değişiminin bu özel yapısıyla ilgili olduğu düşüncesi üzerinde durulmuş, bu nedenle havzanın karakteristik yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Göl çevresindeki en önemli yerleşim bölgesi olan Van ili kuruluşu ve gelişim süreçleri de incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında göl su bütçesine etki eden en önemli mekanizmanın bölgedeki hidrometeorolojik değişim olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen meteorolojik verilerle yapılan analizler, seviyenin yükseldiği dönemlerde bölgede yağışlarda artış, sıcaklıkta düşme ve buharlaşmada da azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Van gölü su toplama havzasındaki kar yüksekliklerine ait gözlemler, göl seviyesinin arttığı dönemlerde kar yüksekliğinin de maksimum değerlere ulaştığını ortaya koymaktadır. Göl havzasında artan kar yağışı göl seviyesi üzerinde etkili olmuştur. Bölgede oluşan

depremler ile göl su seviyesi değişimleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görüşü kabul görmüştür. Göldeki fazla suyun tahliyesi ile ilgili olarak yapılan mevcut çalışmaların ekonomik çözümler olmadığı ve ayrıca doğal denge üzerinde büyük tahribatlar yapabileceği görüşü genel kabul bulmaktadır (Kılıçaslan,1998).

Van gölü çevresindeki canlı yaşamının ani seviye artışından nasıl etkilendiği ve gelecekte nasıl etkileneceği üzerine yapılan bir çalışmada, seviye artışı ardından Van ve Bitlis illeri içinde 50 km^2'lik alan sular altında kalmıştır. Bu alan içinde köyler ve verimli alanlar, meralar ve tarım alanları bulunmaktadır. Bilindiği gibi Van gölünün suyu tuzlu ve sodalıdır. Gölün su seviyesinin bir süre sonra geri çekilmesi söz konusu olsa dahi bu topraklar uzun süre sulanamaz halde kalacaktır ve rehabilite edilmesi gerekecektir. Van ilinde kamuya ait binalardan 454 bina bu durumdan etkilenmiştir. Bu binalardan 32 tanesi yıkıldığı için acilen boşaltılmıştır. Erçek bölgesindeki Karayolları, Demiryolları ve Van hava alanının büyük kısmı sular altında kalmıştır. Mevcut durum böyle iken yapılan çalışma ile, kıyı yapılarının kullanımında sağlıklı bir politika oluşturulabilmesi için imar planları hazırlanırken göz önünde bulundurulması gereken kritik kotların ayrıntılı tespiti amaçlanmıştır. Van Gölündeki seviye değişimlerinden en çok etkilenen bölge ve yerleşim birimlerinin Van (özellikle eski Van ve İskele mahallesi civarı), Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz olduğu tespit edilmiştir. Seviye artışının yanı sıra gölde var olan dalganın etkilemesi sonucu kıyı kesimlerinde gözlenen kıyı erozyonu ikinci bir fiziksel etki olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle bölgede yapılacak yerleşim ve tarımsal amaçlı alan kullanım planlarının hazırlanmasında dalga etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır (Deren, 1996).

Van gölü mevsimsel etkilere bağlı olarak yıllık ortalama 30~60 cm'lik dalgalanmalar göstermiştir. Göl kıyısına yakın olan yerleşimlerde ve kırsaldan gelen göçlerle gölün "dinamik kıyı çizgisi" aşılarak "güvenlik bölgesi" içinde yoğun yapılaşma ve kontrolsüz alan kullanımı yaşanmıştır. Van Gölü, Erçek Gölü ve Hazar Denizi'ndeki seviye değişimlerinde tarih boyu hep bir paralellik olduğunu görüyoruz. Bu olay üzerine bölgedeki iklim ve hidrolojik parametrelerdeki değişime, tektonik hareketler ve buna bağlı olarak göl batimetrik profilinde ve yer altı suyu giriş-çıkış koşullarındaki muhtemel değişimler, akarsular tarafından taşıyan taban ve yamaç

erozyon malzemesi ile, dalga etkisiyle miktarındaki artış gibi çeşitli parametrelerin etkili olduğu düşünülebilir.

Van gölü ve Erçek gölünde seviye yükselmesiyle ortaya çıkan sorunlara kesin çözümler üretilmesine ve geleceğe yönelik doğru tahminler yapılması yetmemektedir. Van gölünün tarihsel geçmişi, 20 yıl içinde bölgedeki gelişimler ve bugünkü gelinen nokta birlikte değerlendirilerek, uygulanabilir acil bir eylem planını ortaya konması kaçınılmazdır. Kısa ve uzun vadede bir eylem planı hazırlanmalıdır. Öncelikle yetki dağılımı bölge şartlarına uygun şekilde yeniden yapılandırılmalıdır. Mevcut yapı ve sistemlerin korunması ve kurtarılması için gerekli önlemlerin hemen alınması gerekmektedir. Seviye yükselmesinin yanında, çok önemli bir başka sorun olan "dalga etkisi ve kıyı erozyonu" konusu çok acil olarak incelenmeli ve potansiyel kıyı erozyonu riski olan bölgeler için uygun kıyı koruma önlemleri ve projeleri hazırlanmalıdır. Gap ve yakın bölgelerde planlanan veya inşa edilen baraj ve sulama sistemleri gibi büyük su kaynakları projeleri nedeniyle, Van gölü havzasında bir iklim değişimi sürecine girildiği anlaşılmaktadır.
Dolayısıyla, Van Gölünde bugün görülen seviye yükselmesinin gündemde kalabileceği olasılığını da dikkate alarak, uzum dönemli stratejiler geliştirilmelidir. (Avcı, 1996).

Van gölünde, 1944, 1963, 1969, 1988 ve 1993–1995 yıllarında yağış artışının da etkisiyle yükselmeler yaşandığı, 1944–2000 yılları arasında su seviyesinde yıl içinde artma ve azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

Yerleşim alanları üzerinde gölün 1994–2000 yılları arasında yükselmesi çevre kıyı ilçelerde tarihi yerler de dahil olmak üzere pek çok yerleşim yerine zarar vermiştir. Göldeki seviyenin 1 m yükselmesiyle göl çevresi yerleşimlerinin yaklaşık %27'si sular altında kalmıştır. Yerleşim alanlarının gördüğü zararda çevre yerleşim yerlerindeki plansız yapılaşma ve inşaat kalitesinin düşük olmasının da etkisi büyüktür. Zarar gören çevre binaların dışında evlere ait alt yapı sistemlerinin de göl suyuyla dolması sebebiyle çevre yerleşimlerde, daha sonra da kanalizasyon sularının göle verilmesiyle gölde sağlık problemleri ile de karşılaşılmıştır.

Gölde 1993–1995 yılları arasındaki yükselme çevre yollar, demiryolları, kıyı limanları, hatta havaalanının bir kısmına zarar vermiştir. Türkiye-İran demiryolunun

ise 250 m'si Tatvan, 400 m'si Van'da olmak üzere 650 m'lik kısmı hasar görmüştür. Araştırmalar gölün 1652 m seviyesine yükselmesi durumunda yaklaşık 25 km uzunluğunda otoyolun su altında kalacağını belirtilmiştir.

Gölde 1944–1995 yılları arasında seviye yükselmesi kıyı ilçelerde yaklaşık 1500 hektar tarım alanının su altında kalmasına sebebiyet vermiştir. 1995–2000 yılları arasındaki 90 cm'lik geri çekilmenin ise bu topraklar kumla kaplanmış olduğundan geri kazanılmalarına pek bir faydası olmamıştır. Tarım alanları dışında sadece Van'da 3590 ölü ağaç olmak üzere meyve bahçeleri de zarar görmüştür.

Van gölü kıyılarındaki deltalar birçok yerli ve göçmen kuşa ev sahipliği yapmaktadır. 1988–1995 yılları arasında göldeki yükselme kuşların doğal ortamı için önemli bir tehdittir. Gölün sabunlu ve tuzlu suyunun Bendimahi, Karasu ve Zilan nehirlerine karışması da 1990'ların başlarına kadar doğal yaşam bakımından çok zengin olan sazlık alanların yok olmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak gölde gelecekteki muhtemel seviye artışlarına önlem olarak çevredeki yapılaşmanın planlı bir biçimde yapılması, göl buharlaşma alanının (baraj vb.) önlemlerle arttırılması ve kıyı tarım alanlarının hem sulamayla verimli hale getirilmesi hem de bu yolla göl su seviyesinin kontrol altında tutulması önerilmektedir (Deniz ve Yıldız, 2005).

Dünyanın birçok yerinde Van gölünde görülen ani seviye artışları gibi göl seviye değişimleri yaşanmaktadır. Yapılan tüm çalışmalar bu artış nedenlerini tespit etme ve gerekli önlemleri alabilme yönündedir. Kuzey Amerika'da Michigan gölünde de benzer sorunlar yaşanmaktadır.

Michigan gölü seviye değişimleri üzerine yapılan çalışmada (Stanley ve Changnon, 1987), göldeki gözlem ve verilere göre son 40 yılda seviyenin yükseldiği tespit edilmiştir. Göl seviyesindeki bu yükselmede göl havzasındaki buharlaşma miktarının düşmesi ve yağış artışının etkin olduğu kabul edilmiştir. Buharlaşmanın azalması son 40 yılda gölde bulutlu günlerin artması ve ortalama sıcaklığın düşmesine bağlanmıştır. Ancak esas etkenin yağış artışı olduğu düşünülmektedir. Güncel yağış rejimi ileride de devam edecek bir artışa işaret etmekte ve artışın henüz yükselme eğiliminde olduğu tahmin edilmektedir. Araştırmalara göre gölün 2000 yıl önceki seviyesinin şimdikinden de yüksek olması nedeniyle güncel yağış rejiminin 1000

yıllık ölçekte ortalamayı yansıtmasının muhtemel olduğu kabul edilmektedir. Havzadaki yağış rejimi 1960'lı yıllardaki seviyede olsa dahi göl seviyesinin ortalama seviyeye düşmesinin 6–10 yıl alacağı tahmin edilmektedir. Göl seviyesindeki yükselme ulaştırma, dolaşım gibi kullanımlara hem olumlu hem de olumsuz etki etmektedir. Çevreye olan etkisi ise daha çok olumsuz yöndedir. Çünkü, göl yükselmesi kıyı topraklarının erozyonuna yol açarak, çevre ve kanalizasyon sistemleri ile göl ve çevresindeki liman vb yapısal elemanlara zarar vermiştir. Gölün seviye değişimleri ile ilgili ciddi önlem ve araştırmalara ise ancak göl seviyesinin pik yaptığı 1986 yılında başlanmıştır. Göl seviyesindeki yükselmeye karşı önerilen çözümlerden bir tanesi göle akan suların farklı taraflara yönlendirilmesidir. Uluslararası anlamda olan çözümlerden bir tanesi, göle komşu Superior gölünden gelen suların azaltılması denemesi ise önce Superior gölünün seviyesinin artmasına, daha sonra Superior gölünün seviyesinin düşürülmesi çalışmasında Michigan'ın seviyesinin normalden fazla yükselmesine yol açmıştır. Bunun gibi gölden su çıkışının arttırılması veya su girişinin azaltılması çabalarının göl seviyesinin düşmesine önemli bir etkisi olmamıştır. Havzadaki göllerin seviyesinin yüksek olduğu sürece alınacak önlemlerin gölün mevcut seviyelerde seyredeceği öngörülerek alınmasının (yapısal önlemler vb.) daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ancak bu önlemlerin maliyetli olacağı da vurgulanmıştır. Sonuç olarak göllerin hava ve çevre koşullarının kademeli değişimine daha kolay ayak uydurabileceği, ancak ani değişimlerin uyumu daha da zorlaştıracağından bahsedilmiştir (Stanley ve Changnon, 1987).

Van Gölü'nün su seviyesinin Van Gölü'nün çevresindeki diğer göllere ait su seviyeleri ve çevredeki meteorolojik istasyonlara ait yağış ve hava sıcaklığı verileriyle olan ilişkisi araştırılmıştır. Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından ölçülen; 25 04 Erçek Göl Gözlem, 25-09 Nazik Göl Gözlem, 25-19 Aygır Göl Gözlem, 25-23/36 Van Göl Gözlem ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından ölçülen 2501 Van Tatvan, 2508 Van, 2510 Van Güzelkonak Göl Gözlem istasyonlarına ait günlük göl su seviyeleri, 2505 Bendimahi Çayı, 2507 Süfrezor Deresi, 2509 Hoşap Suyu, 2511 Güzelsu günlük akım verileri ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından ölçülen Van, Van-Bahçesaray, Van-Başkale, Van-Çaldıran, Van-Erçiş, Van-Gürpınar, Van-Muradiye, Van-Özalp, Bitlis-Tatvan istasyonlarına ait günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Ayrıca Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)

Sağlık İzleme Programı dahilinde 171700 nolu Van Meteoroloji istasyonundaki günlük ortalama hava sıcaklığı, donma noktası, hava basıncı, görüş mesafesi, rüzgar hızı, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları, yağmur yağışı, kar yağışı, sis, dolu, gök gürültüsü, kasırga durumu kullanılmıştır. Verilen istasyonlara ait göl su seviyelerinin kendi aralarındaki ilişkileri özetlenmiştir. Ayrıca günlük göl su seviyeleri ile günlük yağış ve günlük ortalama hava sıcaklıkları arasındaki ilişkilerde istatistiksel ve veri madenciliği metotları kullanılarak incelenmiştir.

Veri madenciliği güncel ve istatistiksel bir çok yöntemi içine alan, geniş bir yelpazeye sahip yöntemler bütünü olarak tanımlanabilir. Örneğin, yapay sinir ağlarada, bir sonuç değişkeni hesaplamak için bir çok parametrik değişkenlere ait verileri giriş olarak kullanılmaktadır. Böylece hesaplamak istenilen değişken veya değişkenlerin özellikleri belirlenir ve tahmin yapılır. Veri madenciliğinde birçok yöntem kullanılmaktadır.

Van Gölü'nün su seviyesi aylık değişimlerinde giderek bir azalma vardır. Erçek Gölü ile Van gölünün su seviyeleri arasında ilişki güçlü, Nazik Gölü ile olan ilişki ise zayıftır. Korelasyon katsayıları; 0.8194 ve 0.4188'dir. Göle ulaşan suyun ana kaynağını yağan karlar oluşturmaktadır. Göle ulaşan akımlardan 2511 Güzelsu Çayı ile göl su seviyesinin ilişkisi en yüksek bulunmuştur. Ayrıca hava sıcaklığı ile su seviyesi arasında sıkı bir ilişki elde edilmiştir. Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında su seviyesi azalmış, Mart, Nisan, Mayıs aylarında ise su seviyesi artmıştır. Hava basıncı ile su seviyesi arasında bir ilişki mevcut iken, rüzgar ile anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Çalışmanın sonucunda göl su seviyeleri ile hava sıcaklığı arasında güçlü bir ilişkinin olduğu gösterilmiştir (Akyüz, 2008).

Yapay sinir ağları (ANNs) ile akim tahminlerinde ARMA modellerinin uygulanması üzerine yapılan çalışmada, yeterli veri seti oluşturmada sentetik seri türetilmesi yöntemi kullanılmıştır. Mevcut su kaynakları üzerine yapılan yapay sinir ağları ile tahmin çalışmalarında karşılaşılan en güncel sorun eldeki verilerin kısa dönem aralıkları için olmasıdır. Bu durum güvenirliliğin azalmasına neden olmaktadır. Çalışmada ARMA otoregresif modelleri yardımı ile aynı istatistiksel özelliklere sahip sentetik seriler üretilerek bu sorun aşılmaya çalışılmıştır. Doğu Akdeniz bölgesindeki nehir akım değerleri üzerinde ARMA modelleri uygulanarak (ANNs) için gerekli uzunlukta seriler elde edilmiştir. Verilerde Peryodik bileşenin

tanımlanması ile (ANNs) tahminlerinin doğruluğunda artış gözlenmiştir. Nehir akım tahminlerinde nehir içinde taşınan sediment miktarlarının da belirlenmesi içinde kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda aylık nehir akım tahminlerinde sentetik seri kullanarak gözlenen veri setinin genişletilmesinin olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Ciğizoğlu, 2003).

2.2 Değerlendirme

Van gölü Türkiye'nin en büyük gölü olması ve Doğu Anadolu bölgesinin yerleşim alanı olması nedeniyle önemli bir kapalı havza gölüdür. Dünyanın birçok yerinde yaşanan ani su seviye değişimlerini ülkemizde en net şekliyle Van Gölü'nde gözlenmektedir. Bilimsel çalışmaların yapılmaya başlandığı yılardan bu yana su seviyesindeki artışların nedenleri tam olarak ortaya konamamıştır. Ortaya atılan birbirinden farklı varsayımlar ispat noktasında yetersiz kalmıştır. Seviye artışlarına neden olarak güneş lekeleri, deprem hareketleri, küresel iklim değişimleri gösterilmiştir. Ancak havza ve gölalanı ile ilgili yetersiz kayıtlar nedeniyle çalışmalar istenilen düzeyde yapılamamaktadır.

Su seviyesinin yükselmesine karşın alınacak önlemler noktasında da sorunlar yaşanmaktadır. Geleceğe yönelik tahmin için kurulan tüm modellerde göl ile ilgili kabuller de tahmin noktasındadır. Yerleşim planlamasında, tarım alanlarının korumasında, daha da önemlisi gölün korunmasında alınması gereken önlemler, bilimsel verilerden ziyade geçmişten gelen gözlemlere dayanmaktadır. Su kaynaklarının büyük önem kazandığı bu dönemde, Van gölü Türkiye için özellikle de bulunduğu bölge ve yöre halkı için büyük bir zenginliktir.

2.3 Çalışmanın Gerekliliği

Van gölü ve havzasının önemi göz önünde bulundurulduğunda göldeki su seviye değişimlerinin, hassasiyetle incelenmesinin gerekliliği ortadadır. Verimli tarım arazilerinin yanı sıra kıyı koruma alanları ve kıyı yerleşimleri için geleceğe yönelik planlamalarda göl su seviyesi değişimlerinin olası değerlerini tahmin etmek büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden bu çalışmada, önceki çalışmalara göre daha güvenli tarafta karar vermeye yardımcı olan bir matematik model önerilmiştir

3. VAN GÖLÜ'NÜN ÖZELLİKLERİ

3.1 Van Gölü'nün Coğrafi Konumu

Van ili sınırlarında olup, 42° 40´ ve 44° 31´ doğu boylamlarıyla, 37° 43´ ve 39° 26´ kuzey enlemleri arasında yer alır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Murat-Van Bölümü'ndeki Van gölü yüksek volkanik dağların ortasında çöküntü şeklindedir. Van gölü, Türkiye'nin en büyük, Avrupa'nın beşinci büyük gölüdür. Gölün yüzölçümü 3764 km²'dir. Uzunluğu 125 km'yi, genişliği 65 km'yi aşar. Deniz seviyesinden yüksekliği 1646 m'dir.

3.2 Van Gölü'nün Topoğrafyası

Van Gölü havzası tamamen dağlık görünümdedir. Eğimleri dik, yükselti farkları fazladır. Bu genel görünümü değiştiren yer şekilleri alüviyal taban ovaları ve yumuşak eğimli küçük tepelerdir. Havzada, yükseltiler genellikle 1650–2600 m arasında değişmektedir. Doruklarda 3000 m'yi geçen yükselti, kuzeydeki püskürme konilerinde 4000 m'ye ulaşmaktadır.

Gölün güney ve doğu kesiminde dağlar sıradağ biçiminde yer alır. İran sınırından göle doğru eğimle alçalan sıradağlar içinde Pir Raşit, İsabey, Erk, Sudis, Başet, İspiriz, Hibarit ve Mengene dağları 3000 m'nin üzerinde yükseltiye sahiptir. Dağların daha sık bir biçimde yer aldığı güney kesiminde Artos, Vavirar, Kevuşşahap, Sarı, Hoşabeşir, Pili ve Kars dağlarının yükseklikleri yine 3000 m' nin üstündedir (Şekil 3.1).

Batı ve kuzey kesimlerinde yükselti daha düşüktür. Yüksek dağlar tek olarak bulunur. Batıda Nemrut (3050 m), onun kuzeyinde Süphan (4434 m), kuzeydoğuda Aladağlar (3228 m) ve Tendürek dağları (3533 m) yer alır.

Dağlar ile Van gölü arasında yer alan ovalar genel olarak göl seviyesi ile 1800 m arasındadır. Havza içindeki platolar (Çaldıran, Taşrumi, Saray, Rahva ve Hoşap doğusu) yaklaşık 2000 m yükseklikte yer alır (TMMOB, 1996).

Van gölünün etrafında Nemrut ve Aygır krater gölleri (2400 m), Arin gölü, Nazik gölü, Erçek gölü bulunmaktadır. Van gölü havzasında Erciş, Arin, Adilcevaz, Keban, Ahlat ve Van ovaları bulunmaktadır.



Şekil 3.1: Van gölü ve çevresi coğrafik haritası

Van gölünün en önemli su kaynakları; Zilan Deresi, Deliçay, Bendimahi Çayı, Karasu, Engil Çayı, Gevaş Suyu, Küçüksu ve Süfrezar suyudur. Gölden dışarı akış yoktur. Gölün en büyük derinliği 451 m olup Tatvan açıklarındadır. Gölün en geniş yeri Tatvan ve Bendimahi çayının döküldüğü yer arasındaki 127 km'lik mesafedir.

Van gölü, göl olarak tanımlamasına karşın iç deniz özellikleri de göstermektedir. Bu nedenle Erciş Deryası, Van Deryası, Van Denizi olarak da adlandırılır. Gölün en önemli kara parçaları Yaka, Çarpanak ve Akdamar adalarıdır. Göl kıyısı boyunca girintiler; Erciş körfezi, Van, Gevaş ve Tatvan koylarıdır.

3.3 Van Gölü'nün Jeolojik Yapısı

Van gölünün kuzeyinde ve batısında volkanitler, doğusunda tortullar ve güneyinde metamorfikler bulunmaktadır. Bölgede temel kayayı, Van gölünün güneyindeki, Bitlis masifinin devamı olan metamorfik kayaçlar teşkil eder. Bu kayaçlarda, gnays, şist ve kristalize kalker yoğun veya ara tabakalı şekilde bulunur.

1974 yılında MTA tarafından bölgede yapılan araştırmada Van gölünde toplanan batimetrik veriler, Görsel şelf (sahanlık), yarı görsel yamaç ve göl baseni şeklinde üç belirgin fizyografik bölge göstermiştir.

Van gölü yöresindeki ana tektonik hat, gölün güney kısmını ve yakın kıyıları kesen, doğu batı uzanımlı bir faydır ve halen sismik olarak aktiftir. Tatvan ve Dereboyu basenlerinde bulunan karışık tabakaların göl su seviyesindeki ani değişimlere neden olduğu düşünülmektedir.

Van gölü bölgesinde volkanik yapı nedeniyle petrol ve gaz sızıntılarına rastlanmaktadır. Ancak tektonik hareketlerin rezerv oluşumunu olumsuz etkilediği ve üretime uygun olmadığı ileri sürülmektedir.

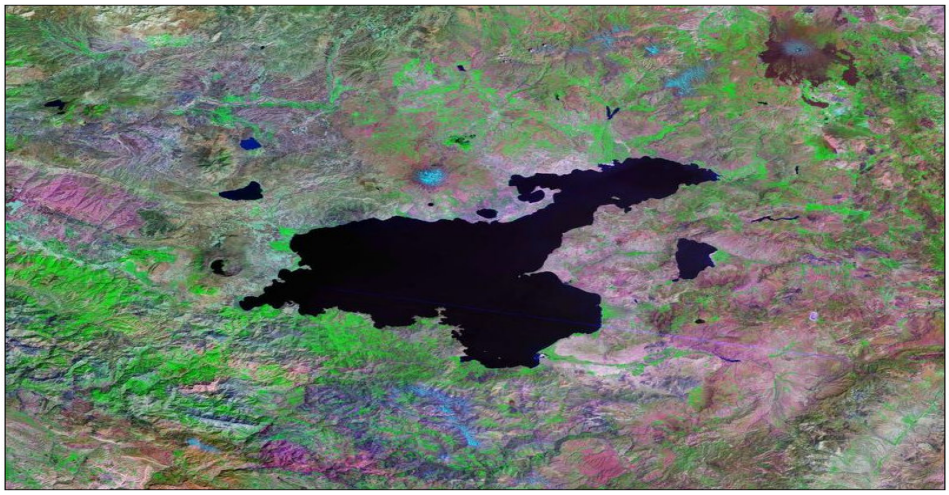
3.4 Van Gölü'nün Oluşumu

Van gölünün jeolojik oluşumu oldukça yeni sayılmaktadır. Eski dönemlerde mevcut yüzeyinin 2–3 katı büyüklükte bir alanı kaplayan göl ve çevresi, yeni jeolojik devirde birçok değişikliğe uğramıştır. Gölün tuz yaşının 60.150 yıl olduğu Kepme (1978) tarafından hesaplanmıştır. Ardından Wong ve Finckh (1978) gölün kapalı göl olarak yaşının 100.000 yıl olabileceğini belirtmiştir. Göl etrafında bulunan dağlar yarı-aktif volkanik dağlar olup gölün oluşumunda bu dağların etkin olduğu kabul edilmektedir. Nemrut dağı en son 1441'de aktif olmuştur (Pfaffaengolz, 1950). Bölgenin morfolojik ve yapısal özellikleri incelendiğinde Van ve Muş basenlerinin birbirinin devamı olduğu anlaşılmaktadır (Lahn,1948).

Eski jeolojik çağlarda Muş ovası ile Van gölü sularının kapladığı çukurluk kesintisiz bir çöküntü alanı iken sonraki jeolojik dönemde Süphan ve Nemrut yanardağlarından püsküren lavlar bu çöküntü alanını ikiye ayırmıştır. Nemrut dağından çıkan lavlarla

su doğu kesimlerinde birikmeye başlamış (Türkeli, 1995), böylece batıda Muş ovası, doğuda Van gölü çanağı oluşmuştur.

Van gölü oluşmadan önce göl çevresindeki nehir sisteminin ya Murat nehrine ya da Dicle nehrine bağlı olduğu düşünülmektedir. Nemrut volkanının lavlarının geç kuvarternerde (tahmini 100.000 yıl önce) Muş ve Van basenlerinin birbirinden ayrılmasına neden olduğu kabul görmektedir (Şekil 3.2). Gölün maksimum derinliğinin 451 m olması (Tatvan Çukuru) ayırım öncesinde de bir gölün varlığına işaret etmektedir (Barka, 1996).



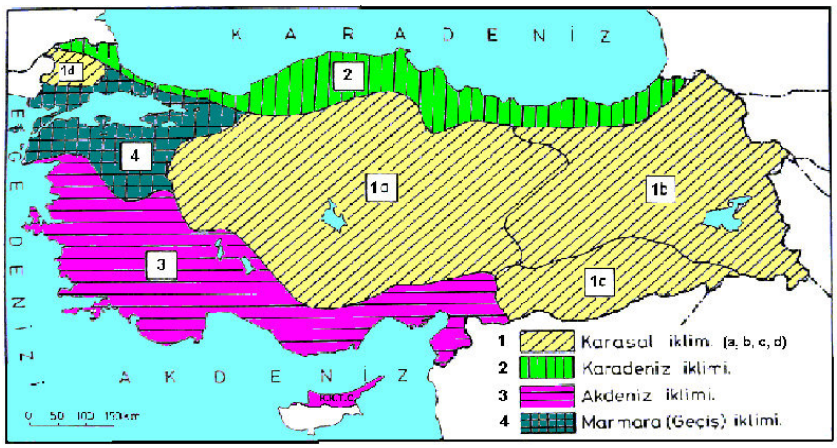
Şekil 3.2: Van Gölü Uzaydan Görünüş

3.5 Van Gölü'nün Meteorolojik Özellikleri

Denizden yüksekliği 1725 m olan ve etrafı dağlarla çevrili Van'ın iklim özelikleri karasal iklim tipi (Şekil 3.3) gösterse de ortasında küçük bir deniz karakteri gösteren Van Gölü'nün bulunması iklimin yumuşak geçmesine sebep olmaktadır. Kış döneminde gölün ılık olması hava sıcaklığını yumuşatmakta yazında göl havayı serinletmektedir.

Uzun yıllar rasat değerlerine göre; aylık sıcaklık ortalaması 8.8 ˚C'dir. Sıcaklık değerleri bakımından en yüksek değerler Temmuz ayında ölçülmektedir. Bugüne kadar ki maksimum değer 27.07.1966'da 39.6 ˚C olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklık Ocak ayında görülmektedir. Gözlenen minimum değer 19.01.1964 de -28.9

˚C olarak ölçülmüştür. Van ili yağışlı gün ortalaması 80–90 gün arasındadır. Yıllık yağış miktarı toplamı 380–700 mm arasında olmaktadır.



Şekil 3.3: Türkiye İklim Haritası

Tablo 3.1: Bazı meteorolojik Veriler

Ölçülen en yüksek sıcaklık	37.5 ˚C (27.07.1966),
Ölçülen en düşük sıcaklık	28.7 ˚C (19.01.1964)
Ölçülen yıllık ortalama sıcaklık	9.0˚ C
Günlük ölçülen en yüksek yağış	60.2 mm/ m^2(07.10.1982)
Uzun yıllar ortalaması	385.0 mm/ m^2
Ölçülen en yüksek kar kalınlığı	120.0 cm (05.12.1994)
Ölçülen en yüksek rüzgar hızı	115.9 km/saat (21.05.1991)
Hakim rüzgar yönü	Doğu
Ortalama güneşlenme süresi	7.3 saat/gün

Doğu Anadolu Yüksek yaylalarının karla örtülü olması ve Van ilinde açık gün sayısının az (yıllık 120 gün) olması sıcaklık değerlerini düşürmektedir. İlkbahar ve yaz aylarında sıcaklıklarda görülen yükselmeler sağnak yağışlara sebep olmaktadır. Van ve çevresinde kış dönemi Ocak, Şubat ve Aralık aylarında görülmektedir. Van gölü çevresinde bulunan yerleşim yerlerinde kış mevsimi Doğu Anadolu bölgesinin diğer yerlerine nazaran daha yumuşak geçmektedir. Sıcaklıkların sıfır derecenin altında olduğu donlu günler sayısının yıllık ortalaması 132 gündür.

Sonbaharda ilk donların görüldüğün en erken tarih olarak 02.10.1944'tür. Ortalama başlama tarihi 2 Kasım'dır. İlkbahar geç donlarına ait tarih ise 05.04.1951 olarak kayıtlara geçmiştir. Geç dona ait en son tarih ise 06.06.1967 olup ilkbahar geç donlarının görülmesinin ortalaması 22 Nisan'dır.

Van ili güneşlenme bakımından farklı bir öneme sahiptir. Van ilinde yılın 120 günü güneşli, 200 günü bulutlu ve 45 günü kapalı olmasının yanı sıra güneşlenme şiddeti 381.87 cal/dak-cm^2 ile yurdumuzda Anamur'dan sonra en iyi güneş almaktaki sıralaması ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu özeliği ile yaz turizmi ve yenilenebilir enerji elde edilmesine uygun şartları taşımaktadır.

Van merkeze ait uzun yıllar yağış (Tablo 3.2) toplamı 386–420 mm arasında yer almakta olup Tablo 3.1'de görüldüğü gibi mevsimlere ve aylara göre hafif kuraklık görülmektedir. Van gölünde hesaplanan yıllık buharlaşma miktarı 692.3 mm'dir.

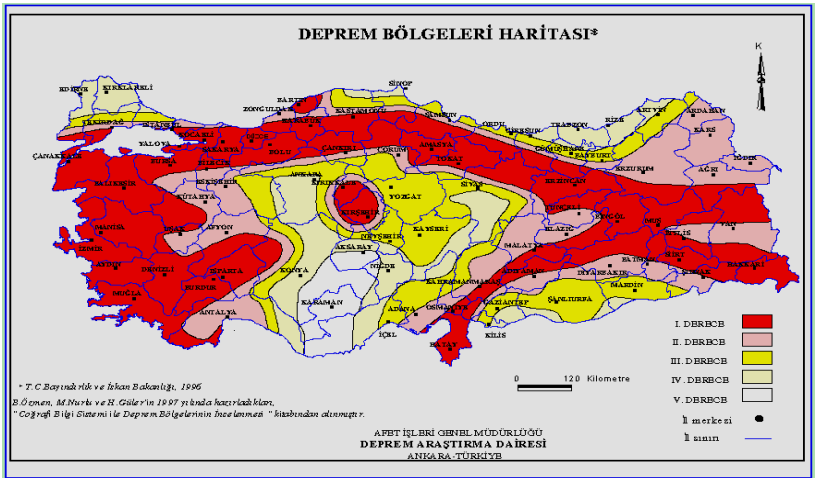
Tablo 3.2: Yıllık yağış değerleri

Yıllar	Yıllık Yağış Toplamı (mm)
1996	389.4
1997	380.7
1998	258.5
1999	322.3
2000	234.2
2001	355.2
2002	415.9
2003	429.8
2004	426.7
2005	337.9
2006	424.1
2007	349.4

Bu değerle yıllık bazda hafif kuraklık olarak değerlendirilmektedir. Kuraklık analizleri sonuçlarına bakıldığında aylık, üç aylık, altı aylık ve yıllık bazda Van ili hafif kurak olarak değerlendirilmektedir (Elkatmış, 2008).

3.6 Van Gölü'nün Deprem Tarihçesi

Van Gölü çevresindeki, Nemrut, Bozdağ, Tendürek Dağları genç volkanik dağlardır. Bu yüzyılda tutulan deprem kayıtlarında doğrudan gölalanı içinde oluşmuş önemli bir deprem bulunmamaktadır. Göl çevresinde ise 1903 Malazgirt ve 1976 Çaldıran depremleri kayda değer depremlerdir (Ambraseys, 1989). Van Gölü ve çevresi Türkiye Deprem Bölgeleri haritasında 1. ve 2. dereceden deprem bölgesi sınırları içerisindedir (Şekil 3. 4).



Şekil 3.4: Türkiye deprem haritası

1967'den 1987'ye kadar yavaş artan bir hızla göl su seviyesi yükselme dönemine girmiştir. 1987'den 1993'e kadar da hızlı artan bir gidiş izleyerek göl su seviyesinde belirgin bir yükselme (200–300 cm) saptanmıştır. Bu oynamalar sırasında yörede tektonik olarak büyük ölçüde herhangi bir deformasyon veya çökme verilerine rastlanmamıştır. Van gölündeki su seviye değişimlerinin genelde çok kısa dönemlerde meydana gelmesi deprem aktivitesi ile bir ilişkisinin olmadığı görüşünü kuvvetlendirmektedir (Barka ve Şaroğlu, 1995).

Göldeki su seviye yükselmesinin beklenen diğer bir etkisi de göl içinde ve yakın çevresindeki deprem aktivitesinin (küçük ve orta büyüklükte) artmasıdır. Bu tür sismik aktivite özellikle baraj göllerinin dolması sırasında veya sonrasında görülen en belirgin özelliklerden biridir (Simspon, 1994).

Türkiye'nin tektonik yapısı ve plaka hareketleri sonucu Doğu Anadolu Bölgesi'nde meydana gelen sıkışma şüphesiz Van Gölü'nü de etkiler. Su yükselmelerinin ve büyük barajların getirdiği ek yükler izostatik dengelerin bozulmasına neden olabilir (Türkeli, 1995).

3.7 Van Gölü'nün Hidrolojik Özellikleri

Van gölü, yüzey hidrolojisi itibariyle kapalı bir havza olan, yani yüzeysel akış suları herhangi bir denize ulaşmayan Van Kapalı Havzası'ndaki hidrolojik çevrimin en önemli elemanını oluşturmaktadır; hatta havzadaki hidrolojik sürekliliği sağlayan temel bileşendir (Avcı, 1995).

Bölgede yağışın büyük bir bölümü kar şeklinde düşmektedir. Bu nedenle küçük derelerde bile yıl boyunca süren yüzey akışları tespit edilir. Böylece alüvyonlardaki yeraltı suyu potansiyeli oldukça iyidir. Göle katılan akarsuların debisi, göle düşen yağış, göl siltasyon ve buharlaşma olayları da doğrudan göl seviyesini kontrol etmektedir. Yapılan hesaplarda su kaybını önleyen ve doğrudan ölçülemeyen bir su bütçesi fazlası tespit edilmiştir. Bu fazlalık tektonik göllerde bulunan tektonik su kaynakları ile açıklanmaktadır.

Dışa akışı bulunmayan Van gölünün suyu tuzludur. Göl suları ‰ 22 oranında tuz içerir. Bu tuzlu sularda yüksek miktarda soda bulunmasının nedeni, gölü besleyen akarsuların geçtiği volkanik araziyi oluşturan kayaçlarda sodyum bileşiklerine rastlanmasıdır. Bu bileşiklerin akarsular tarafından taşınması sonucunda oluşan yoğunlaşma göl sularının sodalı olmasına yol açar (TMMOB, 1996).

Van gölü volkanik yapıda olduğu için göl suyu sodyum bakımından zengindir. Suda ayrıca bol miktarda bor bulunmaktadır. Kapalı havza olması nedeniyle sodyum miktarının zamanla artış gösterdiği düşünülmektedir.

Tablo 3.3: Van gölü suyunun bileşenleri

Suyun bileşenleri	Konsantrasyon (g/l)
Sodyum Karbonat	7,4 (g/l)
Sodyum Klorür	9,5 (g/l)
Sodyum Sülfat	3,5 (g/l)
Sodyum Bikarbonat	0,9 (g/l)
Magnezyum Karbonat	0,4 (g/l)
Potasyum Klorür	0,4 (g/l)
Kalsiyum Karbonat	0,02 (g/l)

3.8 Van Gölü Seviye Değişimleri

Van gölünde gözlenen su seviyesi değişimleri, kapalı havza olmasıyla ilgilidir. Gölün su seviyesi deniz seviyesinden yaklaşık 1646 m yüksekliktedir. Gölün su toplama alanı 12.000 km^2'dir.

15.000 yıl önce son buzul devrinde gölün seviyesi bugünküne göre 70 m daha yüksek iken 12.000 yıl önce başlayan ısınmayı izleyen kuraklık döneminde gölün su seviyesi hızlı bir şekilde 350 m kadar düşmüştür. Yaklaşık 6.000 yıl önce iklimin ılımanlaşması ile göl seviyesi önce hızlı, daha sonra yavaş bir yükselme ile bugünkü durumuna erişmiştir (Barka ve Şaroğlu, 1955).

Su seviyesinde yaşanan değişimler +74 m ile - 350 m arasında gerçekleşmiştir. Van gölü geçmişte iki su seviye değişim evresi yaşamıştır. Birincisi 18.000 yıl önce Koyluca ve civarında serin iklim şartlarında 1720 m düzlemi, ikincisi günümüzden 7500–4500 yıl önce tektonik olaylar nedeniyle Tatvan çukurunun 200 m derinlik çizgisi altına düşmesi sonucu 1380 m'ye indiği seviyedir. Gençlik dönemindeki bu iki farklı seviye oynamalarının dışında, Van Gölü olgunluk döneminde nispeten nemli iklim özelliklerinin kontrolü altında su seviyesi 1652 m seviyesine kadar yükselmiştir (Degens ve Kurtman, 1978).

1968–1969 yıllarında göl su seviyesinde 1 m'yi aşan yükselmeler olmuş ve seviye geriye çekilmemiştir (Tablo 3.4). 1988–1989 yıllarında yine 1.5 m'yi bulan yükselme tespit edilmiştir. Su seviye artışlarıyla gelen taşkın suları sodalı ve tuzlu olduğundan

geçtiği topraklar üzerinde olumsuz etki yapmakta ve verim düşmektedir. Göl su seviyesi sadece mevsimsel etkilere bağlı olarak yıllık ortalama 30–60 cm'lik dalgalanmalar göstermiştir (Avcı, 1995).

Tablo 3.4: Van gölü su seviyesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Seviye durumu
1944–1949	yükselme
1949–1954	düşme
1954–1960	yükselme
1960–1966	düşme
1966–1968	yükselme
1969	ani yükselme
1969–1970	yükselme
1979–1972	düşme
1972–1987	normal seviye
1988	ani yükselme
1988–1992	normal seviye
1993	yükselme
1994	yükselme
1995	yükselme

Van gölünün yıl içindeki seviyesi Ekim, Kasım, Aralık aylarında minimum iken, Mayıs, Haziran, Temmuz aylarında maksimuma ulaşmaktadır.

4. ZAMAN SERİSİ MODELLERİ

4.1 Zaman Serisi Modelleri

Zaman serileri ile ilgili ilk çalışmalarda Hazen (1914) ve Sudler (1927) nehir akış serisi üzerinde olasılık teorisini ve verilerin kullanılabilirliğini göstermiştir. Aswan baraj projesinde Hurst (1951) Nil nehrine ait uzun dönem akış kayıtlarını ve jeofiziksel zaman serileri üzerinde incelemelerde bulunmuştur. Bu ilk deneysel çalışmaların ardından Barner (1954) normal rastgele sayılar kullanarak sentetik akarsu akış serileri türetme fikrini ortaya atmıştır. Stokastik modelleme üzerine çalışmalar, 1960'lı yılların başında Thomas ve Fiering (1962) ile Yevjevich (1963)'in yıllık ve dönemsel akarsu akış serilerine otoregresif modeller tanımlamaları ile başlamıştır. Ardından bu konuda çok sayıda çalışma yapılmıştır. (Matalas, 1967; Mandelbrot ve Wallis, 1968; Carlos ve diğ. 1970; O'Connell, 1971; Matalas ve Wallis, 1971; Mejia, 1971; Chui, 1972; Rodiguez ve diğ., 1972; Weiss, 1973; Yakowitz, 1973; Valencia ve Schaake, 1973; Klemes, 1974; Jackson, 1975a,b,; Lawrance ve Kottegoda, 1977; Kelman, 1977; Lettenmaier ve Burgers, 1977; McLeod ve Hipel, 1978; Boes ve Salas, 1978).

Ancak ortaya atılan bu modellerin çoğunun geçerliliği hala tartışılmaktadır. Model kurulması için kullanılan parametrelerin çokluğu ve karmaşıklığı, fiziksel dayanaklarının yetersizliği, sentetik seri türetmede sınırlı kalması ve elde edilen sonuçların kısa ve uzun vadede güvenilir olmayışı gibi hususlarda yeterliliklerini ispat edememektedir.

Hidrolojik zaman serileri için kesin, birebir örtüşen matematiksel bir modelin kurulması aslında olanaksızdır. Ortaya atılan popüler tüm modeller yaklaşık değerler verebilmektedir. Elde bulunan sınırlı miktar ve kalitedeki veri üzerinden tahminler yapılmaya çalışılmaktadır.

Zaman serisi modelleri; sentetik hidrolojik zaman serileri türetmek veya gelecekteki hidrolojik serilerin tahmini amacı ile kullanılmaktadır. Sentetik olarak türetilen seriler, hidrolojik veri tahmini, sulama sistemleri için su kaynağının yeterlilik riskinin tespiti, hidroelektrik kapasitenin tahmini, yerleşim alanları ile ilgili planlama çalışmalarında kullanılabilmektir. Hidrolojik seri tahminlerindeki amaç ise kuraklık veya taşkın gibi hidrolojik olayların yakın gelecekte gözlenip gözlenmediğini öngörerek planlama yapılabilmesidir.

Yeryüzünde gerçekleşen tüm hidrolojik olaylar, zamanla sürekli olarak değişim gösterir. Bu yüzden hidrolojik süreç genellikle zaman serileri olarak ele alınır (Alıcıoğlu, 1976). Bir rastgele değişkenin aldığı değerlerinin belirli bir zaman süresince belli aralıklar ile kaydedilmesi sonucu zaman serileri elde edilir (x_1, $x_{2,\ ...,}$ $x_{t,\ .....}$). Ardışık andaki değerler arasında istatistik anlamda bir bağımlılık bulunması halinde x_t bir stokastik süreç oluşturur. Bir stokastik sürecin tam olarak belirlenebilmesi için sürecin rastgele bileşenin olasılık dağılımı ve stokastik bağımlılığı bilinmelidir (Bayazıt, 1996).

Olasılık dağılımı genellikle zaman içinde değişim gösterir. Fakat dağılımın zamanla değişmemesi halinde sürecin rastgele değişkeninin incelemesi çok daha kolay olur. Ayrıca rastgele değişkenin ardışık gözlemlerde alacağı değerlerin arasındaki ilişkinin (bağımlılığın) da bilinmesi gerekir.

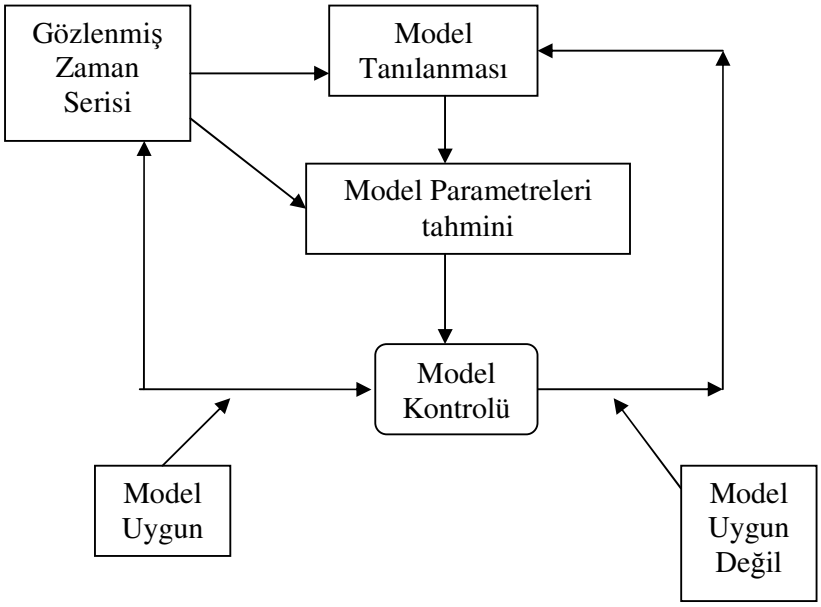
Stokastik süreçlerin modellerinin kurulmasındaki amaç bu modeller yardımıyla söz konusu değişken için sentetik seriler türetilmesidir. Stokastik süreçlere hidrolojide birçok örnek gösterilebilir; bir akarsuyun günlük, haftalık, aylık, yıllık akışları, askı maddesi veya bir gölün aylık seviyeleri gibi (Bayazıt,1981). Zaman serisine ait eldeki verilerle aynı istatistik özelliklere sahip olan fakat değişik dizilişlerde çok sayıda seri türetmek yoluyla izlenen olay hakkında, oluşabilecek farklı durumlar için çözümler geliştirebilmek veya gelecekte bu olayla ilgili etkin tahminlerde bulunmak mümkündür (Box-Jenkins, 1970). Böylelikle söz konusu sistemin davranışı sadece eldeki veriye göre deterministik anlamda değil, sentetik seriler kullanılarak istatistik anlamda da belirlenmiş olur (Bayazıt,1981).

Stokastik süreç olarak x_t olarak gösterilmekte ve x rastgele değişkenler kümesinin bir elemanı olmaktadır. t zamanı, x ise t' inci gözleme karşı gelen ölçüm değerini

göstermektedir. Stokastik süreçleri incelerken iç bağımlılığı belirledikten sonra bu ilişkiyi ifade eden bir modelin kurulması gerekmektedir (Akar, 2000).

Modeli kurarken daima en basit (parametre sayısı en az olan) olanı tercih etmek uygundur. Bunu yaparken de modelin süreci yeterli derecede temsil ettiğinden emin olmak gerekir. Parametre sayısı arttıkça bunların eldeki örnekten hesabındaki güvenilirlik de azalır. Genellikle zaman serilerinin modellenmesinde izlenecek yol şu şekildedir. (Şekil 4.1).

1. Model tipinin seçilmesi
2. Model şeklinin tanımlanması
3. Model parametrelerinin tahmini (kalibraj)
4. Modelin kontrolü

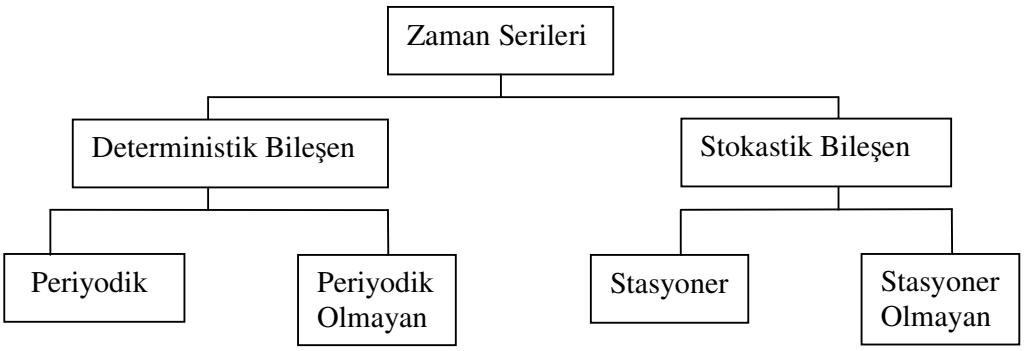


Şekil 4.1: Model Tespit Şeması

Çalışmanın ilk aşamasında bilinen model tiplerinden biri seçilir. Bunun için ayrıca seçilen modelin mertebesinin belirlenmesi gerekmektedir. Modelin özellikleri belirlendikten sonra, modelin parametreleri eldeki veri kullanılarak hesaplanır. Modele ait bütün bilgiler elde edildikten sonra bunların eldeki veriyi kabul edilebilir mertebede temsil edip etmediği, istatistikte kullanılan testler yardımıyla kontrol edilir. Yeterli görülmediği takdirde tekrar model seçimi yapılarak işlemler tekrar edilir (Şekil 4. 1).

Doğru sonuçlara ulaşabilmek için zaman serisinin hangi bileşenlerden oluştuğunun iyice belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.2' de gösterildiği gibi genel olarak zaman serilerini iki temel bileşene ayırmak mümkündür (Kottegoda, 1980).

1. Deterministik Bileşen
2. Stokastik Bileşen



Şekil 4.2: Zaman serileri şeması

4.1.1 Deterministik bileşen

Bir sürecin deterministik olması, süreci meydana getiren değişkenin oluşumunda olasılık kanunları değil matematiksel bir bağıntının var olduğu kabulüne dayanmaktadır (Bulu, 1976).

Deterministik bileşen periyodik ve periyodik olmayan olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Periyodik olmayan grupta en çok rastlanan eğilim (trend) bileşenidir. Eğilim, gözlem süresi içinde sürekli olarak artan veya azalan bir şekilde sürecin değişiklik göstermesidir. Eğilimden farklı olarak, değişim ani oluyorsa bu takdirde sıçrama adını alır. Çevirme yapıları, depremler, toprak kaymaları sıçramaya neden olan doğal ya da insan kaynaklı nedenlere örnek olarak gösterilebilir (Akar, 2000).

Periyodik olan grubun belirleyici özelliği rastgele değişkenin aldığı değerlerin sabit bir zaman aralığında tekrarlanmasıdır. Eğer süreç içinde $x_{t+\tau} = x_t$ ve bütün t' ler için bu ifade sağlanıyorsa, τ periyod olmak üzere, burada tam bir periyodiklik söz konusudur.

Yeryüzünde gerçekleşen tüm hidrolojik süreçlerde gözlenen periyodiklik yerkürenin güneş etrafındaki periyodik hareketinden kaynaklanmaktadır. Hidrolojik süreçlerde eğilim genellikle doğal etkiler veya insan etkisiyle ortaya çıkar (Akar, 2000).

Doğada tam olarak deterministik özellikte hidrolojik süreç yoktur. Bütün hidrolojik süreçler rastgele özellik gösterir, yani stokastik yapıdadır. Ardışık anlardaki x_t ve x_{t+1} değerleri arasında istatistik olarak bir bağımlılık bulunması halinde x_t bir stokastik süreç oluşturur (Alıcıoğlu, 1976).

4.1.2 Stokastik bileşen

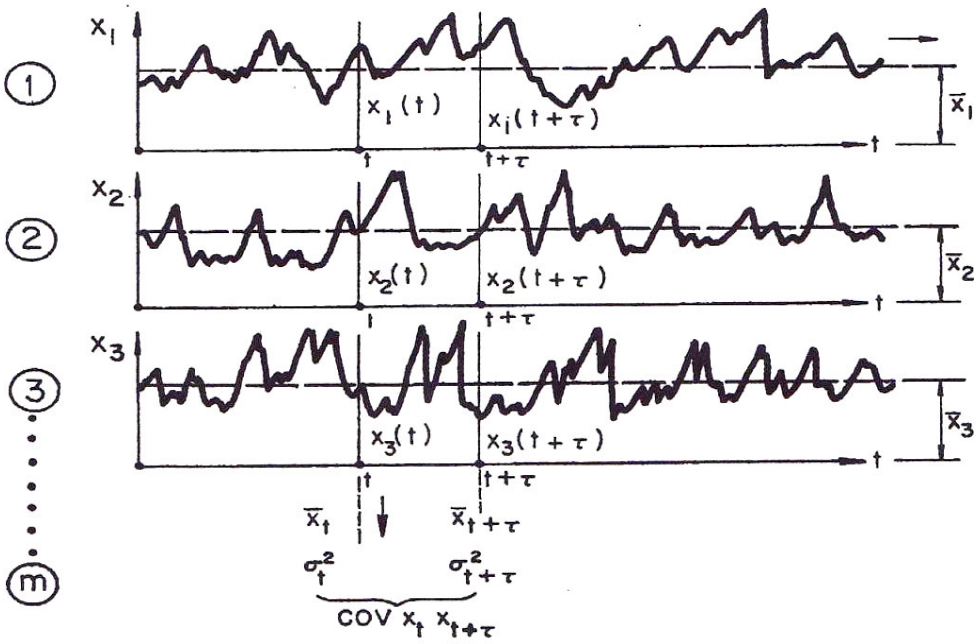
Stokastik bileşenin içinde düzenli olmayan salınımlar ve rastgelelik etkileri görülmekte ve bu etkiler hesaplarda kesin bir şekilde ifade edilememektedir. Bu nedenle stokastik bileşenin incelenmesinde olasılık yasalarından yararlanmak gerekir. Ancak istatistik kuralarını uygulayabilmek için veri homojen olmalıdır. Bu da verinin istatistik parametrelerinin zamandan bağımsız olması anlamını taşır. Akarsulardaki günlük, haftalık, aylık, yıllık akımlar veya askı maddesi debisi, bir gölün su seviyesi değişimleri stokastik süreçlere ait örneklerdir. Buradaki stokastik süreç x_t olarak gösterilmekte ve x rastgele değişkenler kümesinin bir elemanı olmaktadır. Böylece x_t, t'inci gözleme karşı gelen ölçüm değerini göstermektedir. Stokastik bir süreci incelerken iç bağımlılığı belirledikten sonra bu ilişkiyi ifade eden bir modelin de kurulması gerekmektedir.

Stokastik süreç niteliğindeki bir zaman serisinden alınan bir örneğin istatistik analizinde x değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu ve parametrelerinin belirlenmesi yeterli olmaz. Sürecin iç bağımlılığının da incelenmesi gerekir. Bir zaman serisinde ardışık anlardaki değerlerin arasındaki iç bağımlılık otokorelasyon katsayıları ile ölçülebilir (Bayazıt,1996).

Stokastik süreçlerle ilgili önemli bir kavram stasyonerlik kavramıdır. Stokastik süreçler stasyoner ve stasyoner olmayan süreçler olarak ikiye ayrılır.

Stokastik bir sürecin oluşturduğu veri toplumundan N adet elemanlı küçük bir parçası (örnek) ele alındığında buna ait bir olasılık dağılımını ve dağılım parametrelerini hesaplamak mümkündür. Toplum içinden farklı dönemlerden alınan örneklerin

dağılımları ve istatistik parametreleri örnekten örneğe değişmiyorsa böyle bir sürece stasyoner süreç denir. Stasyonerliğin kuvvetli olması zamanla değişmeyen parametre sayısıyla doğru orantılıdır. Stasyonerliğin mertebesini belirlemek için elimizde bulunan bir zaman serisinden yararlanabiliriz. Bunun için önce serinin içinden aynı noktada, aynı şartlarda, ancak farklı zamanlarda başlayan ölçümlerin oluşturduğu çok sayıda küme (ensemble) meydana getirdiğimizi varsayalım (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Süreçten küme elde edilmesi (Bayazıt, 1981)

Kümedeki i = 1, 2, 3, …, m olarak numaralandırılan her bir örnekte zaman başlangıcından itibaren aynı t anında ölçülmüş olan $x_i\ (t)$ değerlerinin kullanılmasıyla küme için ortalamalar ve kovaryanslar tanımlanmak istenirse

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i(t)}{m} \qquad \textbf{(4.1)}$$

$$Cov(x_t, x_{t+\tau}) = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i(t)x_i(t+\tau)}{m} - \overline{x}\overline{x}_{t+\tau} \qquad \textbf{(4.2)}$$

yazılabilir. Kümedeki *m* örnek sayısının sonsuza gitmesi durumunda *t*'nin aldığı her değer için X_t bütün serinin ortalaması μ' ye yakınsıyorsa bu seriye birinci mertebeden stasyoner veya ortalaması stasyoner denir. Yine örnek sayısının sonsuza gitmesi durumunda *t*'nin her değeri için $Cov\ (x_t\ ,x_{t+\tau}\ ),\ \rho_\tau\ ,\ \sigma_x^2$ değerine yakınsıyorsa seriye kovaryansı stasyoner denir. Burada σ_x^2, x_t'nin tüm toplum varyansı ρ_τ, τ mertebeden toplum otokorelasyon katsayısıdır. $\tau = 0$ olduğunda serinin varyansı da stasyoner olur. Hem ortalaması, hem de kovaryansı stasyoner olan seriye ikinci mertebeden stasyoner denir. İkinci mertebeden stasyoner serilerde, serinin ortalaması ve kovaryansı zamandan bağımsızdır. $x(t),\ x(t+\tau_1),\ x(t+\tau_2),\ \ldots$ arasındaki yüksek mertebeden (3., 4., … mertebeden) momentleri *m*'nin sonsuza gitmesi halinde *t*' nin aldığı her değer için aynı değere yakınsıyorlar ise seriye yüksek mertebeden stasyoner (geniş anlamda stasyoner) denir.

Uygulamada ikinci mertebeden stasyonerlik genellikle yeterli olmaktadır. Rastgele değişkenin dağılımı normal ise, bu takdirde ikinci mertebede stasyonerlik geniş anlamda stasyonerliği verir (Akar, 2000).

Stasyoner olmayan süreçlerde trend (gidiş) ve periyodik bileşenler bulunur. Stasyoner olmayan serilerin incelenmesi güç olduğundan seriler istatistik dönüşümlerle stasyoner hale getirilmeye çalışılır. Hidrolojide günlük, haftalık, aylık akışlar stasyoner değildir. Yıllık akışlar stasyoner olabilir (Alıcıoğlu, 1976).

Zaman serileriyle çalışmadaki esas amaç eldeki seriyle aynı istatistik özelliklere sahip farklı dizilişte çok sayıda seri türetmektir. Bunun için sürecin bileşenlerini matematiksel olarak ifade edip süreçten ayırmak gerekmektedir. Zaman serileriyle elde bulunan sürecin incelenmesi sırasında sürece katılan çok çeşitli etken bulunmasına karşın genellikle bunlardan en fazla görülen bileşenler cinsinden ifade edilmek istenirse;

$$X_t = T_t + P_t + \xi_t \qquad \textbf{(4. 3)}$$

Bu denklemde $T_t + P_t$ eğilim ve periyodik bileşeni yani model içindeki deterministik kısmı göstermekte, ξ_t ise stokastik kısmı temsil etmektedir. Buradaki *t* indisi genel anlamda zamanı gösterdiği gibi, eğer seri periyodiklik içeriyorsa (ölçümler yıllık değil de aylık, günlük vb. ise) bu takdirde $t = v.\ \tau$ şeklinde de ifade

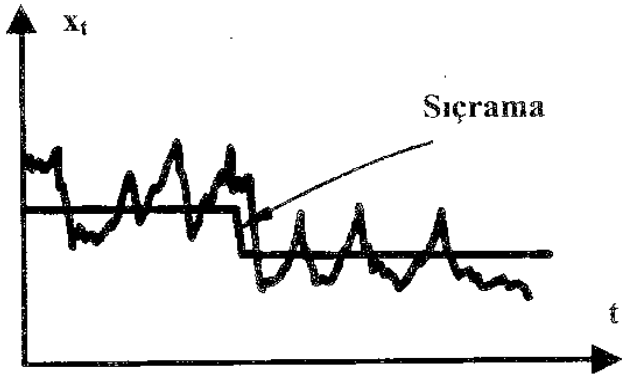
edilebilir. Burada esas periyotlar (örneğin yıl) v, periyotlar içindeki ardışık ölçümler (örneğin ay) ise τ ile gösterilmektedir (Akar, 2000).

4.2 Stokastik Süreçlerin Bileşenleri

4.2.1 Eğilim (trend) bileşeni

Sürecin istatistik parametreleri zaman içinde sürekli olarak artar veya azalır. Bu değişim sürecin ortalamasında olduğu gibi diğer parametrelerinde de görülebilir. İstatistik parametrelerdeki bu gibi değişikliklere eğilim (trend) denir. Süreçteki değişiklikler tedricen veya ani olabilir. Değişiklik ani ise buna sıçrama (Şekil 4. 4) denir (Akar, 2000).

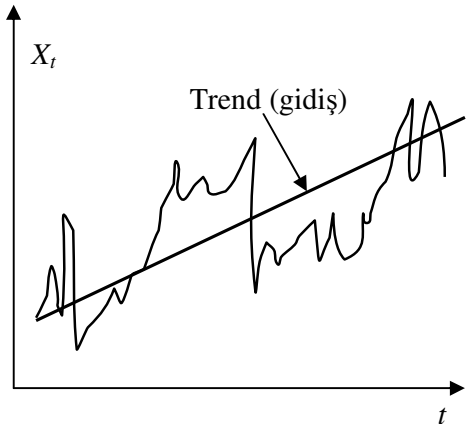
Süreçte meydana gelen sıçramalar doğal ya da insan kaynaklı değişiklikler sonucu olur. Toprak kaymaları, akarsu üzerine baraj yapılması örnek gösterilebilir. Kısa olan hidrolojik serilerde gidiş ve sıçrama bileşenlerinin varlığının istatistik yöntemlerle belirlenmesi genellikle zor olduğundan fiziksel nedenleri göz önünde tutmak gerekir. Sıçrama; ortalamada, varyansta, iç bağımlılıkta, çarpıklık katsayısında ve diğer parametrelerde görülebilir.



Şekil 4.4: Sıçrama bileşeni (Jump)

Eğilim (trend) genellikle doğal etkiler ya da insan etkisi sonucu homojenliğin bozulması ile ortaya çıkar. Bir sürecin eğilim (trend) bileşeni bulunduğu saptanırsa bu bileşen genellikle polinom şeklinde bir denklem ile ifade edilir. Bu polinomun tipi

mümkün olduğu kadar basit (örneğin doğrusal) seçilmelidir (Şekil 4.5). Parametre sayısının artışı güvenilirlikle ters orantılıdır.



Şekil 4.5: Eğilimi tespit edilmiş süreç

$$y_t = ax + b \quad x = 1,2,3,\ldots\ldots,t \qquad \textbf{(4.4)}$$

Serinin içinde bulunan eğilim (trend), polinom tam olarak ifade edildiğinde esas süreçten çıkarılarak süreç homojen hale getirilir. Homojen olmayan ve deterministik olarak bulunabilen bu değişken bileşenler hesaplanarak seriden çıkartılmalıdır. Çünkü bu bileşen serinin istatistik parametrelerini (ortalama, varyans, bağımlılık vs.) değiştirmektedir. Ancak bu bileşenlerin saptanabilmesi için uzun süreli verilerin elde edilmiş olması gerekir. Gidiş bileşeninin bulunmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Polinom geçirme (en küçük kareler) ve hareketli ortalama bunlardan ikisidir.

4.2.2 Periyodik bileşen

Zaman serilerinin diğer bir deterministik bileşeni olan periyodiklik dünyanın güneş etrafındaki devrinden kaynaklanan doğal olaylardaki tekrarlılığın yansımasını ifade etmektedir. Dünya güneş etrafındaki turunu bir yılda tamamladığından buradaki hakim periyod bir yıl olmaktadır. Dünyanın güneş etrafındaki dönüşü sırasında izlediği yolun yataydaki izdüşümünün bir elips olduğu bilinmektedir. Dünya bu elips üzerinde herhangi bir noktada, periyod bir yıl olduğundan, yılda yalnız bir defa bulunacaktır. Ancak bulunduğu konumları özelliklerine göre dört kısma ayırmak

mümkündür. Bu dört belirgin özelliğe sahip zaman dilimleri mevsimleri oluşturur. Ancak dünya kendi etrafında da sürdürdüğü dönüşünü yatayla belirli bir açıyla yaptığından kuzey yarım kürede iklimin yaklaşık üç ay boyunca sıcak olması güney yarım kürede soğuk olması anlamına gelir. Dolayısıyla, yılın dörde bölünmesi mevsimleri, dünyanın kendi etrafında her bir dönüşü ise günleri oluşturmuştur. Özetle bir yılı mevsim, ay ve gün olarak alt periyodik bölümlere ayırmak mümkündür (Akar, 2000).

Herhangi bir bölgedeki yağışların oluşumunda iklimin ve bitki örtüsünün önemli etkenler olduğu bilinmektedir. Yağış havza özelliklerine bağlı olarak bir sistem dahilinde akışa dönüştüğünden iklimdeki değişiklik, akımdaki değişime yansır. Akım ve bununla yakın ilişkisi olan askı maddesi debisinin zamanla değişiminin de bu nedenle periyodiklik içermesi beklenir (Akar, 2000).

Bu nedenlerle yeryüzünde gözlenen herhangi bir hidrolojik süreç bileşenlerine indirgenmek istendiğinde öncelikle mevcut eğilimi (trend) tespit edilir. Trend doğrusal polinom yardımıyla sayısallaştırılır. Eğiliminden arındırılmış olan süreç homojen kabul edilir.

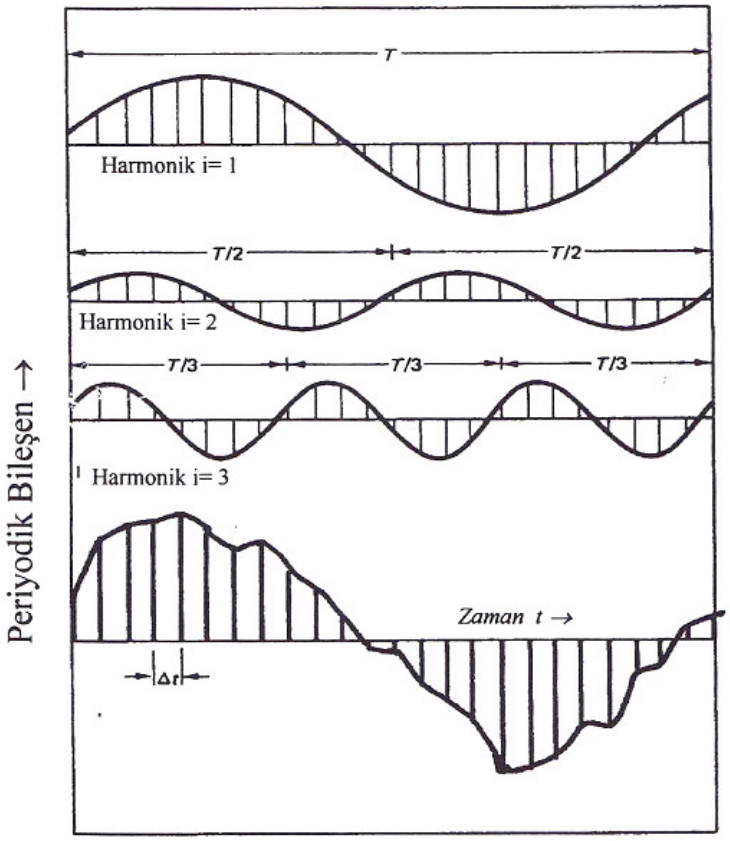
Homojen hale getirilen seri artık sadece periyodik ve stokastik bileşenlere sahiptir. Dolayısıyla periyodik ve stokastik olan süreci;

$$y_{v,t} = \mu_t + \sigma_t . \xi_{v,t} \qquad \textbf{(4.5)}$$

şeklinde tanımlamak uygun olmaktadır. Buradaki μ_t ve σ_t periyodik bileşene ait parametreler, $\xi_{v,t}$ stokastik bileşendir. Periyodik bileşen Şekil 4.6'da görüldüğü gibi iki biçimde bulunabilir. α_t sürece ait herhangi bir parametre olmak üzere, basit periyodik yapıda veya karmaşık periyodik bir yapıda bulunabilmektedir.

$$\alpha_t = CSin(\frac{2\pi}{T}\tau + \theta) \qquad \textbf{(4.6)}$$

(4.6) ifadesi basit bir periyodik fonksiyon olup, T periyodu, θ faz açısını, C sinüsoidal bileşenin genliğini göstermektedir. Şekil 4.6' da sürecin herhangi bir parametresindeki periyodikliğin basit periyodik fonksiyona uyması durumunda parametrenin zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 4.6: Periyodik bileşen ve alt harmonikler

Hidrolojik süreçlerde periyodiklik çoğu zaman karmaşık bir yapıda ortaya çıkmaktadır. Karmaşık periyodik fonksiyonda ise frekansları *1/ T* nin katları olan harmonikler anlam kazanmaktadır. Alt harmoniklerin olaya etkisi uygulamalı matematikte çok sık kullanılan, karmaşık fonksiyonların seri açılımları yöntemiyle ifade edilmektedir. Bu alanda Fourier'nin vermiş olduğu yöntem çok sık uygulama bulmaktadır.

Karmaşık yapıdaki periyodik bileşen için α_t sürecin herhangi bir parametresi, $\bar{a}$ parametrenin genel ortalaması ve i göz önüne alınınca harmonik sayısı m olmak üzere,

$$a_t = \bar{a} + \sum_{i=1}^{m} \left(A_i \cos \frac{2\pi i}{T} \tau + B_i \sin \frac{2\pi i}{T} \tau \right) \qquad \textbf{(4.7)}$$

veya

$$a_t = \overline{a} + \sum_{i=1}^{m}\left(C_i \cos\frac{2\pi i}{T}\tau + \theta_i \right) \qquad \textbf{(4.8)}$$

şeklinde ifade edilir. Bu formüllerde harmonik sayının sınır değeri sonsuzdur. Ancak pratikte *i* için alınabilecek *n* büyük değer, *T* periyodunun çift sayı olması halinde *m = T/2, T* nin tek sayı olması durumunda *m = (T-1)/2* olmaktadır. *T* periyodu aylık değerlerle çalışıyorsa 12, günlük değerlerle çalışıyorsa 365 olarak alınır. Bu ifadelerde C_i genliği ve θ_i faz açısını göstermektedir.

$$C_i^2 = A_i^2 + B_i^2 \qquad , \quad \theta_i = arctg\left(-\frac{B_i}{A_i} \right) \qquad \textbf{(4.9)}$$

(4.7) – (4.9) denklemlerindeki A_i ve B_i Fourier katsayıları olarak adlandırılan katsayılar eldeki örnek seriden hesaplanır. Homojen bir seri için seriye ait ortalama ve standart sapma;

$$\overline{\alpha}_\tau = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\alpha_{i,\tau} \qquad \textbf{(4.10)}$$

$$S_\tau = \left(\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\alpha_{i,\pi} - \overline{\alpha}_\tau\right)^2 \right)^{1/2} \qquad \textbf{(4.11)}$$

ile hesaplanır. Mevcut seri normal dağılıma uyuyorsa genellikle ortalama ve standart sapma için Fourier serisi uygulamak yeterli olmaktadır. Fourier serisi uygulayacağımız parametrenin istatistiği a_τ olmak üzere katsayıları;

$$a_\tau = \left(\alpha_i \tau - \overline{\alpha}\right) \qquad \textbf{(4.12)}$$

$$A_i = \frac{2}{nT}\sum_{j=1}^{n}\sum_{\tau=1}^{m}\left(\alpha_i \tau - \overline{\alpha}\right)\left(\cos\frac{2\pi i \tau}{T} \right) \qquad \textbf{(4.13)}$$

$$B_i = \frac{2}{nT}\sum_{j=1}^{n}\sum_{\tau=1}^{m}\left(\alpha_i \tau - \overline{\alpha}\right)\left(\sin\frac{2\pi i \tau}{T} \right) \qquad \textbf{(4.14)}$$

ile belirlenebilir. Fourier katsayıları belirlendikten sonra (4.7) formülünde yerine konur. Ancak pratikte *T/2* sayıda harmonikle çalışmak gereksizdir. Örneğin, günlük değerlerle çalışıldığında $m = (365 - 1)/2 = 182$ adet harmonik hesaplamak yeterlidir. Bu sayı aylık veriler için 6'dır. Parametrelere Fourier fonksiyonu uydurmaktaki amaç serinin periyodik kısmını ifade etmektir.

Ancak fonksiyondaki bütün harmonikler kullanıldığında $\alpha_t \approx a_t$ olmakta ve süreç tamamen periyodik olarak ifade edilmektedir. Homojen hale getirilmiş serinin hem periyodik hem de stokastik karakterde olduğu düşünülecek olursa stokastik bileşen burada olaya katılmamış olur. Ancak harmoniklerin tamamı hesaba katılmadığında sürecin bir kısmı da stokastik bileşen tarafından açıklanmış olur. Bu aşamadan sonra kaç adet harmoniğin sürecin periyodikliğini yeterli derecede temsil edeceğini belirlemek gerekmektedir. Günlük değerlerle çalışıldığında 3 – 4 harmonik alınması uygun olmaktadır. Bu yeter derecedeki harmoniğe anlamlı harmonik denmektedir.

Anlamlı harmoniğin belirlenmesinde birkaç yöntem bulunmakla birlikte uygulamada genellikle grafik yöntem (periyodogram) kullanılmaktadır (Şekil 4.7). Bu yönteme göre a_τ parametresinin varyansının *i*'inci harmonik tarafından açıklanan miktarı,

$$Var(h_i) = \frac{C_i^2}{2} = \frac{A_i^2 + B_i^2}{2} \qquad \textbf{(4.15)}$$

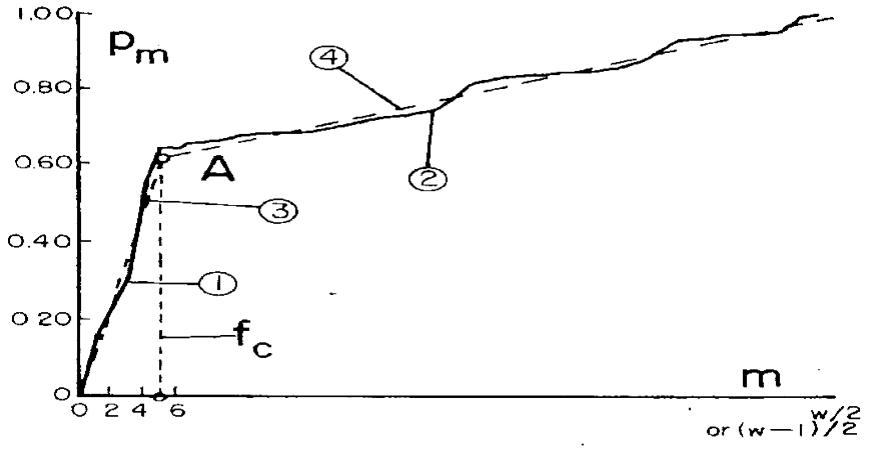
ve (a_τ) parametresinin örnekten hesaplanan varyansı da, Var (a_τ) olmak üzere P_m değerleri

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^{m} Var(h_i)}{Var(a_\tau)} \qquad \textbf{(4.16)}$$

ile verilir. (4.15) ifadesindeki C_i^2' nin *i*' inci harmoniğe karşı geldiği, (4.15) paydaki terimin a_τ parametresinin kümülatif varyansını verdiği görülmektedir. Burada *i*' nin ilk değerlerinin toplam varyanstaki oranları oldukça fazladır. (4.16) ifadesi günlük değerler için $m = 6 - 12$ ve aylık değerler için $m = 6$ alınarak P_m' ler hesaplanır. *m*' in aldığı her değer için $P_m - m$ çiftleri, *m* yatay eksende olmak üzere bir grafiğe aktarılır. Bu grafiğe periyodogram adı verilir (Şekil 4.9). P_m genellikle *m*' in ilk değerlerinde çok hızlı bir artış göstermekte ve ardından ani olarak eğimi

azalmaktadır. Eğimin ani olarak azaldığı noktanın yataydaki izdüşümü anlamlı harmonik sayısını verir.

Bu işlem genellikle ortalama ve standart sapma parametreleri için yapılmaktadır. Daha yüksek mertebeden momentlerde periyodiklik kalması olasılığına rağmen örnek serinin normal dağılıma uyması halinde bu iki parametrenin periyodikliğinin belirlenmesi yeterli olmaktadır.



Şekil 4.7: Periyodogram

Fourier serisi elde edildikten sonra veriden ayrılan değerlerin aylık ortalama ve standart sapmaları belirlenerek, periyodiklik süreçten standartlaştırma yolu ile ayrılır. Standartlaştırmada serinin bütün değerlerinden bulundukları aya ait ortalama değer çıkartılır ve aynı aya ait standart sapmaya bölünür.

$$y_t = \frac{y_{i,\tau} - \mu_\tau}{\sigma_\tau} \qquad \textbf{(4.17)}$$

$P_m = f(m)$ eğrisinin gidişi, stokastik bileşenin bağımlı ya da bağımsız olmasına göre değişiklik gösterir. Stokastik bileşenin bağımsız olması durumunda eğri daha keskin olarak eğim değiştirir. Stokastik bileşen bağımlı ise eğri daha yayvan biçimde eğim değiştirir, *m* değeri bu durumda yaklaşık olarak tespit edilebilir.

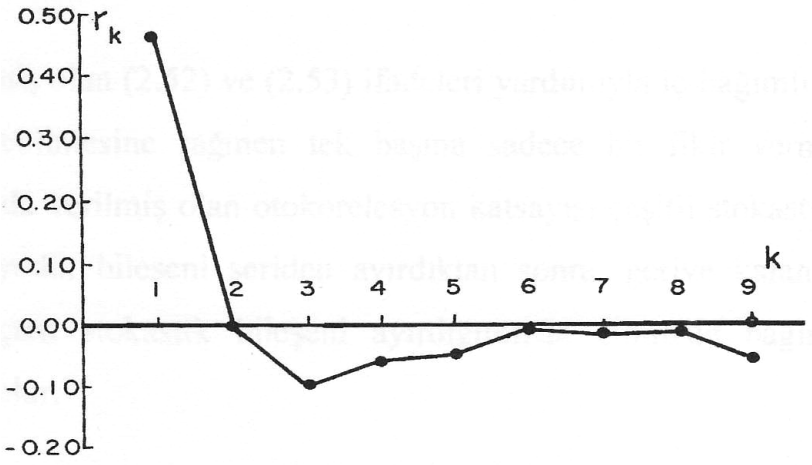
Bir zaman serisinin ardışık değerlerinin arasında görülen iç bağımlılık serinin stokastik olduğu anlamına gelir. Stokastik olan bir sürecin iç bağımlılığının

belirlenmesinde kullanımı en yaygın olan parametre otokorelasyon (serisel korelasyon) katsayısıdır. Korelasyon katsayısı iki değişkenin aralarındaki bağımlılığı ifade eder. Sürece ait x_t ve x_{t+k} ardışık elemanlarının aralarındaki bağımlılığın ifadesi olan otokorelasyon katsayısı;

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k}(x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^{N}(x_t - \bar{x})^2} \qquad \textbf{(4.18)}$$

şeklinde verilir. Burada $\bar{x}$ rastgele değişkenin örnekten (seriden) hesaplanan ortalaması, N yıl olarak toplam gözlem süresi, k adım aralığı (lag) veya mertebe anlamına gelmekte ve 0 ile N arasında değişmektedir. k adım aralığı x_t *ve* x_{t+k} gözlemlerinin aralarındaki mesafeyi gösterir.

Bu denklemde r_k toplumun otokorelasyon katsayısı olan ρ_k'nın örnekten elde edilen istatistiğini ifade etmektedir. (4.18) denklemindeki iç-bağımlılık serisel anlamda ifade edilmiş, sürecin periyodikliği göz önüne alınmamıştır. N elemanlı bir zaman serisinden hesaplanan r_k istatistiğinin k' nın artan değerlerine bağlı olarak değişimine otokorelogram ya da kısaca korelogram denir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Korelogram

Süreç periyodik ise bu hale ait otokorelasyon katsayısı her bir zaman aralığı τ için aşağıda verilmektedir.

$$r_{k,\tau} = \frac{\sum_{v=1}^{N} (x_t - \bar{x})(x_{v,\tau-k} - \bar{x})}{S_\tau S_{\tau-k}} \qquad \textbf{(4.19)}$$

Stasyoner bir süreç göz önüne alındığında, süreç bağımsız ise $k \neq 0$ için toplumun korelogramı sıfıra gitmektedir. Bağımsız süreçlerden çekilen bir örneğin korelogramın da bile sıfıra çok yakın olmakla birlikte onun etrafında salındığı görülmektedir. Bunun en temel nedeni örnekleme hatalarıdır. Sürecin bağımsızlığı r_k' nın örnekleme dağılımının 0'a yakınlığı ile ölçülür. r_k' nın örnekleme dağılımının standart sapması aşağıdaki gibidir (Akar, 2000).

$$\sigma_{r_k} = \frac{\sqrt{(N-k-1)}}{N} - k \cong \frac{1}{\sqrt{N}} \qquad \textbf{(4.20)}$$

ile belirlenir. Bağımsızlığın sınırlarını belirleyen en önemli etken rastgele değişkenin dağılımıdır. Dağılıma göre α anlamlılık düzeyine karşılık gelen standart değişken belirlenir ve σ_{r_k} ile çarpılır. Örneğin normal dağılım için % 5 anlamlılık düzeyinde standart normal değişken 1.96'dır. Buna göre sınırlar yaklaşık $\pm 1.96(1/N^{1/2})$ olarak verilir.

(4.19) ifadesi yardımıyla içbağımlılık bir katsayı olarak belirlenebilmesine rağmen tek başına sadece bir fikir vermek amacıyla kullanılır. Burada verilmiş olan otokorelasyon katsayısı çeşitli stokastik modellerde kullanılır. Periyodik bileşeni seriden ayırdıktan sonra geriye kalan homojen ve stasyoner süreçten stokastik bileşeni ayırdığımızda elimizde bağımsız rastgele bileşen kalmış olur (Akar, 2000).

4.3 Stokastik Modeller

Zaman serileri ile çalışma amacının gelecekle ilgili etkin tahminler yapabilmek olduğu önceden belirtilmişti. Elde bulunan gözlenmiş veriyi kullanarak bu veri ile aynı istatistik özelliklere sahip fakat farklı dizilişteki yeni seriler türetmek için doğru belirlenmiş modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla stokastik model teorisi geliştirilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Modeli oluşturan bileşenler ise geçmiş değerlerin bir karışımı olan deterministik kısım ve rastgele etkilerdir.

Stokastik modeller uygulanırken çeşitli yollar izlemek mümkündür. Süreç eğilim ve sıçrama gibi etkilerden arındırıldıktan sonra periyodik parametreleri koruyan bir model olarak geliştirilir veya ayrıca periyodiklikten de arındırıldıktan sonra stasyoner hale getirilerek modellenir. İki türlü modelleme yapmak ta mümkündür. Ancak orijinal seriye dönüş sırasında yapılan dönüşümlerin tersinin alınmasında sıranın önemli olduğu unutulmamalıdır.

İncelenmek istenen hidrolojik serinin ortalama ve standart sapmasındaki periyodiklik giderildikten sonra geri kalan stokastik bileşen; yaklaşık olarak ikinci mertebeden stasyoner, bağımlı ya da bağımsız zaman serisidir. Pratik olarak; bağımlılık 1, 2 ve 3. mertebeden lineer otoregresif model ile ifade edilir. Gerçek fiziksel stokastik modeller non-lineer olabilir, fakat pratikte lineer modeller tercih edilmektedir.

4.3.1 Otoregresif modeller

Bu modeller Box ve Jenkins (1970) ve Yevjevich (1972) tarafından geliştirilmiş ve yaygın kullanım bulmuştur. *p*' inci mertebeden otoregresif modelinde y_t'nin aldığı herhangi bir değer ondan önceki *p* adet değere bağlı olarak

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + ... + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \qquad \textbf{(4.21a)}$$

veya

$$y_t = \sum_{j=1}^{p} \phi_j y_{t-j} + \varepsilon_t \qquad \textbf{(4.21b)}$$

ile ifade edilmektedir. (4.21) ifadesinde y_t zamana bağlı değişken, ε_t ortalaması 0, varyansı σ_ε^2 olan normal dağılmış bağımsız rastgele değişkendir. $\phi_1,.....,\phi_p$ otoregresif katsayılarıdır.

Birinci mertebeden otoregresif –AR(1)- modeli

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \qquad \textbf{(4.22)}$$

$$\phi_1 = \rho_1 \qquad \textbf{(4.23)}$$

olmaktadır. AR(2) modelinin denklemi

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \varepsilon_t \quad \textbf{(4.24)}$$

şeklinde olup katsayıları;

$$\phi_1 = \frac{\rho_1 - \rho_1\rho_2}{1-\rho_1^2} \quad \textbf{(4.25a)}$$

$$\phi_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1-\rho_1^2} \quad \textbf{(4.25b)}$$

şeklinde hesaplanır. y_t sürecinin varyansı σ^2 ile ε_t bağımsız rastgele değişkeninin varyansı σ_ε^2 arasındaki ilişki

$$\sigma_\varepsilon^2 = 1 - R^2 \quad \textbf{(4.26a)}$$

$$R^2 = \frac{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1^2\rho_2}{1-\rho_1^2} \quad \textbf{(4.26b)}$$

şeklinde ifade edilir.

Burada R^2, AR(2) modelinde y rastgele değişkeninin iç bağımlılığını ifade eden (4.24) denkleminin sağındaki ilk iki terim tarafından açıklanan yüzdesidir.

4.3.2 Hareketli ortalama modeller

Hareketli ortalama (MA) modellerinde y_t değişkeni belirli sayıda ε_t bağımsız değişkeninin ağırlıklı ortalaması olarak ifade edilmektedir. Sürecin varyansı da σ^2'dir. Buna göre en basit hareketli ortalama modeli MA(1)

$$y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad \textbf{(4.27)}$$

ile verilir. ε_t süreçteki bağımsız rastgele değişken olup ortalaması 0, varyansı σ_ε^2, dir. θ_1 modele ait regresyon katsayısıdır. Model

$$\theta_1^2 + \frac{1}{\rho_1^2} + 1 = 0 \qquad \textbf{(4.28a)}$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{1}{1-\theta_1^2} \qquad \textbf{(4.28b)}$$

denklemlerini sağlar.

Bu denklemler kullanılarak sürecin birinci mertebe otokorelasyon katsayısı ile model katsayıları arasındaki bağıntı belirlenmiş olur. Buradan θ_1' in hesaplanması mümkündür. Ancak modelin stasyonerlik şartını sağlaması için $|\theta_1| < 1$ olması gerekmektedir.

4.3.3 Otoregresif - hareketli ortalama modeller

Bazı durumlarda otoregresif modeller de hareketli ortalama modelleri de süreci tam olarak ifade edememektedir. Bu durumda Box ve Jenkins (1970) iki modelin karışımı olan bir modeli önermiştir. *p*' inci mertebeden otoregresif ve *q*' uncu mertebeden hareketli ortalama MA(q) modellerinin karışımı ARMA(p,q) modeli

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + ... + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - .... - \theta_q \varepsilon_{t-q} \qquad \textbf{(4.29)}$$

ile verilir. ARMA modellerinin otokorelasyon katsayıları ve model regresyon katsayıları arasındaki ilişki için ARMA(1,1) süreci

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \qquad \textbf{(4.30)}$$

şeklinde yazılır. Bu modelin ϕ_1 ,θ_1 parametreleri:

$$\rho_1 = \frac{(1-\phi_1\theta_1)(\phi_1 - \theta_1)}{1 + \theta_1^2 - 2\phi_1\theta_1} \qquad \textbf{(4.31a)}$$

$$\rho_2 = \phi_1 \rho_1 \qquad \textbf{(4.31b)}$$

ile elde edilir.

Buraya kadar verilmiş olan AR, MA ve ARMA modelleri sadece normal dağılıma uyan süreçler için geçerlidir. Bu tip modellerde sürecin rastgele değişkeninin doğrusal kombinezonları kullanılmakta ve bunların da yine normal dağıldığı bilinmektedir. Bu nedenle süreç modellenmeden dağılımı normal dağılıma uygun hale getirilmelidir. Mevcut süreçin çarpıklık katsayısı kontrol edilerek dağılımın uygun olup olmadığı belirlenir. Sürecin normal dağılıma getirilmesi için

$$y_t = \frac{x_t^{\lambda} - 1}{\lambda} \qquad \lambda \neq 0 \qquad \textbf{(4.32)}$$

Box ve Cox (1964) dönüşümü kullanılır.

Bu ifade $\lambda = 0$ için $y_t = \ln x_t$ halini alır ve bunun yardımıyla normal dağılmış süreç elde edilir. Burada x_t normal dağılmayan orijinal süreç, y_t normal dağılmış süreçtir. $\lambda = 0 \pm 0{,}5, \pm 1{,}0, \ldots,$ en çok kullanılan değerlerdir. Kolaylık açısından ilk olarak $\lambda = 0$ denenir. Türetilen serilerin ters dönüşümü de üstel dönüşüm olmaktadır. Bu dönüşüm yapılmadığı takdirde, model kurulduktan sonra iç bağımlı bileşen ayrılır, ardından kalan bağımsız rastgele değişkenin dağılımı belirlenir. Bu genellikle 2 veya üç parametreli gamma dağılımı veya başka bir dağılım olmaktadır. Bundan sonra seri türetilirken bu özellikler dikkate alınmalıdır (Akar, 2000).

4.4 Model Seçimi ve Kontrolü

Modellerle ilgili genel bilgi verildikten sonra en uygun modelin seçimi için ilk şart parsimoni kuralına uygunluktur. Bu kurala göre, etkin model, parametre sayısının (p+q) en az olduğu, ancak kabul edilebilir derecede de süreci temsil ettiği modeldir.

Modelin otoregresif bileşeninin p mertebesini belirlemek için kısmi otokorelasyon katsayısı ($\phi_{k,k}$) kullanılmaktadır. Kısmi otokorelasyon katsayısı, *k-1*'inci mertebede AR modeli uydurulduktan sonra sürecin geriye kalan kısmı için otokorelasyon katsayısıdır. Buna göre AR (p) modeline uyan bir süreçte $k > p$ için $\phi_{k,k} = 0$ olur. Yani

kısmi otokorelasyon katsayısının k'ıncı mertebesi için, iç bağımlılığın sıfır olduğunu göstermektedir. $\phi_{k,k}$ katsayıları ρ_k otokorelasyon katsayılarına bağlı olarak

$$\phi_{kk} = \rho_1 \qquad \textbf{(4.33a)}$$

$$\phi_{kk} = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j}\rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j}\rho_j} \quad , k \geq 2 \qquad \textbf{(4.33b)}$$

$$\phi_{kj} = \phi_{k-1,j} - \phi_{k,k}\phi_{k-1,k-j} \quad k \neq j \qquad \textbf{(4.33c)}$$

şeklinde verilmektedir. $\phi_{k,k}$ katsayıları bu denklemler kullanılarak ardışık olarak hesaplanır. *p*'nin mertebesinin tespiti için bunların sıfırdan yeterli miktarda farklı olup olmadıkları test edilir. $Var(\phi_{k,k}) \cong 1/\sqrt{N}$ olduğuna göre, normal dağılım için %5 anlamlılık düzeyinde $|\phi_{k,k}| > 1.96/\sqrt{N}$ ise $\phi_{k,k}$'nın sıfırdan yeter derecede farklı olduğu kabul edilebilir. Bu test sonunda $k > p$ için $\phi_{k,k} = 0$ olduğu görülürse otoregresif modelin mertebesi için *p* değeri alınabilir.

Hareketli ortalama modelinin *q* mertebesini belirlemek için korelogram kullanılır. MA(*q*) modeline uyan süreçte $k > q$ için $\rho_k = 0$ olmaktadır. Aynı şekilde ρ_k otokorelasyon katsayıları hesaplandıktan sonra yine normal dağılım için %5 anlamlılık düzeyinde $|\rho_k| > 1.96/\sqrt{N}$ şartını sağlıyorsa ρ_k değerlerinin sıfırdan farklı olduğu kabul edilebilir. Sürecin hareketli ortalama model mertebesi için $k > q$ için $\rho_k = 0$ olduğunda buradaki *q*' nun seçilmesi uygun olur.

Otoregresif-hareketli ortalama modeline uyan bir sürecin mertebesi için yukarıda anlatıldığı şekilde ayrı ayrı mertebe tayini yapılır. Ardından Akaike (1974) tarafından önerilen ve çok sık kullanılan AIC (Akaike İnformasyon Kriteri) olarak bilinen büyüklüğün hesabı için

$$AIC(p,q) = BLn(\sigma_\varepsilon^2) + 2(p+q) \qquad \textbf{(4.30)}$$

ifadesi kullanılır. Bu ifadedeki σ_ε^2 terimi kurulan modeli tarihi seriden çıkardıktan sonra elde edilen kalıntı teriminin (bağımsız rastgele değişkenin) varyansı olmaktadır. İfadede p=0 olduğunda test edilen modelin hareketli ortalama, $q=0$ olduğunda ise otoregresif olduğu görülmektedir. Akaike'ye göre bu değeri en küçük yapan ($p+q$) uygun modelin mertebesini verir (Akar, 2000).

4.5 Sentetik Seriler

Model tipi seçildikten ve uygunluk kontrolü yapıldıktan sonra, modele ait parametreler tespit edilir. Parametreler yardımıyla sentetik seri türetilmesine geçilebilir.

Mevcut seri ile aynı istatistik özellikleri taşıyan farklı dizilişlerdeki çok sayıda seri türeterek, karşılaşılan probleme karşın birden çok senaryo üretilebilir. Bu şekilde elde edilen seriler ile yapılan çalışmalara Monte Carlo Yöntemi denilmektedir.

Sentetik seri türetirken kalıntı teriminin dağılımı ile aynı istatistik özelliklere sahip bağımsız rastgele sayılar türetilir. Bunun için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir ancak Box ve Müller, (1958) yöntemi tercih edilen yöntem haline gelmiştir. Bu yöntem de normal dağılmış seri türetmek için,

$$\xi_1 = (-2\ln u_1)^{1/2}\cos(2\pi\ u_2) \qquad \textbf{(4.31)}$$

$$\xi_2 = (-2\ln u_1)^{1/2}\sin(2\pi\ u_2) \qquad \textbf{(4.32)}$$

ifadeleri verilmiştir. Burada ξ_1 ve ξ_2 standart normal rastgele sayılar, u_1 ve u_2 üniform dağılmış (ortalaması 0 ve varyansı 1) rastgele sayılardır. Bu u_1 ve u_2 sayılarını bilgisayar yardımı ile türetmek de mümkündür. Örneğin 1000 adet sayı türetilecek ise 500 çift ξ_1 ve ξ_2 sayıları türetilmelidir. Süreci temsil ettiği kabul edilen modeldeki kalıntı terimi $N(\mu_\varepsilon,\sigma_\varepsilon^2)$ ise türetilen rastgele sayı

$$\varepsilon_t = \mu_\varepsilon + \sigma_\varepsilon\xi \qquad \textbf{(4.33)}$$

olacak şekilde yerine konur.

$N(0,\sigma_\varepsilon^2)$ kalıntı terimi için $\varepsilon_t = \sigma_\varepsilon \xi$ halini alır. Ardından ε_t bağımsız rastgele değişkeni modelde yerine konur ve türetme işlemi her bir defa çalıştırıldığında kurulan modele uygun sentetik sayı elde edilmiş olur.

4.6 Segmenter Programı

Zaman serileri hidrolojik bir olayın gözlenen değerlerinin bir araya getirilmesi ile elde edilmektedir. Zaman serilerini meydana getiren verilerin içinde barındırdığı bileşenler hakkında Bölüm 4'te detaylı şekilde bahsedilmiştir. Zaman serileri homojen olmayan yapıdadır. Çünkü eğilim, periyodiklik gibi homojenliği bozan bileşenlerden oluşmaktadırlar. Zaman serisinde gözlenen sıçramalar ve eğilimler tüm seri boyunca birden çok kez ve farklı şekillerde gözlenebilmektedir. Dünyanın dönmesi sonucu oluşan dört mevsim farklılaşması, hidrolojik bir süreç olan zaman serilerinde de etkili olmaktadır.

Mühendislik anlamda yapılan çalışmalar sırasında kullanılan bu veriler boyutlandırma amacıyla irdelenmektedir. İncelenen doğa olayları (yağış, akış, deprem, rüzgar, …) rastgele karakterde olup bilinmeyenlerle doludur. Doğa olayının bu karakteri dolayısıyla kaydı yapılan veri kümesinde (zaman serisinde) eğilimler veya ani değişimler meydana gelebilir. Bu tip değişimler sistematik hatalardan kaynaklanabileceği gibi doğal ya da insan kaynaklı müdahaleler nedeniyle de olabilir. Zaman serisindeki bu tip değişimlerin belirlenmesi, tanımlanması ve zaman serisinden ayıklanması gerekir. İstatistik testler yardımı ile bu değişiklikler belirlenmektedir. Ancak bu değişimlere neden olan fiziksel etkenler de tespit edilmelidir.

SEGMENTER adlı yazılım ile, zaman serilerindeki ani değişimlerin (sıçramaların/zıplamaların) belirlenmesini amaçlayan bir algoritma geliştirilmiştir. Ani değişimlerin tespiti için zaman serisinin parçalara (segmanlara) bölünmesi gerekir. Bu parçaları birbirinden ayıran noktalarda seride ani bir değişim meydana geldiği söylenebilir.

Zaman serisini segmanlara ayırdıktan sonra bu parçaların her birinin diğerinden ne kadar farklı olduğunun tespiti gerekmektedir. Bunun için de literatürde klasik testler bulunmaktadır (Scheffe, 1959; Pettitt, 1979; Alexandersson, 1986).

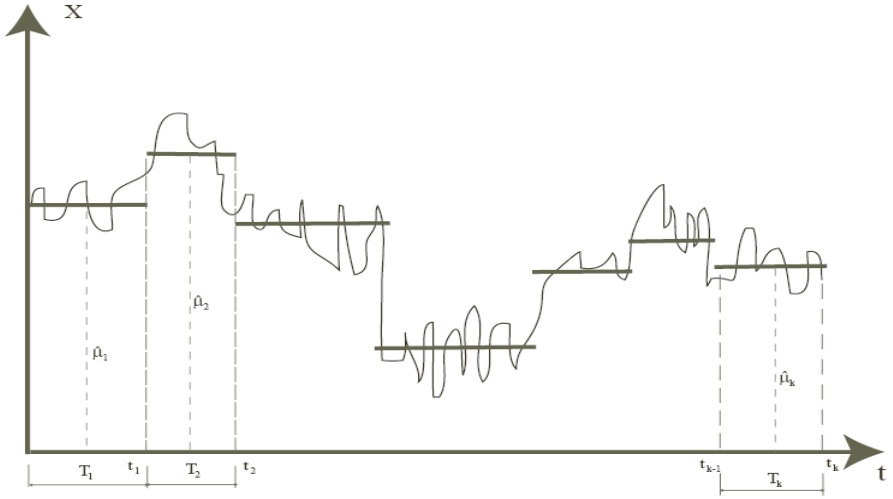
Zaman serisini parçalama noktasında birbirinden farklı geliştirilmiş algoritmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak Hubert (2000) ve Kehagias (2004) algoritmaları verilebilir. Kehagias ve diğ. (2006) farklı bir algoritma ortaya koymuşlardır. Hubert (2000) algoritması, Cluis ve Laberge (2001), Fortin ve diğ. (2004) tarafından olduğu gibi son birkaç yılda (Aksoy ve diğ., 2004; 2005; 2006; Aksoy ve Ünal,2004; İtibar, 2005; Kaynar, 2005; Dahamsheh ve Aksoy, 2006) tarafından da kullanılmıştır.

Hubert (2000) algoritması uzun zaman serileri için kullanıldığında sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu nedenle AUG-SEGMENTER adlı yazılım Aksoy ve diğ., (2006) tarafından geliştirilmiştir.

Zaman serilerinin parçalara ayrılması için programda üç farklı algoritma bulunmaktadır. Birincisi dal ve sınır (branch – and – bound) yaklaşımına dayanan programlama (BB), ikincisi dinamik programlama (DP), üçüncüsü ise değiştirilmiş dinamik programlama (MDP)'dır. Üç yöntem de zaman serisi birinci mertebe istatistiki moment (ortalama) kullanılarak veriyi parçalara böler.

$$\underset{\sim}{x} = (x_1, x_2, ..., x_T) \qquad \textbf{(4.34)}$$

olarak verilen *T* uzunluğunda bir zaman serisi ele alalım (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Parçalara ayrılmış bir zaman serisi ve ilgili bütüklükler

Bu seri K adet segmana bölündüğünde ortaya çıkan kırılma noktaları

$$\underset{\sim}{t} = (t_0, t_1, ..., t_K) \quad \textbf{(4.35)}$$

olsun. Burada,

$$0 = t_0 < t_1 < ... < t_{K-1} < t_K = T \quad \textbf{(4.36)}$$

koşulu sağlanır. Buna göre belirlenen segmanlar $[t_0 + 1, t_1], [t_1 + 1, t_2], ..., [t_{K-1} + 1, t_K]$ aralıklarını kapsar. Burada geçen t_0, t_1, t_2, ..., t_{K-1}, t_K segmanların değişim (kırılma) noktalarını oluşturur. Burada K segman sayısını (başka bir ifade ile segmentasyonun mertebesini) göstermektedir. Buna göre, k'ıncı segmanın uzunluğu

$$T_k = t_k - t_{k-1}; \qquad k = 1,2,..., K \quad \textbf{(4.37)}$$

olarak verilir. Buna göre, örneğin ilk iki segman için,

$$T_1 = t_1 - t_0 \quad \textbf{(4.38a)}$$

$$T_2 = t_2 - t_1 \quad \textbf{(4.38b)}$$

yazılabilir. Segmanların ortalama değerleri, örneğin k'ıncı segman için,

$$\hat{\mu}_k = \frac{\sum_{t=t_{k-1}+1}^{t_k} x_t}{T_k} \quad \textbf{(4.39)}$$

şeklinde hesaplanır. Bir zaman serisi segmanlara ayrılırken kullanılan esas, maliyet olarak da adlandırılabilen, serinin belli sabit bir değere (örneğin ortalamaya) veya bir fonksiyona göre hatasının en küçüklenmesidir. Bu durumda, segmanın ortalamaya göre maliyeti (ortalamadan olan hatası)

$$d_k = \sum_{t=t_{k-1}+1}^{t_k} (x_t - \hat{\mu}_k)^2 \quad \textbf{(4.40)}$$

olup, tüm zaman serisi dikkate alındığında yani diğer segmanların de maliyeti hesaba katıldığında toplam maliyet

$$D_k(\rho) = \sum_{k=1}^{K} d_k = \sum_{k=1}^{K} \sum_{t=t_{k-1}+1}^{t_k} (x_t - \mu_k)^2 \quad \textbf{(4.41)}$$

ile hesaplanır. Gözlenmesi olası tüm seçenekler için yukarıda verilen maliyet hesabı yapılacak, en sonunda segmantasyonun mertebesi belirlenmektedir. Segmantasyonun mertebesini maliyeti en küçük olan segmantasyon verecektir. Örneğin, maliyeti en küçük olan segmantasyonda ki segment sayısı beş ise bu bize zaman serisinin beşinci mertebe bir segmantasyona tabi tutulduğunu gösterir.

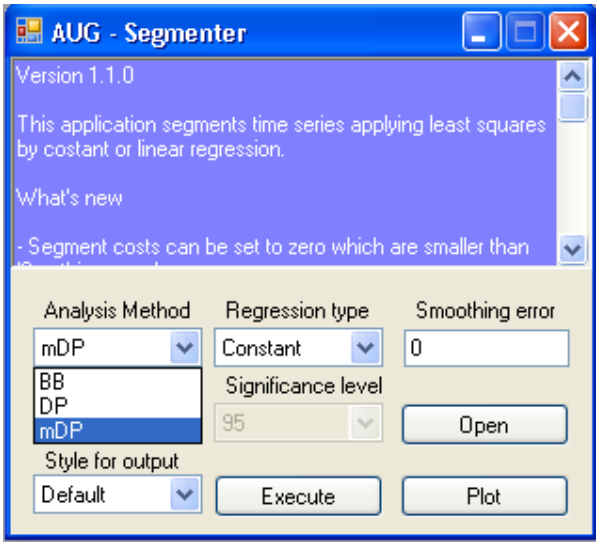
Algoritmanın ikinci aşamasında belirlenen segmantasyondaki segmentlerin ortalama değerlerinin belli bir anlamlılık düzeyinde birbirinden farklı olup olmadıkları kontrol edilir. Bu amaçla Scheffe (1959) testi kullanılmaktadır. Buna göre geliştirilecek algoritmanın iki adımdan oluştuğu söylenebilir: (1) Zaman serisinin en küçük maliyetli parçalara bölünmesi (segmantasyon), (2) Maliyeti en küçük olan segmanların anlamlı düzeyde farklı ortalamalara sahip olup olmadıklarının kontrol edilmesi (test).

4.6.1 Program ara yüzü ve kullanımı

Fortran programlama dili ile yazılmış olan Segmenter programı kullanım bakımından oldukça sade ve pratik menülere sahiptir. Program açılışında görünen menü Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Segmenter içinde kullanılabilen üç farklı analiz yöntemi (dal ve sınır (BB), dinamik programlama (DP) ve geliştirilmiş dinamik programlama (MDP) bulunmaktadır. İşlem öncesi tercih edilen yöntemin seçilmesi gerekmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.10: Program ara yüzü



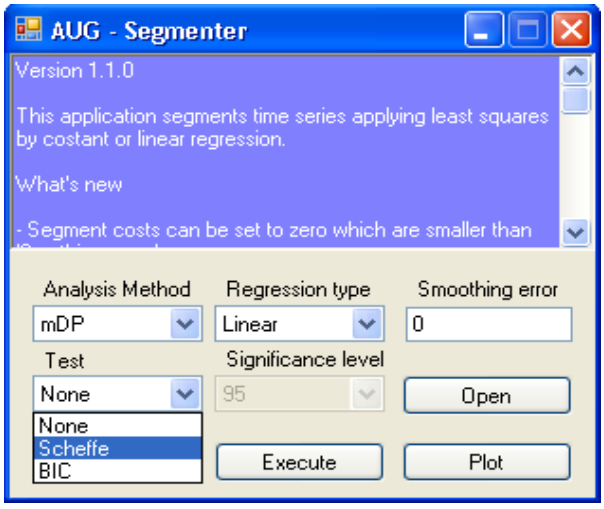
Şekil 4.11: Analiz yöntemleri

Regresyon tipi olarak iki farklı seçenek bulunmaktadır. Sabit ya da doğrusal (Şekil 4.12) Sabit regresyonda segmanların ortalamalarının birbirlerinden anlamlı derecede farklı olduğu Kabul edilir. Doğrusal Segmantasyon da ise segmanlara uydurulan doğrusal eğilim çizgilerinin anlamlı derecede farklı oldukları öngörülür. Bu çalışmada da doğrusal regresyon tipi kullanılmıştır.



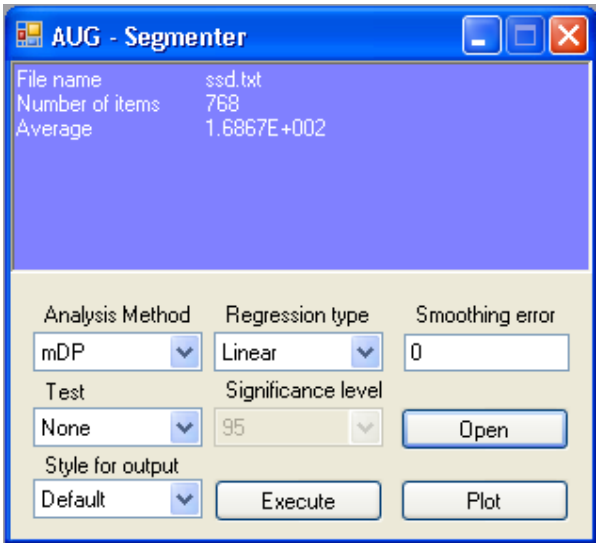
Şekil 4.12: Regresyon seçimi

Program içinde segmanların istatistik anlamda farklı olup olmadıklarının belirlenmesi için Scheffe ve BIC yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanıcının ihtiyacına göre iki yöntemden biri seçilebilir. Gerekli olmadığı durumlarda kullanıcı testi yaptırmaya bilir (Şekil 4.13).



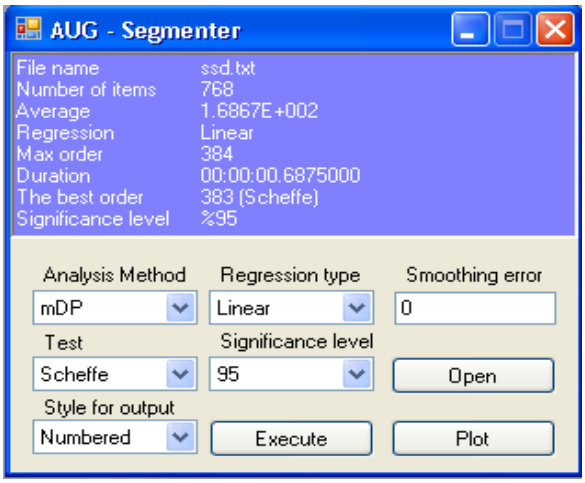
Şekil. 4.13: Kullanılan testler

Program ara yüzünden analiz ile ilgili tercihler yapıldıktan sonra "Open" tuşu yardımı ile veri dosyası program içinde açılır. "Execute" komutu ile program çalıştırılır (Şekil 4.14).



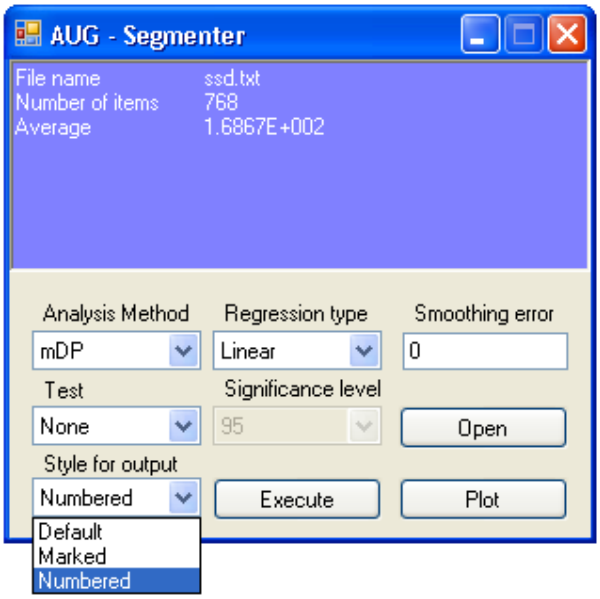
Şekil 4.14: Veri analiz dosyasının programa yüklenmesi

İncelenmek üzere programa tanıtılan veri dosyası ile ilgili bilgiler programın ara yüzünden görülebilmektedir. Dosyanın adı, veri sayısı ve zaman serisinin ortalaması kontrol için kullanılabilir (Şekil 4.14). Analiz yapıldıktan sonra sonuçlar ile ilgili bilgiler yine programın ara yüzünde kullanıcı dikkatine sunulmaktadır (Şekil 4.15).

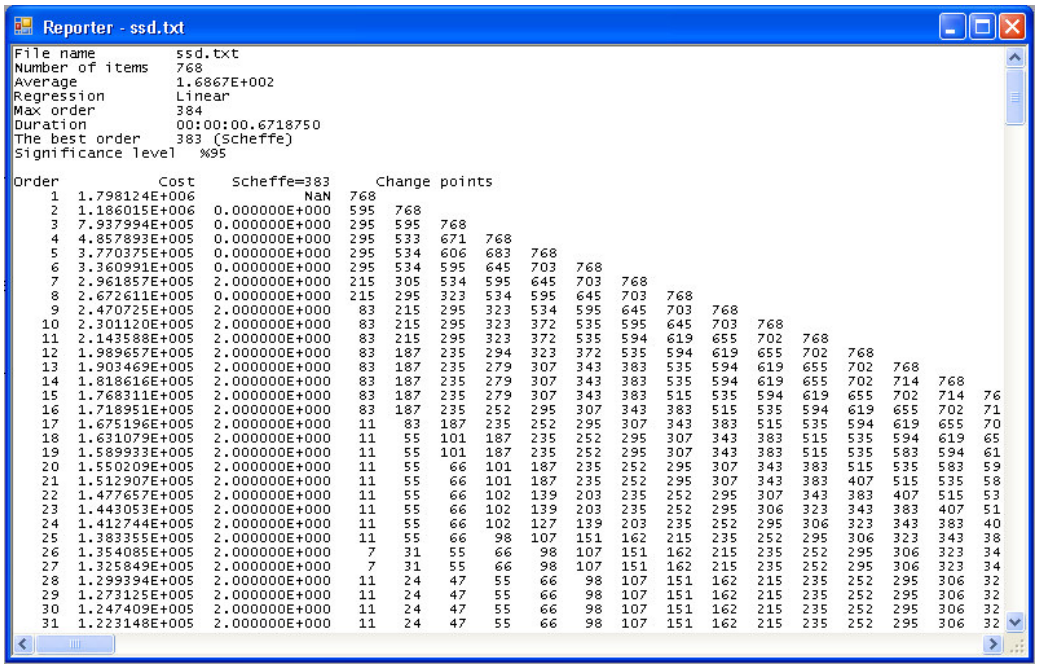


Şekil 4.15: Veri dosyasına ait bilgiler

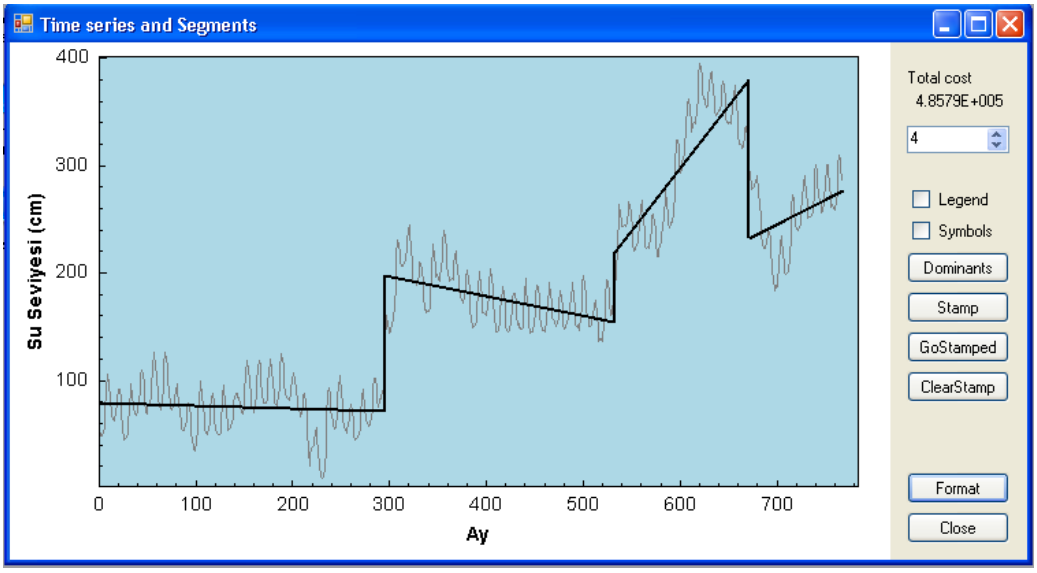
İncelenen zaman serisinde seçilen güven düzeyi için belirlenen segman kırılma noktaları ya işaretlenmek ya da numaralandırılmak suretiyle (Şekil 4.16) program tarafından bir rapor dosyası ile kullanıcıya aktarılır (Şekil 4.17). Ayrıca analiz sonuçları grafik olarak ta sunulmaktadır (Şekil 4.18). Bunun için "plot" seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.16: Çıktı tipleri



Şekil 4.17: Segmanların kırılma noktasını veren rapor



Şekil 4.18: Dördüncü mertebeden doğrusal segmantasyon grafiği

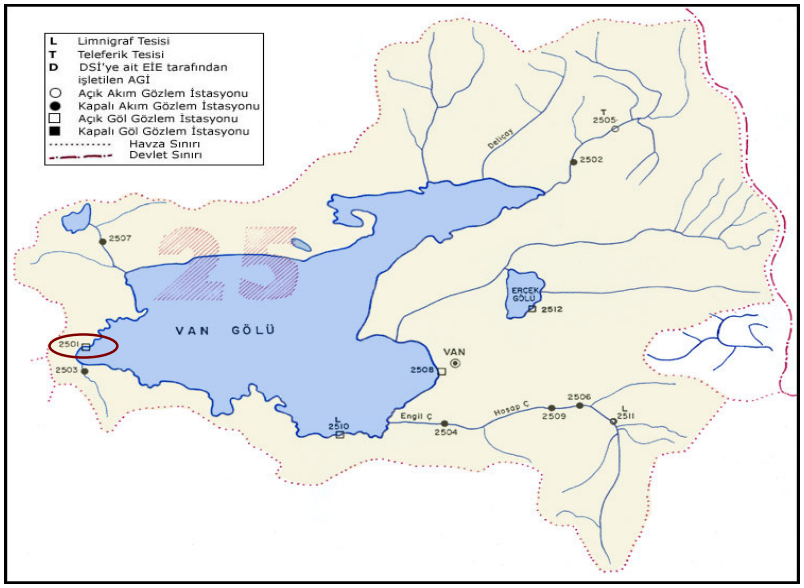
5. VAN GÖLÜNÜN STOKASTİK MODELLENMESİ

5.1 Kullanılan Veri

Stokastik model çalışması, EİE İdaresi'nin Van Gölü kapalı havzasındaki 2501/G no.lu Tatvan göl gözlem istasyonu verileri ile gerçekleştirilmiştir. Tatvan göl gözlem istasyonunun özellikleri Tablo 5.1'de, istasyonun yerleşimi ise Şekil 5.1'de verilmiştir. Van gölü kapalı havzasında 4 adet kapalı göl gözlem istasyonu ile 3 açık, 10 kapalı toplam 13 adet aylık göl gözlem istasyonu bulunmaktadır.

Tablo 5.1: Bitlis ili, Tatvan ilçesi göl gözlem istasyonunun özellikleri

İstasyonun Yeri	42˚ 17' 39˝ D -38˚ 29' 34˝ K Bitlis ili Tatvan ilçesindeki Denizcilik Bankası eski vapur iskelesi
İstasyonun Yükseltisi	1646,59 m
İstasyonun Yağış Alanı	16096,4 km^2
İstasyonun Seviye Ölçeği	Eşel-Lim.
İstasyonun Açılış Tarihi	31.08.1943
İstasyonun Kullanılan Gözlem Aralığı	1943–2007 (64 yıl) su yılı değerleri



Şekil 5.1: Van gölü kapalı havzası gözlem istasyonlarının yeri ve kullanılan 2501 no.lu istasyon

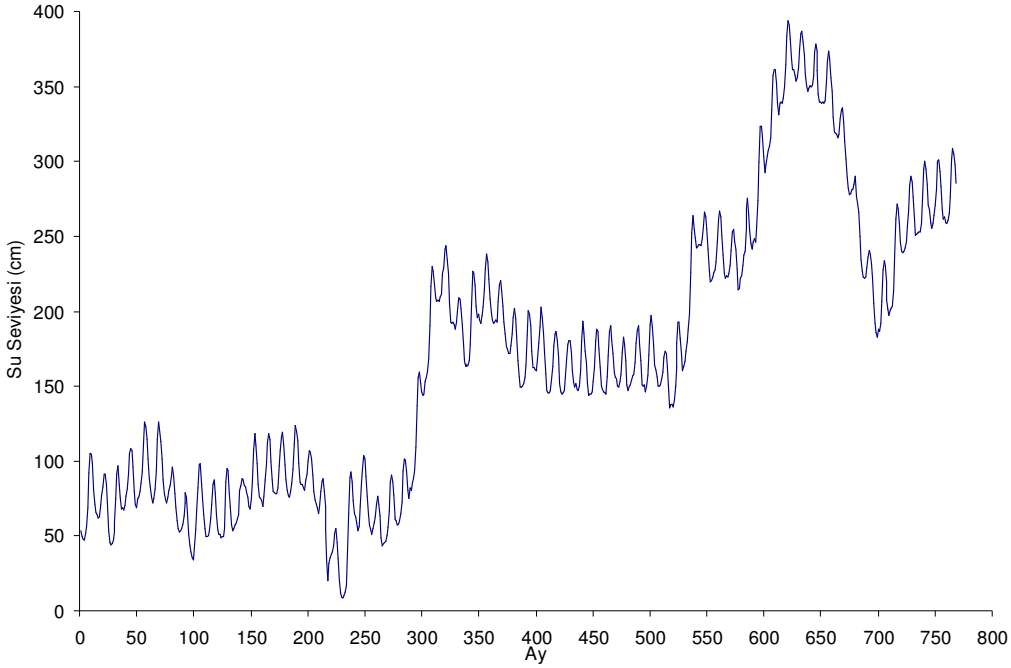
5.2 Göl Baz Gözlem İstasyonuna Ait Karakteristikler

Bitlis ili Tatvan ilçesi göl gözlem istasyonundan Van gölüne ait 64 yıl süreli aylık ortalama göl su seviyesi gözlemleri Şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.3'te ise yıllık ortalama su seviyeleri hesaplanmıştır. Bu gözlem süresi için göl su seviyesine ait aşağıdaki özellikler hesaplanmıştır.

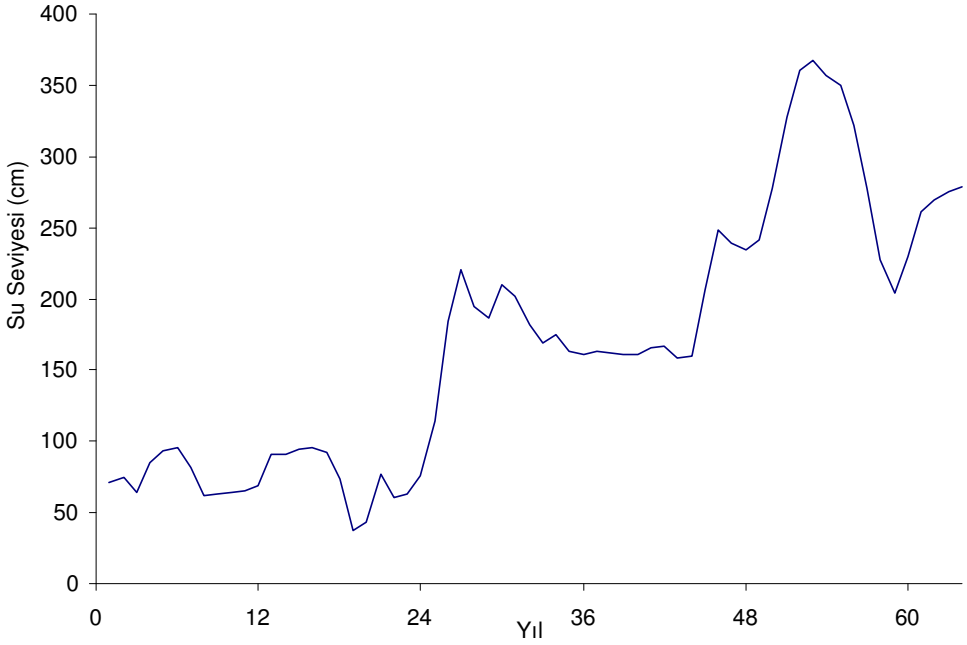
Aylık ortalama göl su seviye değerleri (ν yıl, *t* ay göstermek üzere),

$$\bar{x}_t = \frac{1}{N}\sum_{v=1}^{N} x_{v,t} \qquad t = 1,2, \ldots, \tau \tag{5.1}$$

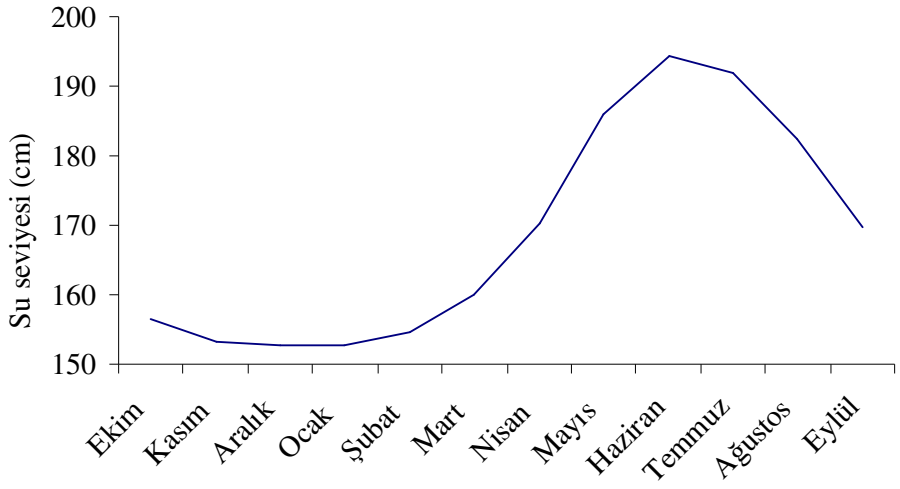
bağıntısından hesaplandıktan sonra (Şekil 5.4) standart sapma ve değişim katsayısı belirlenmiştir.



Şekil 5.2: Tatvan göl istasyonu 1943–2007 arası aylık ortalama su seviyeleri



Şekil 5.3: Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası yıllık ortalama su seviyeleri



Şekil 5.4: Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası aylık ortalama su seviyeleri

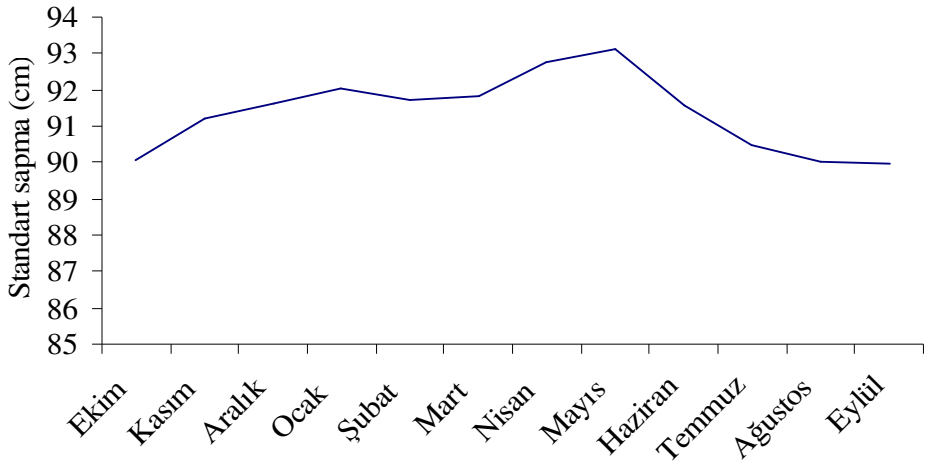
Standart sapma,

$$S_\tau(x) = \left[\frac{\sum_{\nu=1}^{N} (x_{\nu,\tau} - \overline{x}_\tau)^2}{N-1} \right]^2 \qquad \textbf{(5.2)}$$

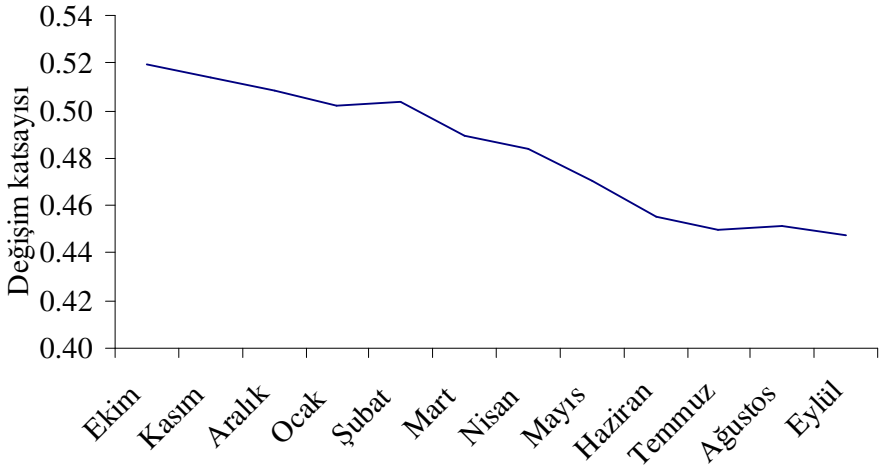
ile belirlendikten sonra standart sapmanın ortalamaya oranı olarak ifade edilen değişim katsayısı

$$C_{x,\tau} = \frac{s_\tau(x)}{\overline{x}_\tau} \qquad \textbf{(5.3)}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Bu karakteristiklerin gözlem süresi için hesaplanan yıl boyunca değişimleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5: Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası aylık ortalama su seviyeleri standart sapması



Şekil 5.6: Tatvan göl gözlem istasyonu 1943–2007 arası aylık ortalama su seviyeleri değişim katsayıları

5.3 İzlenen Yöntem

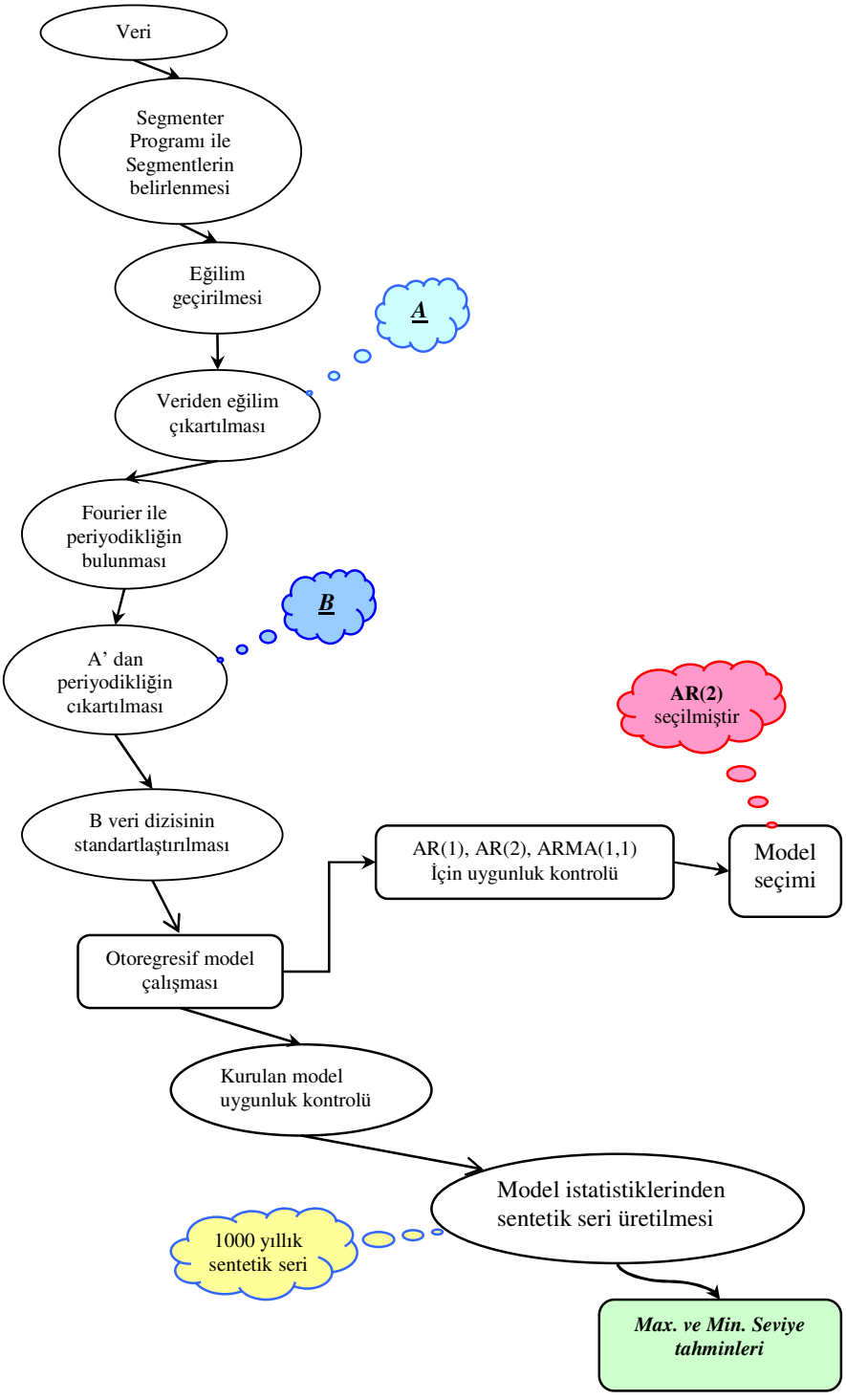
Van Gölü Tatvan gözlem istasyonundan alınan 64 yıllık aylık ortalama su seviyesi değerlerinden oluşan veri seti üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Segmenter yazılımı ile parçalanmış su seviyeleri kullanılarak kurulan otoregresif model sonuçları bu bölümde verilmiştir.

Segmenter programı kullanılarak zaman serisi her biri ayrı eğilime sahip parçalara ayrılmıştır (Şekil 5.7). Her parçanın eğilimi birinci mertebe polinom ile ifade edilmiştir. Zaman serisinden daha sonra bu eğilim bileşeni çıkarılmıştır.

Zaman serisinin diğer deterministik bileşeni periyodiklik Fourier serileri yardımı ile tespit edilmiştir. Periyodik bileşen de seriden çıkarıldıktan sonra standartlaştırma işlemi yapılarak, seri stokastik hale getirilmiştir (Şekil 5.7).

Zaman serisinin stokastik bileşene indirgenmiş haline model uydurulmuş, model için gerekli parametreler tespit edilmiştir. AR(1), AR(2), ARMA(1,1) modelleri arasında uygunluk kontrolü yapılmıştır. Elde edilen model yardımıyla su seviyeleri hesaplanarak gözlem ile yakınlıkları kontrol edilmiştir. Ayrıca seçilen model kullanılarak 1000 yıllık sentetik seriler türetilmek suretiyle gözlenen maksimum ve minimum su seviyelerinin olası değerleri belirlenmiştir.

Çalışmada Segmenter programı kullanılarak aylık ortalama su seviyesi değerleri doğrusal eğilimli birden çok parçaya ayrılmıştır. Yatay parçalama daha çok kontrol amaçlı yapılmıştır. Aylık ortalama su seviyesinin birden çok doğrusal parçaları kullanılarak elde edilen model ile tek eğilim geçirilerek elde edilen model arasında karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 5.7: İzlenen yönteme ait şematik aşamalar

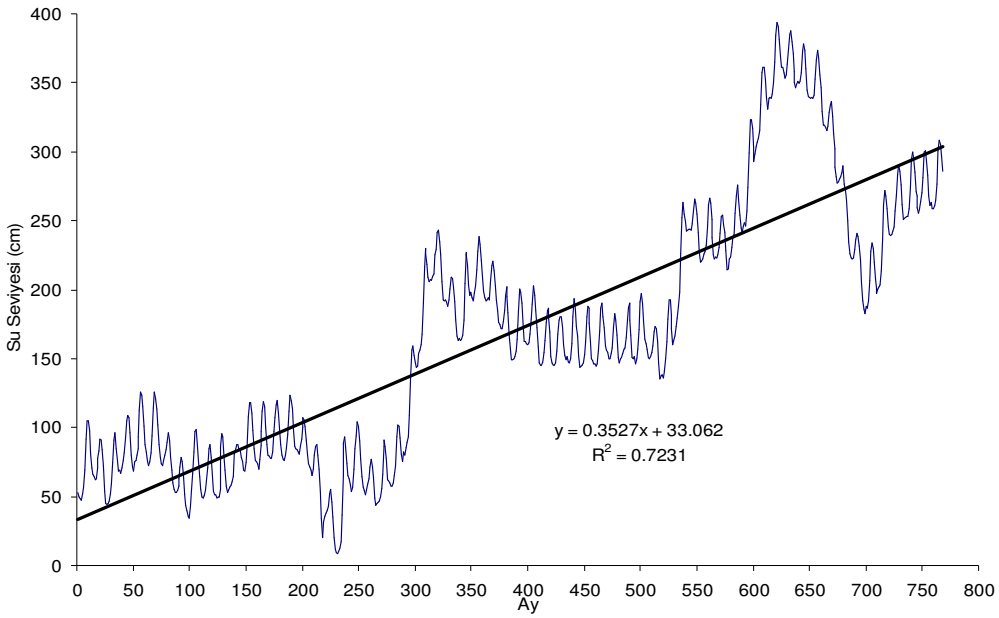
5.4 Uygulama

5.4.1 Tek eğilim için model uygulaması

Van gölüne ait 64 yıl süreli yıllık ortalama su seviyesi değerlerinden elde edilen zaman serisine eğilim çizgisi geçirilerek, eğilim denklemi tespit edilmiştir. Mevcut su seviyesi değerleri incelendiğinde su seviyesinin artış eğiliminde olduğu ve dönem dönem su seviyesinin ani sıçramalarla artışa devam ettiği görülmektedir. Su seviyesi değerlerinden tespit edilen eğilim çizgisi Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Eğilim çizgisi

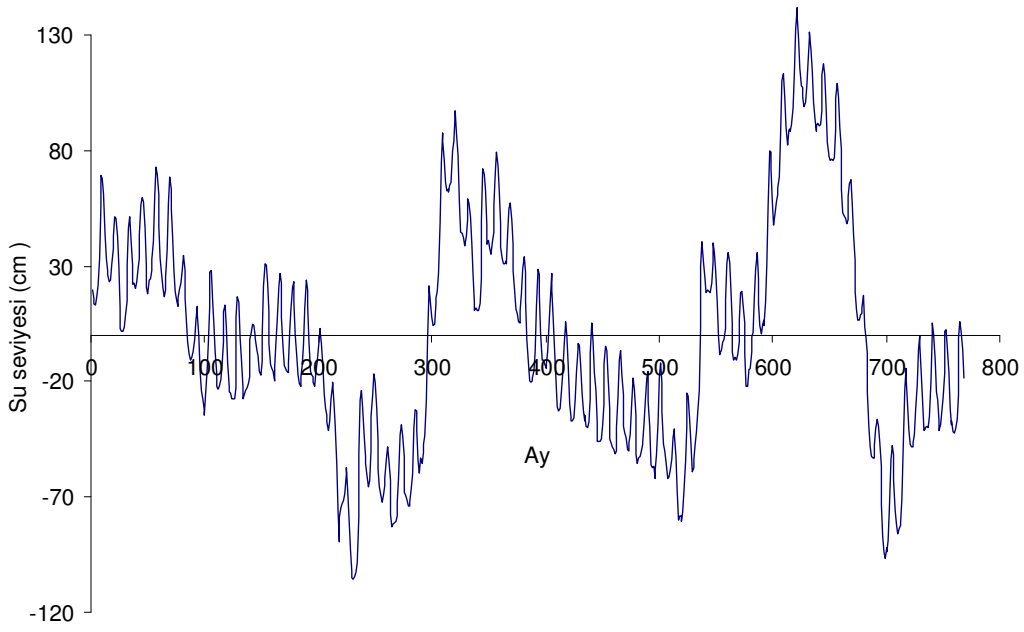
$$y = 0.3527x+33.062 \quad \textbf{(5.4)}$$

şeklindedir. Zaman serisinin stokastik yapısını bozan bu eğilim seriden çıkarılacaktır.



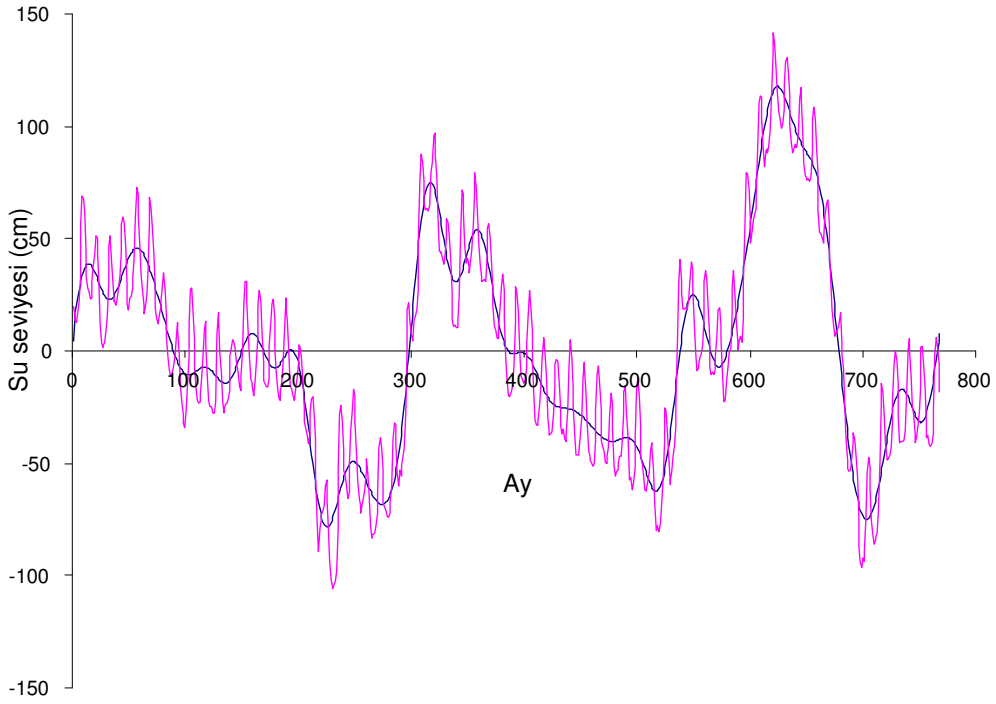
Şekil 5.8: Su seviyelerine ait tek eğilim grafiği

İlk olarak tek eğilim için elde edilen doğrusal denklem (5.4) kullanılarak aylık ortalama su seviyesi değerlerinden eğilim bileşeni çıkarılmıştır (Şekil 5.9). Ancak serinin yapısında hala periyodiklik vardır. Bu yüzden periyodikliğin giderilmesi gerekmektedir. Seri içinde periyodik bileşenin tespitinde Bölüm 4'de detayı verilen Fourier serisinden yararlanılmıştır.



Şekil 5.9: Eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri

Fourier serisinin hesaplanmasından önce harmonik sayısı tespiti yapılır. Bunun için periyodogram çizilir. Periyodogram, önceden açıklandığı gibi anlamlı harmoniğin belirlenmesinde kullanılan grafik bir yöntemdir. Düşey eksende her bir harmoniğin açıkladığı varyans yüzdesi verilir (Bayazıt, 1981). Bu çalışmada uygulanan tüm Fourier serileri için harmonik sayısı 12 alınmıştır. Eğilimi çıkarılmış zaman serisine uydurulan Fourier serisi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

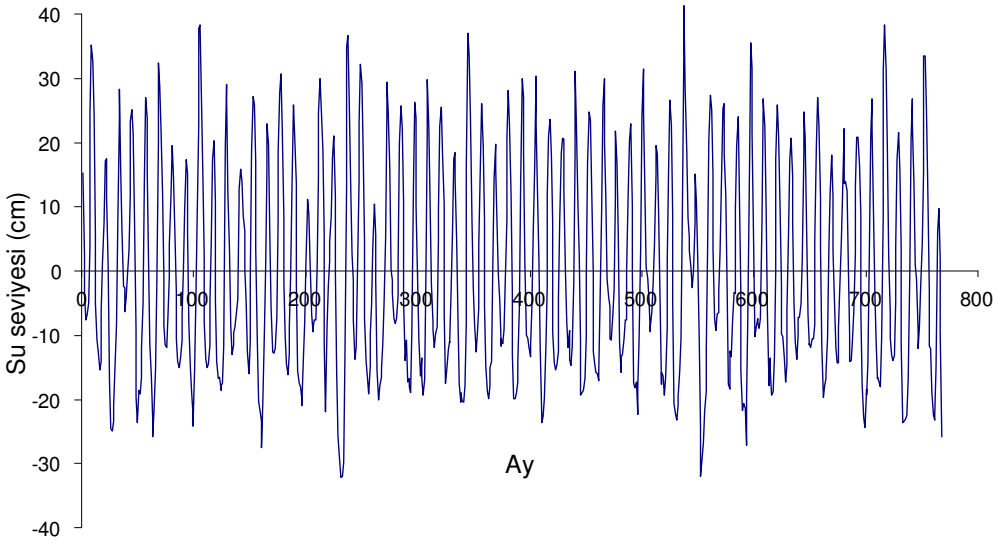


Şekil 5.10: Eğilimi çıkartılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi

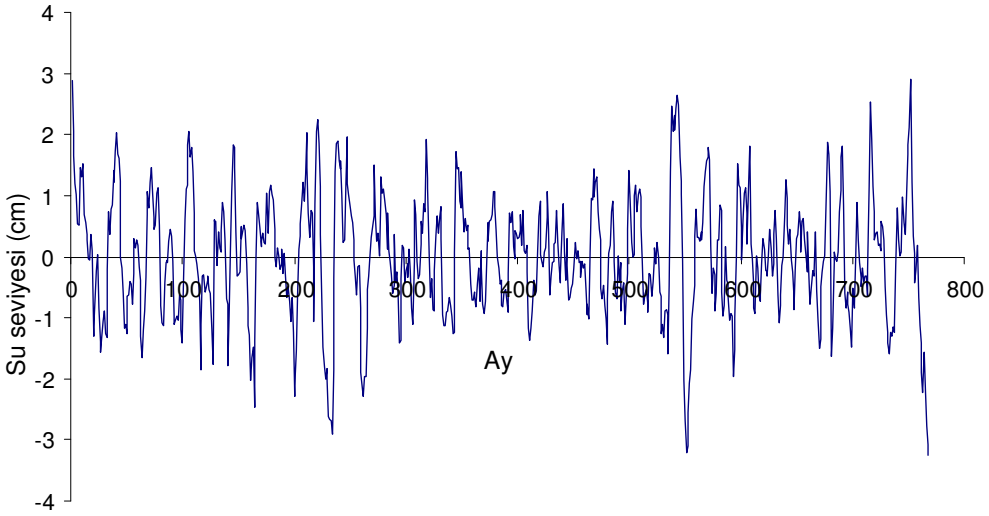
Zaman serisinin stokastik hale gelebilmesi için periyodik bileşenin seriden ayrılması gerekmektedir. Fourier serisi ile bulunan periyodik bileşen seriden çıkarılarak Şekil 5.11 elde edilmiştir. Şekil 5.11'den anlaşılacağı gibi serinin periyodik bileşeni tam olarak seriden ayrılamamıştır. Serinin halen tekrarlanan bileşenleri mevcuttur. Son olarak seriden ortalaması çıkartılıp, standart sapmasına bölünerek seri standart hale getirilmiştir (Şekil 5.12).

$$z_{i,\tau} = \frac{y_{i,\tau} - \mu_\tau}{\sigma_\tau} \qquad \textbf{(5.5)}$$

Standartlaştırma ile su seviyelerindeki deterministik bileşenler tamamen ayrılmış olup, veri kümesi stokastik model için uygun hale getirilmiştir.



Şekil 5.11: Göl su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkarılmış stokastik bileşeni



Şekil 5.12: Standartlaştırılmış su seviyeleri

İncelenen zaman serisi için en uygun ARMA(p,q) modelinin bulunabilmesi için, kısmi otokorelasyon katsayısı ve otokorelasyon katsayıları bulunmuştur (Tablo 5.2, Şekil 5.13). $Ø_{k,k}$'nın sıfırdan anlamlı derecede farklı kabul edilecek değerleri $1.96/N^{1/2}$ = 0.07'dir. Tek eğilimli seride k=4 için hesaplanan katsayılar Tablo 5.2'de verilmiştir.

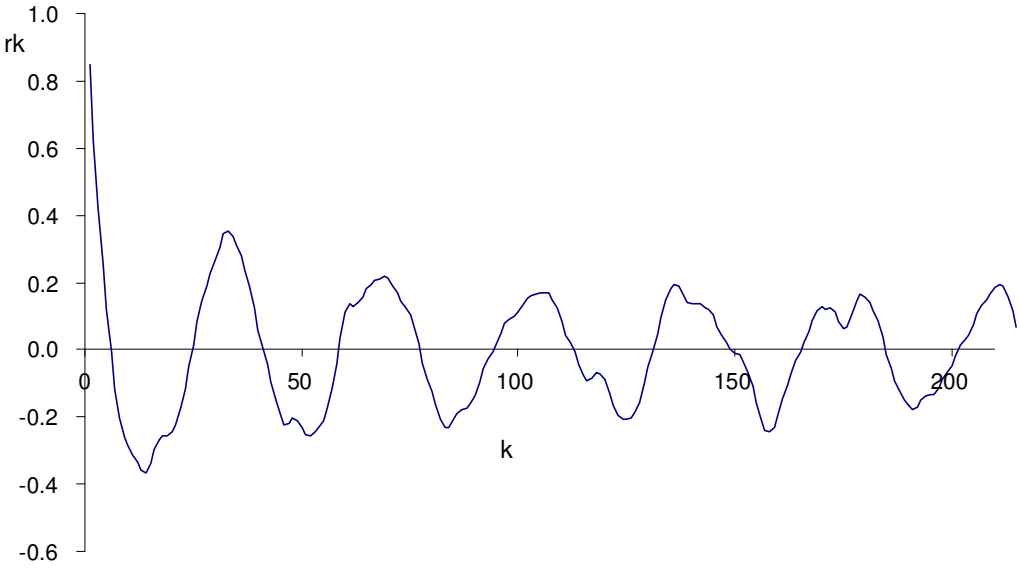
Seçilecek modelin parametre sayısı (p+q) < 768/15 = 51,2 olmalıdır (Salas ve diğ., 1980) Parametre sayısını küçük tutmak amacıyla AR(1), AR(2), ARMA(1,1) modelleri için kontroller yapılmıştır. Otoregresif modeller için kalıntı varyansları (σ_ε^2) hesaplanmıştır. Uygun modelin belirlenmesi için AIC testinin yapılması gerekmektedir. Elde edilen kalıntı varyansları kullanılarak Tablo 5.3'teki değerler elde edilmiştir. Kalıntı varyansı ve AIC değeri en küçük olan AR(2) modeli süreci diğer iki modele göre daha iyi temsil edebilir. Böylece

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \varepsilon_t \qquad \textbf{(5.6)}$$

şeklinde bir model kullanılacaktır. Bu modelin parametreleri ϕ_1 ve ϕ_2 Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.2: Tek eğilim durumunda otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları

k	1	2	3	4
r_k	0.85	0.62	0.42	0.26
$\emptyset_{k,k}$	0.85	-0.35	0.03	-



Şekil 5.13: Stokastik kısmın korelasyon katsayısı

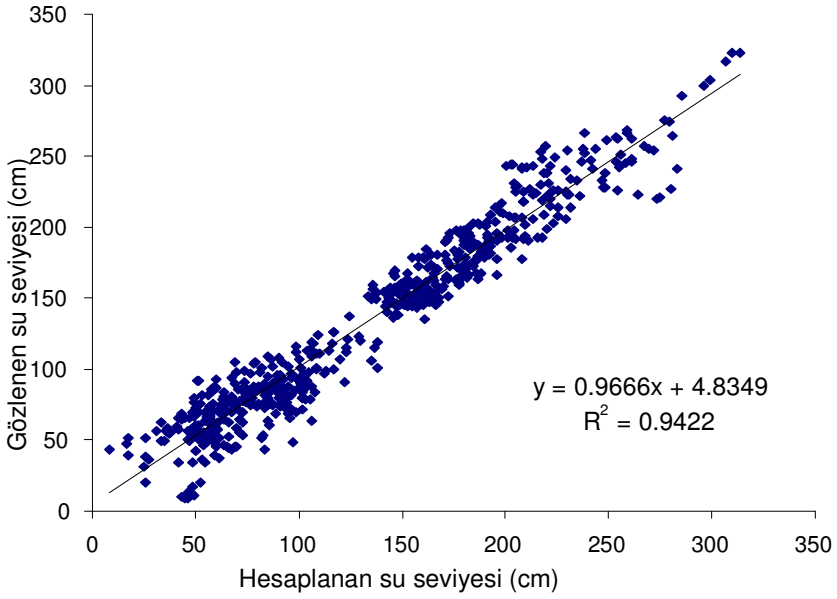
Tablo 5.3: Model seçiminde kullanılan parametreleri

Model	Kalıntı Varyansı	AIC
AR(1)	0.91	- 66.48
AR(2)	0.48	- 556.07
ARMA(1,1)	0.86	- 111.07

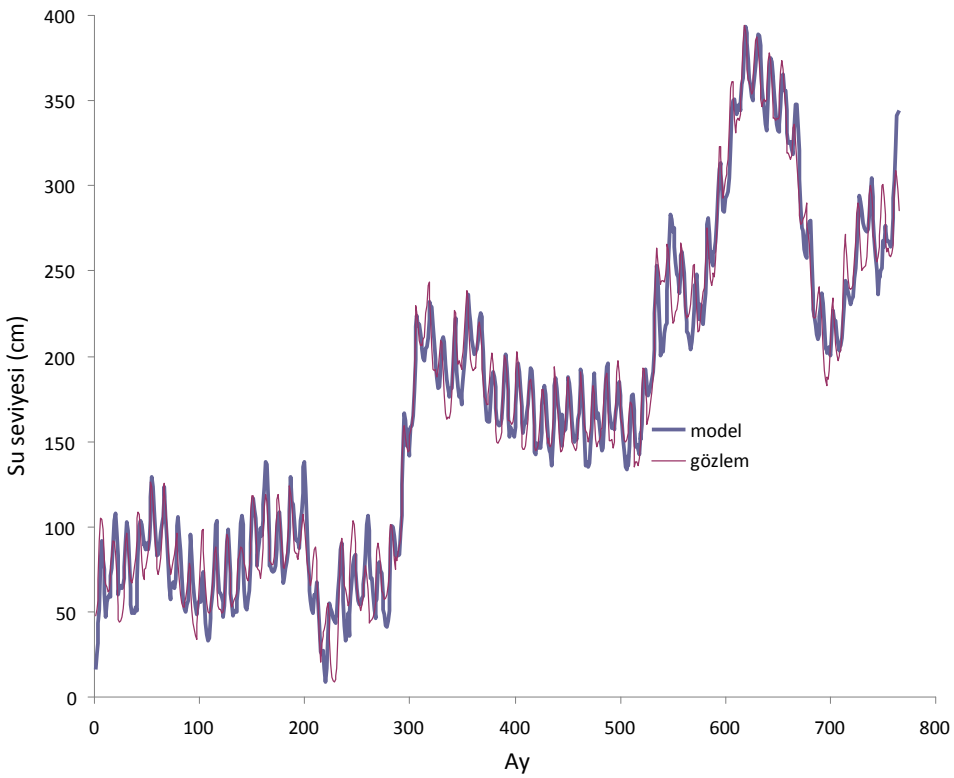
Tablo 5.4: AR(2) model parametreleri (tek eğilim)

ϕ_1	-0.40
ϕ_2	-0.82
σ_ε^2	0.74

Seçilen otoregresif model AR(2) kullanılarak gözlenen su seviyeleri hesaplanmıştır. Standartlaştırılmış stokastik bileşen kullanılarak hesaplanan su seviyelerine periyodik ve eğilim bileşenleri eklenmiş gözlenmiş su seviye değerleri ile karşılaştırılmaları Şekil 5.14'te saçılma diyagramında yapılmıştır. Hesaplanan su seviyeleri gözlenen su seviyeleri ile zaman serisi şeklinde Şekil 5.15'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.14: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı



Şekil 5.15: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serisi

5.4.2 Çoklu eğilim için model uygulamaları

Tez çalışmasının amacı mevcut seri için eğilim sayısını arttırarak kurulan modeller ile yapılacak tahminlerin iyileştirilmesi, yani model sonuçları ile gözlenen su seviyeleri arasındaki benzerliğin sağlanmasıdır. Birden çok eğilimin belirlenmesinde Segmenter programı kullanılmıştır.

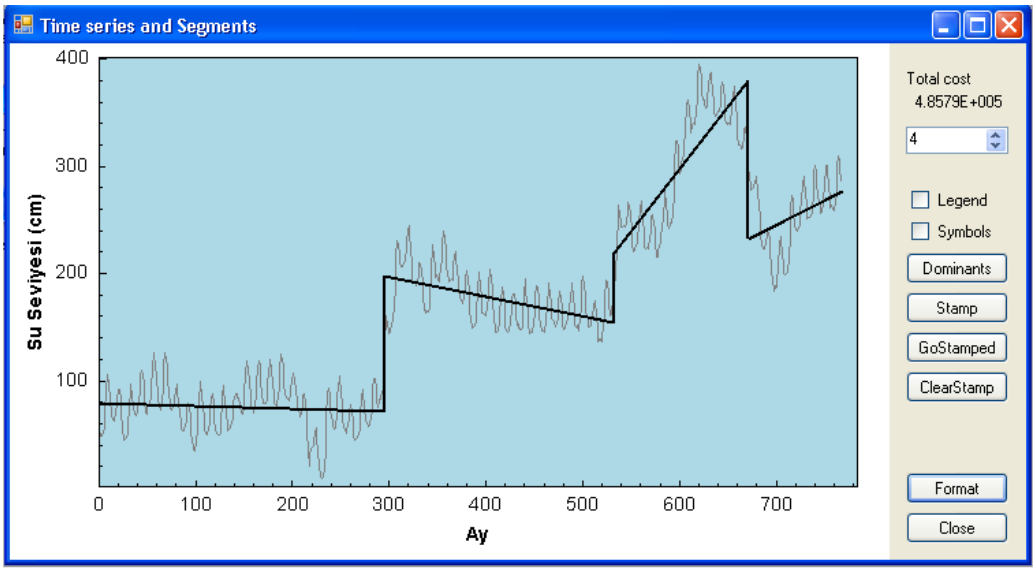
Segmenter programı ile ilk 30 mertebe için segmanlar belirlenmiştir. Şekil 5.16'da bu segmanlar verilmiş olup segmentasyon mertebesi arttıkça zaman serisi ile eğilim çizgileri arasındaki hatanın azaldığı görülmektedir. Bu da beklenen bir durumdur. Çünkü segmentasyon mertebesinin artması ile eğilim geçirilmiş zaman serisinin gözlenmiş seriye bezerliği artmaktadır. Şekil 5.16'daki 30 segmentasyon için modelleme çalışmaları yapılmış, ancak burada 4, 12 ve 28 mertebe segmentasyon sonuçlarına göre kurulan modeller tanıtılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar tek eğilim durumunda elde edilen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

```
Order        Cost    Change points
  1 1.801001E+006 768
  2 1.188821E+006 595 768
  3 7.983859E+005 295 595 768
  4 4.903758E+005 295 533 671 768
  5 3.816241E+005 295 534 606 683 768
  6 3.405284E+005 215 305 533 606 683 768
  7 2.998470E+005 215 305 534 595 645 703 768
  8 2.709224E+005 215 295 323 534 595 645 703 768
  9 2.507266E+005  83 215 295 323 534 595 645 703 768
 10 2.337661E+005  83 215 295 323 372 535 595 645 703 768
 11 2.178640E+005  83 187 235 294 323 372 535 595 645 703 768
 12 2.021108E+005  83 187 235 294 323 372 535 594 619 655 702 768
 13 1.934920E+005  83 187 235 279 307 343 383 535 594 619 655 702 768
 14 1.850067E+005  83 187 235 279 307 343 383 535 594 619 655 702 714 768
 15 1.799762E+005  83 187 235 279 307 343 383 515 535 594 619 655 702 714 768
 16 1.750402E+005  83 187 235 252 295 307 343 383 515 535 594 619 655 702 714 768
 17 1.706647E+005  11  83 187 235 252 295 307 343 383 515 535 594 619 655 702 714 768
 18 1.662435E+005  11  55 101 187 235 252 295 307 343 383 515 535 594 619 655 702 714 768
 19 1.621289E+005  11  55 101 187 235 252 295 307 343 383 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 20 1.581566E+005  11  55  66 101 187 235 252 295 307 343 383 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 21 1.544264E+005  11  55  66 101 187 235 252 295 307 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 22 1.507139E+005  11  55  66 102 139 203 235 252 295 307 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 23 1.470412E+005  11  55  66 101 151 162 215 235 252 295 307 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 24 1.435808E+005  11  55  66 101 151 162 215 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 25 1.402952E+005  11  55  66 101 151 160 168 187 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 26 1.371564E+005  11  55  66  98 107 151 160 168 187 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 27 1.342294E+005   7  31  55  66  98 107 151 160 168 187 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 594 619 655 702 714 768
 28 1.314058E+005   7  31  55  66  98 107 151 160 168 187 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 595 606 618 655 702 714 768
 29 1.287603E+005  11  24  47  55  66  98 107 151 160 168 187 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 595 606 618 655 702 714 768
 30 1.261334E+005  11  24  47  55  66  98 107 151 160 168 187 235 252 295 306 323 343 383 407 515 535 583 595 606 618 655 702 714 755 768
```

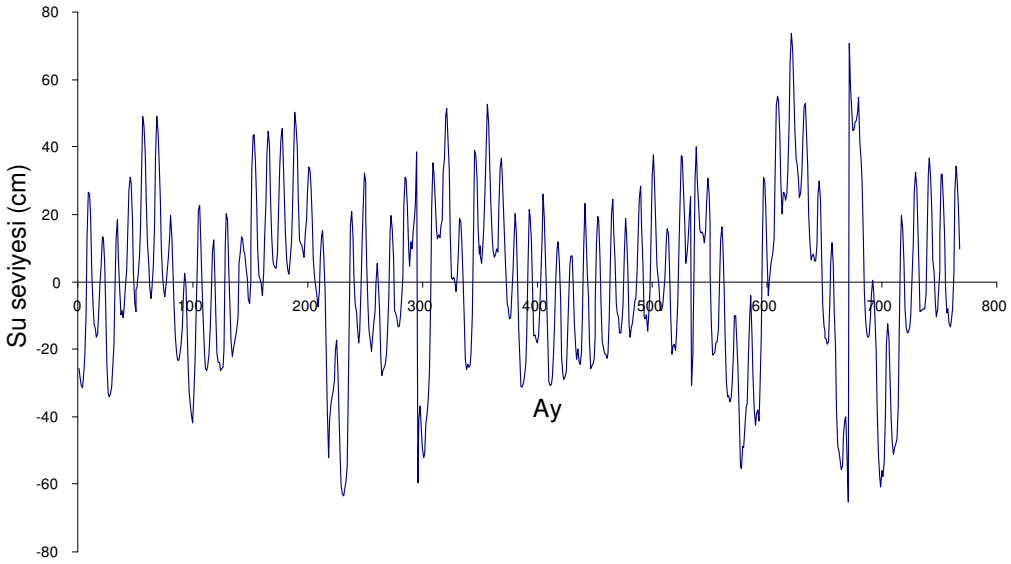
Şekil.5.16: Segmenter program çıktısı

5.4.2.1 Dördüncü mertebe segmentasyon

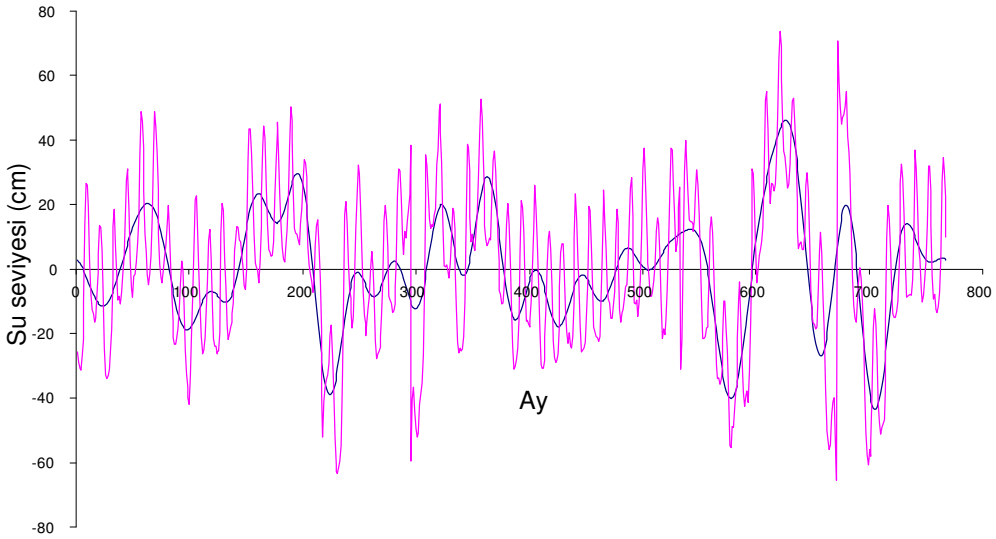
Segmenter ile elde edilen dördüncü mertebe segmentasyon Van gölü su seviyelerinin eğilim bileşenleri tespit edilmiştir (Şekil 5.17). Eğilim denklem sayısı, segman sayısıyla artmıştır. Dört farklı eğilim için dört farklı denklem bulunmuştur. Su seviye değerlerinden karşı gelen eğilim çıkarılarak serinin stokastik hale gelmesi amaçlanmıştır (Şekil 5.18). Ancak tek eğilimli seriden de hatırlanacağı gibi stokastik yapıyı bozan periyodik bileşende vardır. Bu yüzden eğilimin ardından periyodik bileşenin de seriden çıkarılması gerekmektedir. Bunun için Fourier serileri eğilimleri çıkarılmış su seviye değerlerine uygulanmıştır. Fourier serisi için seçilen harmonik sayısı tek eğilimde olduğu gibi 12'dir. Şekil 5.19'de Fourier serisi uydurulmuş zaman serisi verilmiştir. Fourier serisi ile elde edilen periyodik bileşen değerleri eğilimden arındırılmış seriden çıkarılmış böylece stokastik yapıdaki zaman serisine ulaşılmıştır (Şekil 5.20).



Şekil 5.17: Dördüncü mertebe segmentasyon

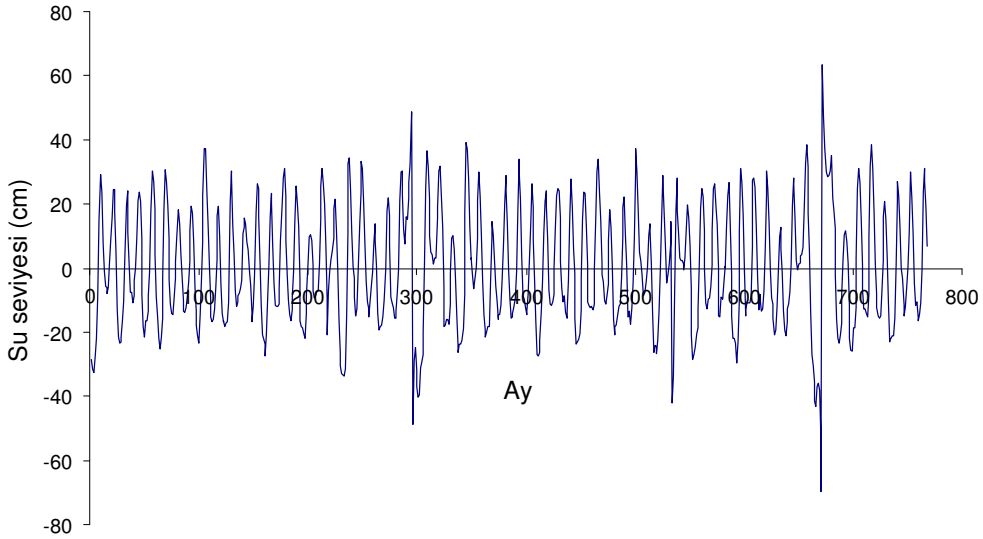


Şekil 5.18: Dördüncü mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri

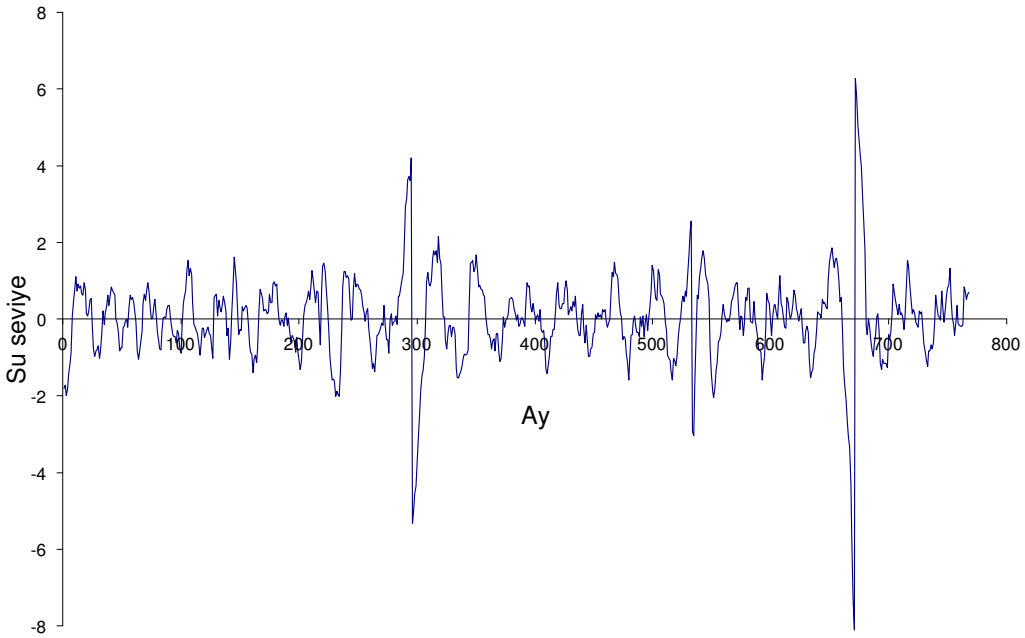


Şekil 5.19: Dördüncü mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi

Zaman serisinden eğilim ve periyodik bileşen çıkarılmasının ardından seri aylık ortalamalardan olan farkı alınarak, aylık standart sapmalara bölünmüş ve standart hale getirilmiştir (Şekil 5.21). Bu hali ile model uygulaması için uygun olan zaman serisi değerlerine tek eğilimde olduğu gibi otoregresif model seçimi yapılır.



Şekil 5.20: Dördüncü mertebe segmentasyon için su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkarılmış stokastik bileşeni



Şekil 5.21: Dördüncü mertebe segmentasyon için standartlaştırılmış su seviyeleri

Tek eğilimli modelde olduğu gibi dördüncü mertebe segmentasyon durumunda da zaman serisi için en uygun modelin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla Şekil 5.21'deki zaman serisinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 5.5). Otokorelasyon katsayısı Şekil 5.22'deki gibi elde

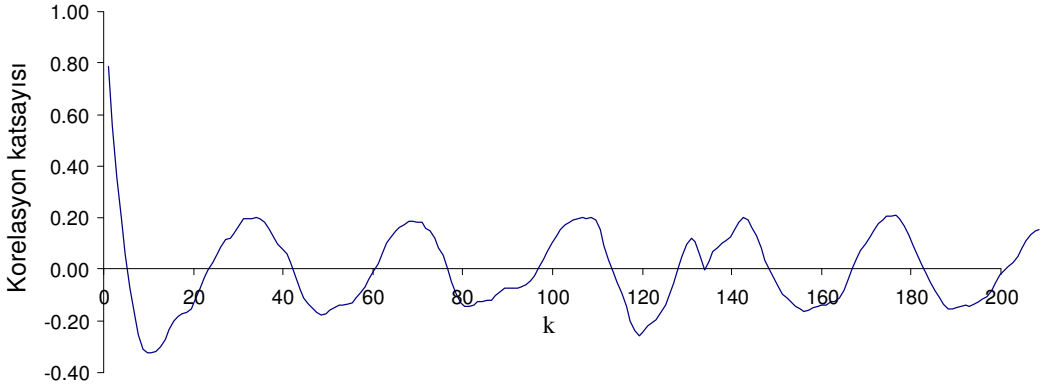
edilmiştir. Ayrıca aday modeller için kalıntı varyansları ve AIC değerleri belirlenmiş, sonuçlar Tablo 5.6'da verilmiştir. Buna göre seçilen model Tablo 5.7'deki gibi belirlenen parametreler kullanılarak

$$z_t = -0.27 z_{t-1} - 0.68 z_{t-2} + \varepsilon_t \qquad (5.7)$$

şeklinde yazılabilir.

Tablo 5.5: Dördüncü mertebe segmentasyon için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları

k	1	2	3	4
r_k	0.79	0.56	0.36	0.19
$Ø_{k,k}$	0.79	-0.16	-0.06	



Şekil 5.22: Dördüncü mertebe segmentasyona ait stokastik kısmın korelasyon katsayıları

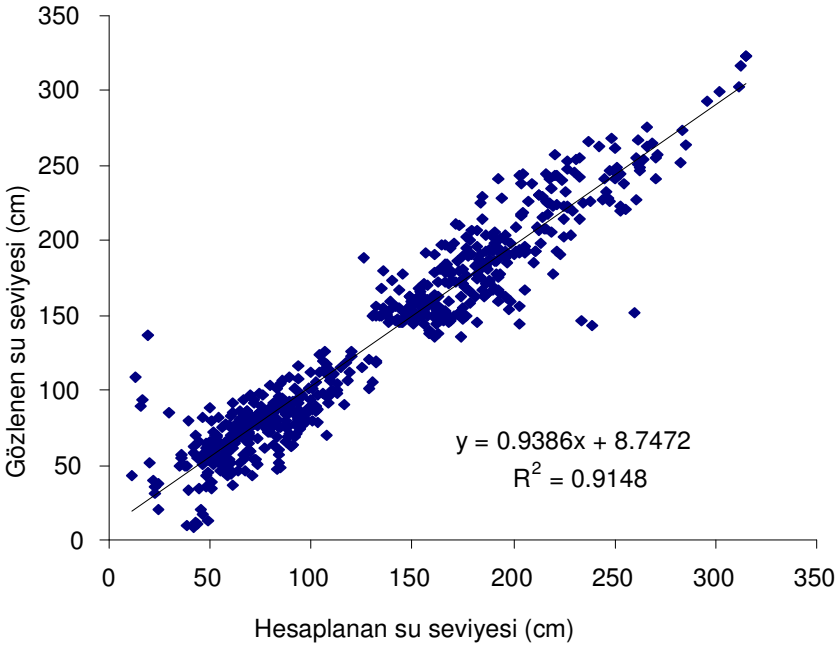
Tablo 5.6: Dördüncü mertebe segmentasyon için model seçiminde kullanılan parametreler

Model	Kalıntı Varyansı	AIC
AR(1)	0.99	-9.446
AR(2)	0.60	-395.970
ARMA(1,1)	0.90	-53.070

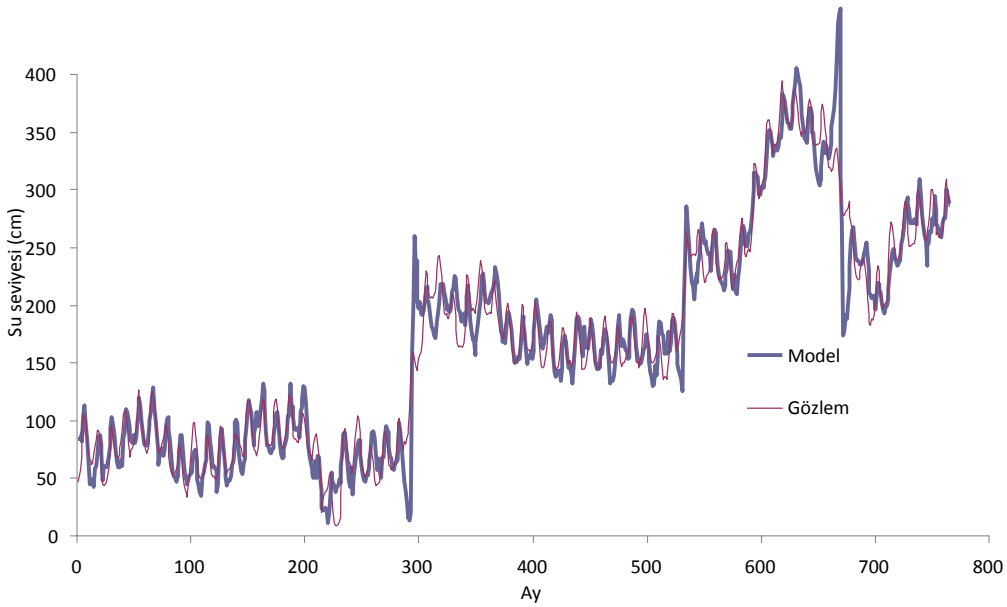
Tablo 5.7: Dördüncü mertebe segmentasyon için belirlenen AR(2) model parametreleri

ϕ_1	-0.27
ϕ_2	-0.68
σ_ε^2	0.86

Şekil 5.23'te (5.7) modeli ile hesaplanan su seviyeleri ile gözlenen su seviyeleri arasındaki saçılma diyagramı verilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen su seviyelerine ait zaman serileri ise Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



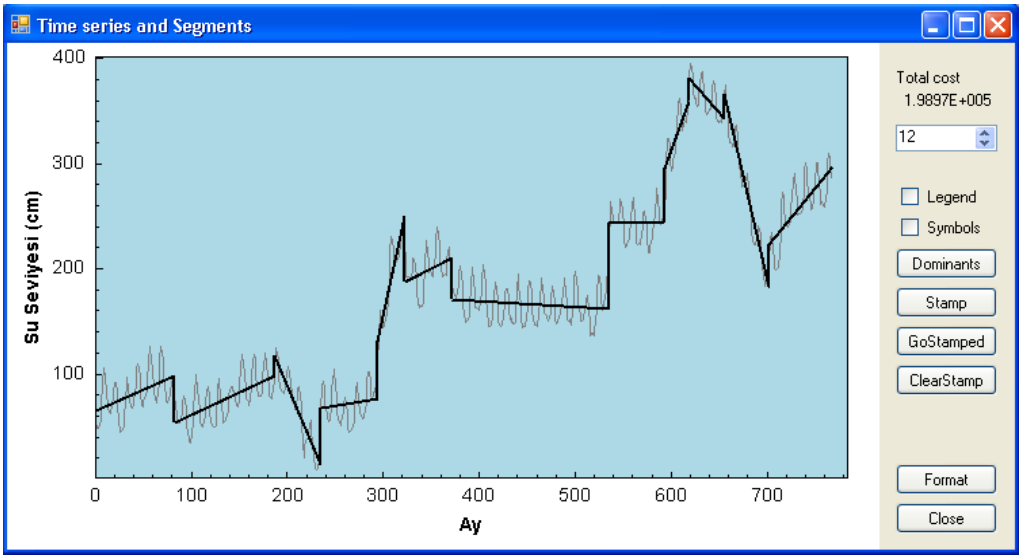
Şekil 5.23: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı (dördüncü mertebe segmentasyon için)



Şekil 5.24: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serileri (dördüncü mertebe segmentasyon için)

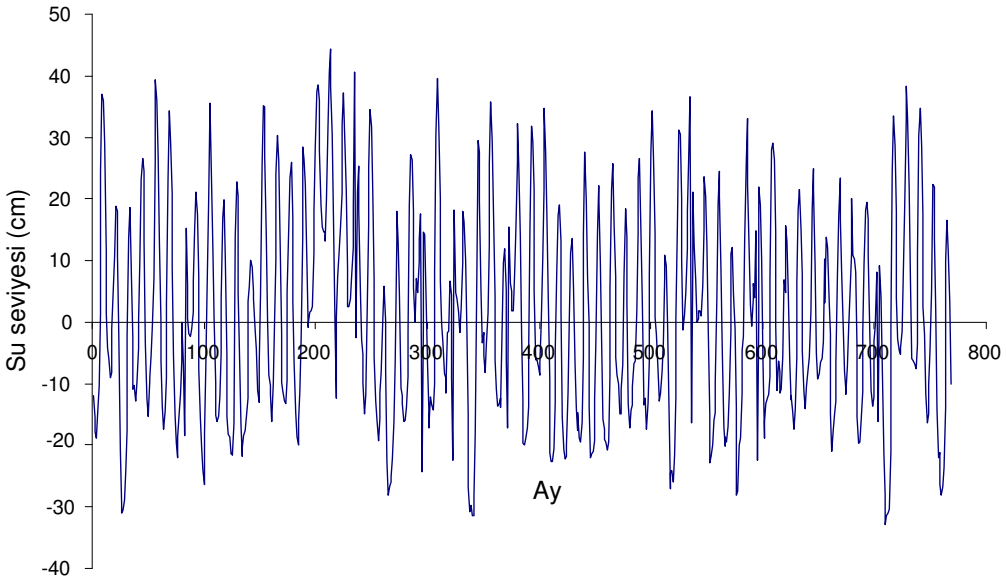
5.4.2.2 On ikinci mertebe segmentasyon

Su seviyeleri için Segmenter ile elde edilen sonuçlardan on ikinci mertebe segmentasyon için eğilim bileşenleri tespit edilmiştir (Şekil 5.25). On iki farklı eğilim için on iki farklı eğilim denklemi hesaplanmıştır. Su seviye değerlerinden karşı gelen farklı eğilim değerleri çıkarılmıştır (Şekil 5.26). Eğilimin ardından periyodik bileşeninde seriden çıkarılması gerekmektedir. Bunun için Fourier serileri eğilimleri çıkarılmış su seviye değerlerine uygulanmıştır. Fourier Serisi için seçilen harmonik sayısı tek ve dört eğilimde olduğu gibi 12'dir. Şekil 5.27'de Fourier serisi uydurulmuş zaman serisi verilmiştir. Fourier serisi ile elde edilen periyodik bileşen değerleri eğilimden arındırılmış seriden çıkarılmış ve stokastik yapıdaki zaman serisine ulaşılmıştır (Şekil 5.28).

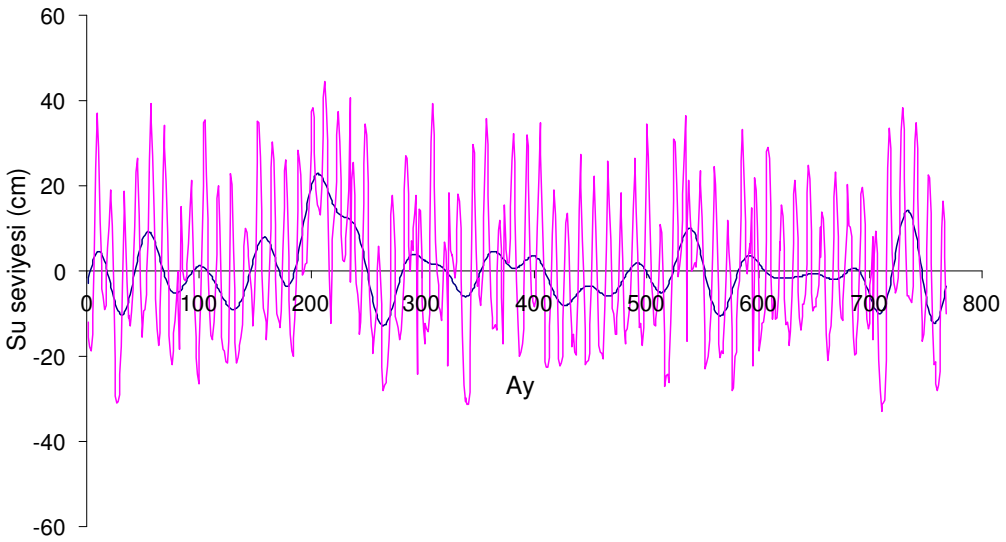


Şekil 5.25: On ikinci mertebe segmentasyon

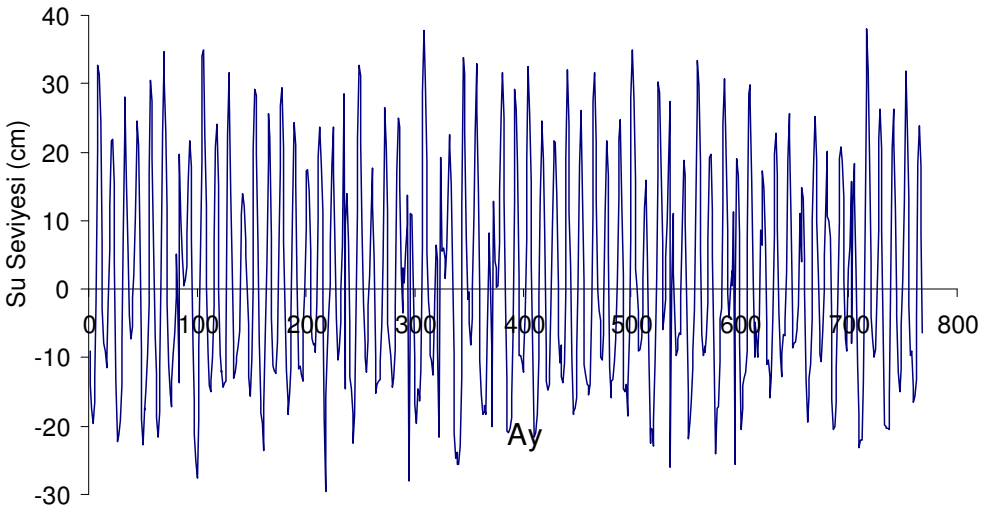
Segman sayısı attıkça eğilim çizgi sayısı artmakta, serinin segmanları küçülmektedir. Segmanlar ile elde edilen eğilim çizgisi artışı ile model aşamasında gözlenmiş su seviye değerlerime daha çok benzerlik göstermesi beklenmektedir.



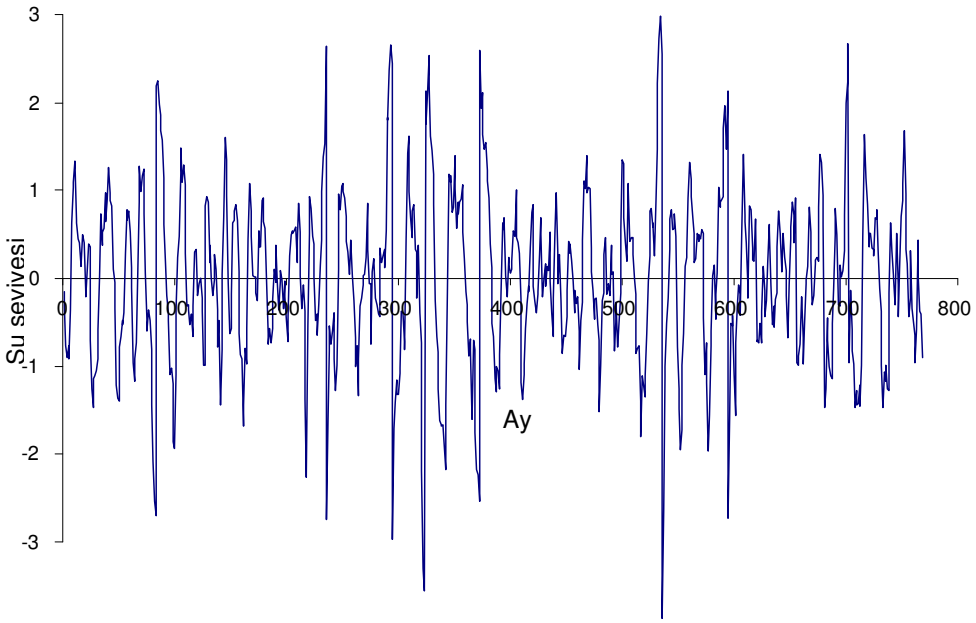
Şekil 5.26: On ikinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri



Şekil 5.27: On ikinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi



Şekil 5.28: On ikinci mertebe segmentasyon için su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkartılmış stokastik bileşeni



Şekil 5.29: On ikinci mertebe segmentasyon için standartlaştırılmış su seviyeleri

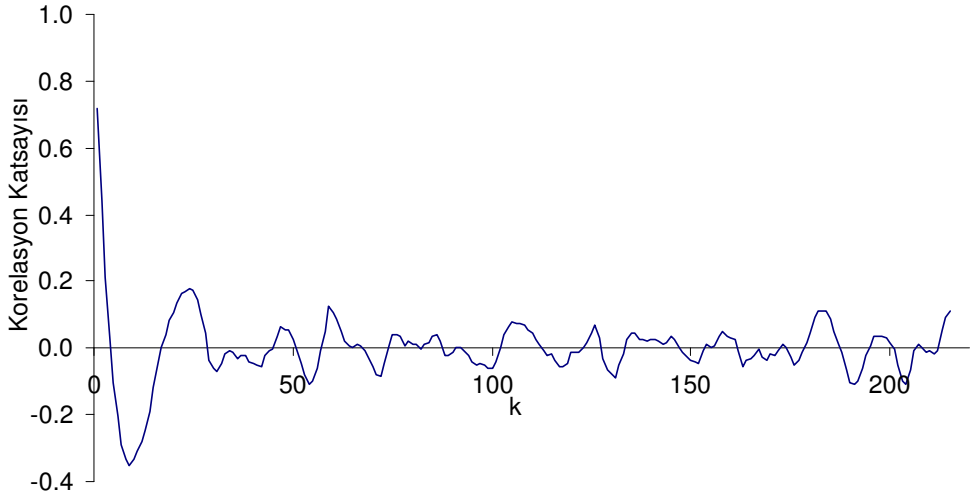
On ikinci mertebede segmentasyon hali için zaman serisine en uygun modelin tespiti için tek ve dördüncü mertebeden segmentasyon durumunda olduğu gibi otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 5.8). Seçilen modelin uygunluk kontrolü için kalıntı varyansları ve AIC değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.9'da verilmiştir. Tablo 5.10'da belirlenen, AR(2) modeli için elde edilen parametreler kullanılarak

$$z_t = -0.12 z_{t-1} - 0.59 z_{t-2} + \varepsilon_t \qquad \textbf{(5.8)}$$

şeklinde yazılabilir.

Tablo 5.8: On ikinci mertebe segmentasyon için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları

k	1	2	3	4
r_k	0.72	0.44	0.21	0.02
$\emptyset_{k,k}$	0.72	-0.16	-0.10	-



Şekil 5.30: On ikinci mertebe segmentasyona ait stokastik kısmın korelasyon katsayıları

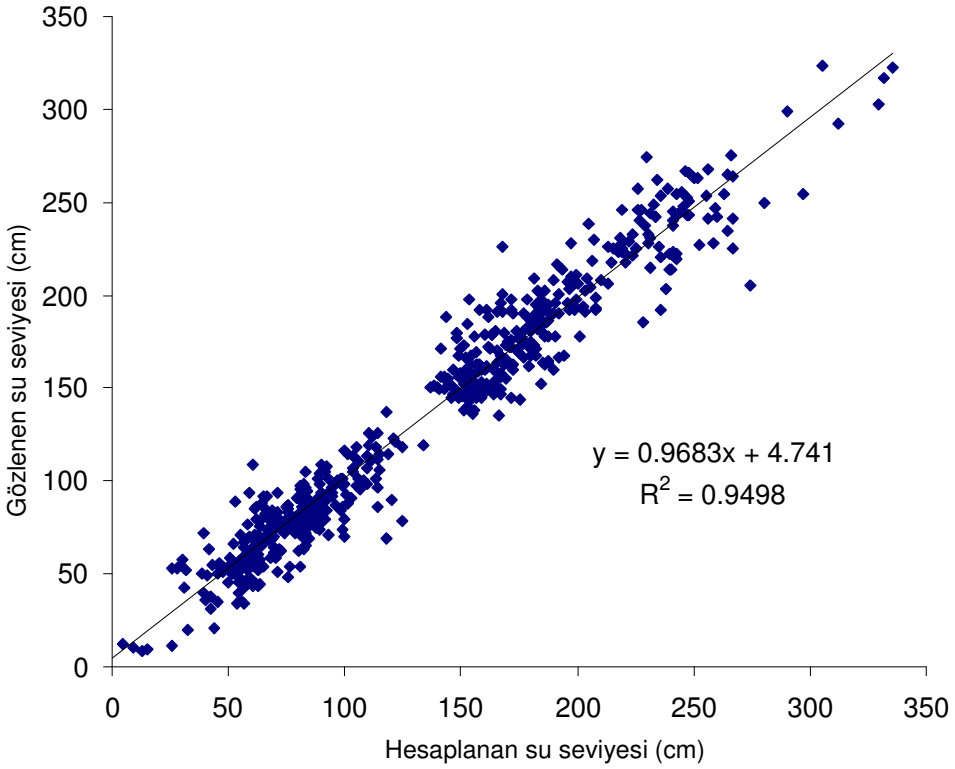
Tablo 5.9: On ikinci mertebe segmentasyon için model seçiminde kullanılan parametreler

Model	Kalıntı Varyansı	AIC
AR(1)	0.99	-7.849
AR(2)	0.77	-201.533
ARMA(1,1)	0.94	-42.716

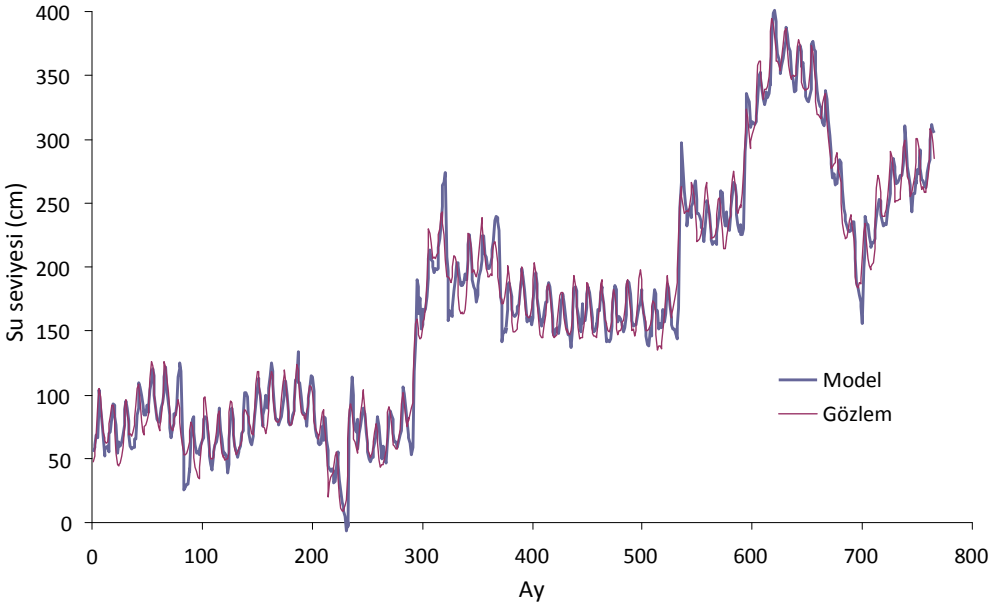
Tablo 5.10: On ikinci mertebe segmentasyon için belirlenen AR(2) model parametreleri

ϕ_1	-0.12
ϕ_2	-0.59
σ_ε^2	0.957

Şekil 5.31'te (5.8) modeli ile hesaplanan su seviyeleri ile gözlenen su seviyeleri arasındaki saçılma diyagramı verilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen su seviyelerine ait zaman serileri ise Şekil 5.32'te gösterilmiştir.



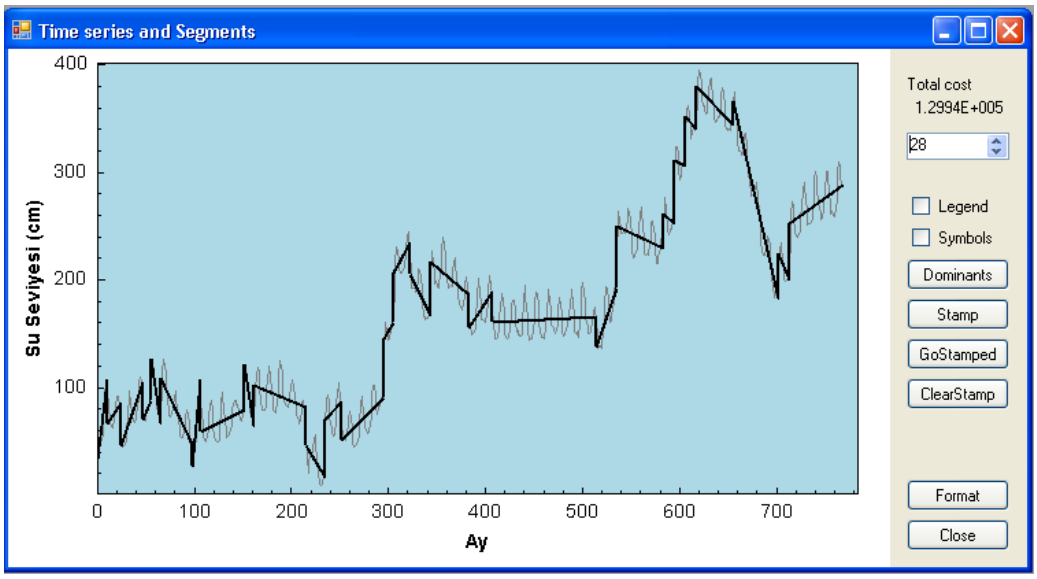
Şekil 5.31: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı (On ikinci mertebe segmentasyon için)



Şekil 5.32: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serileri (On ikinci mertebe segmentasyon için)

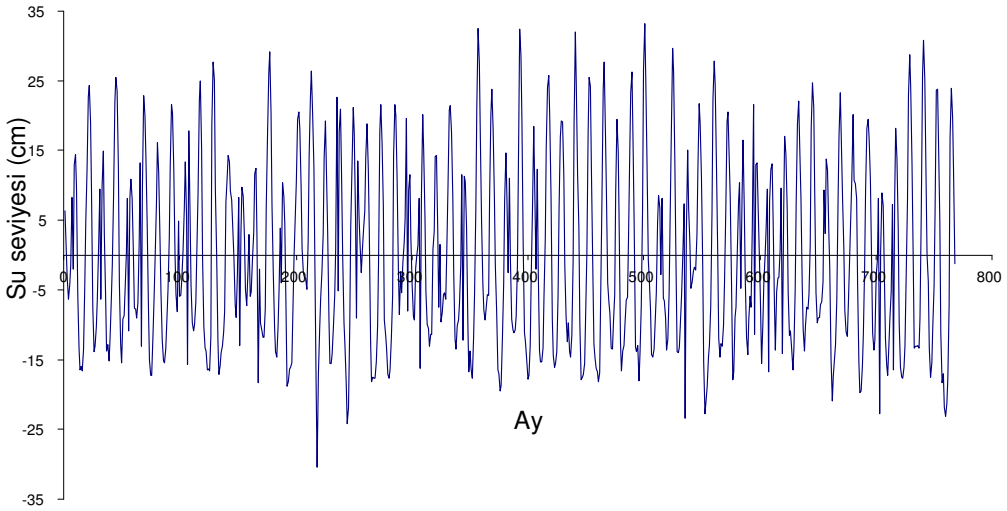
5.4.2.3 Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon

1, 4 ve 12'inci mertebe segmentasyonlar için yapılan uygulamalar yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için tekrarlanmaktadır. Eğilim çizgileri (Şekil 5.33) ve denklemleri bulunmuş, karşılık gelen su seviye değerlerinden çıkarılmıştır (Şekil 5.34). Ardından Fourier serileri yardımı ile periyodik bileşen elde edilmiştir (Şekil5.35). Periyodik bileşen de seriden çıkarılmıştır (Şekil 5.36).

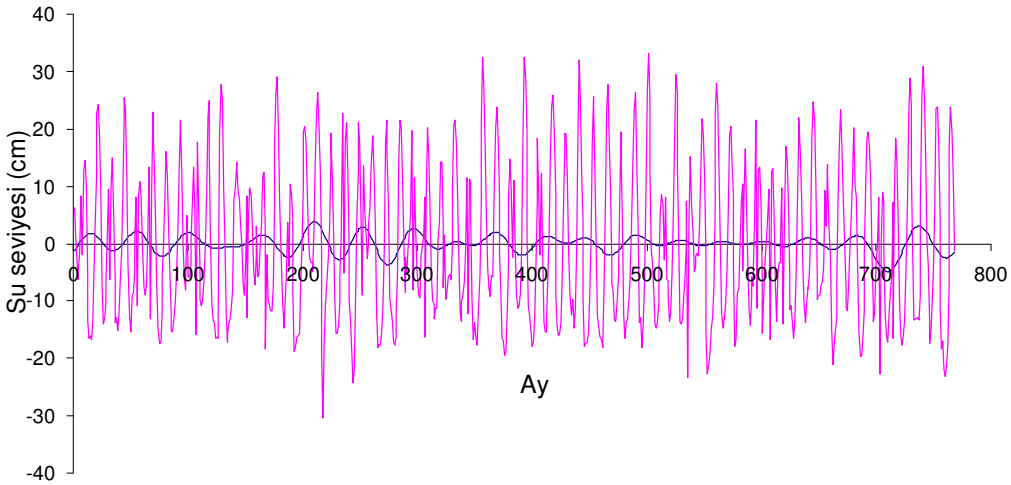


Şekil 5.33: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon

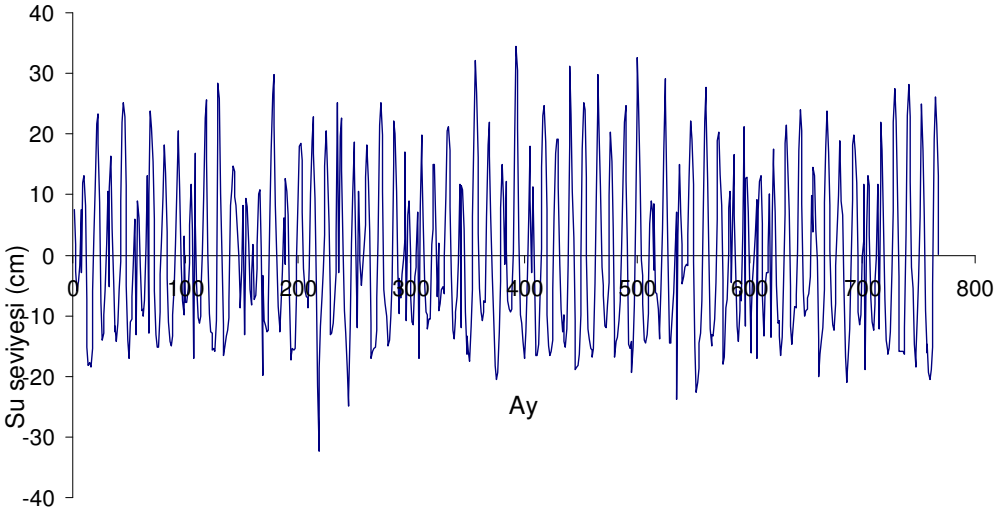
Periyodik bileşen seriden ayrılması ile stokastik yapıdaki zaman serisine ulaşılmıştır. Zaman serisinden eğilim ve periyodik bileşen çıkarılmasının ardından seri aylık ortalamalardan olan farkı alınarak, aylık standart sapmalara bölünmüş ve standart hale getirilmiştir (Şekil 5.37). Bu hali ile model uygulaması için uygun olan zaman serisi değerleri için otoregresif model seçimi yapılır.



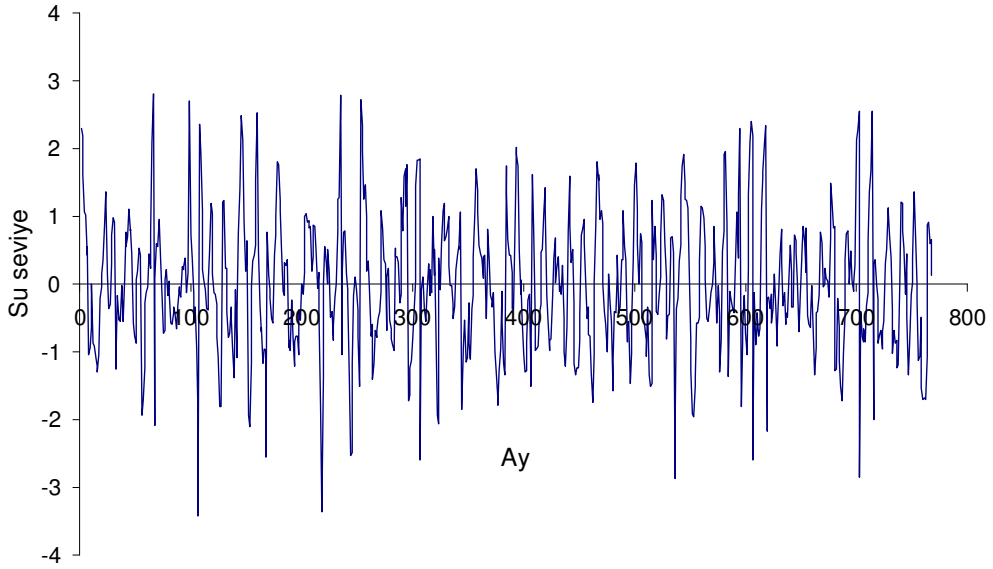
Şekil 5.34: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyeleri



Şekil 5.35: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyonda eğilimi çıkarılmış aylık ortalama su seviyelerinin harmonik analizi



Şekil 5.36: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için su seviyesinin eğilim ve periyodik bileşen çıkartılmış stokastik bileşeni



Şekil 5.37: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için standartlaştırılmış su seviyeleri

Yirmi sekizinci mertebede segmentasyon hali için zaman serisine en uygun modelin belirlenirken diğer segmentasyon durumların da olduğu gibi otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 5.11). Seçilen modelin uygunluk kontrolü için kalıntı varyansları ve AIC değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo

5.12'da verilmiştir. Tablo 5.13'da belirlenen, AR(2) modeli için elde edilen parametreler kullanılarak

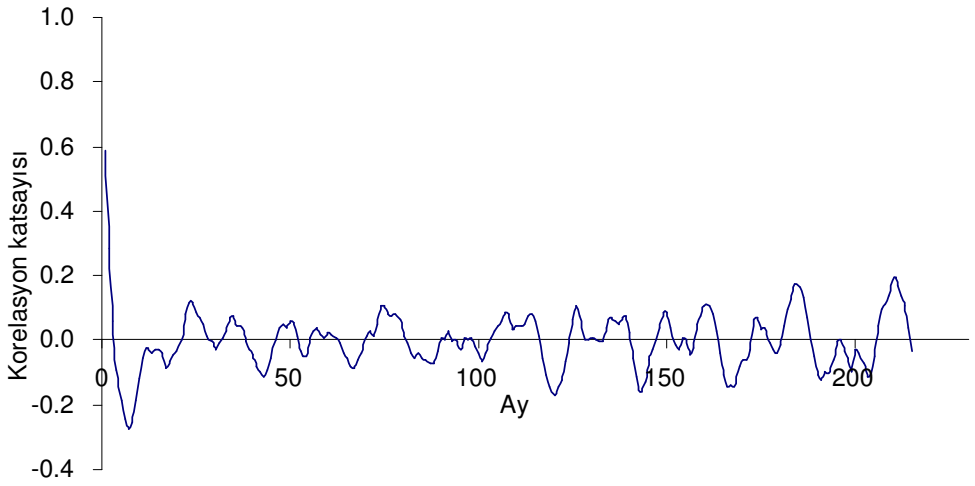
$$z_t = 0.08 z_{t-1} - 0.40 z_{t-2} + \varepsilon_t$$

(5.9)

şeklinde yazılabilir.

Tablo 5.11: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları

k	1	2	3	4
r_k	0.59	0.28	0.06	-0.09
$\emptyset_{k,k}$	0.59	-0.09	-0.10	



Şekil 5.38: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyona ait stokastik kısmın korelasyon katsayıları

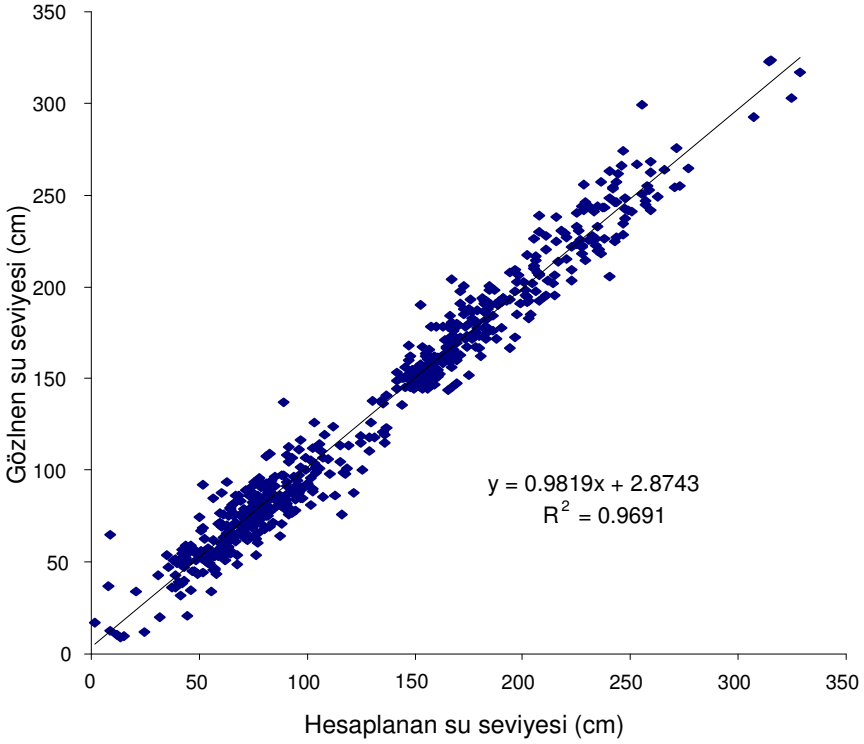
Tablo 5.12: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için model seçiminde kullanılan parametreler

Model	Kalıntı Varyansı	AIC
AR(1)	1.00	0.247
AR(2)	0.98	-16.0.26
ARMA(1,1)	0.99	2.656

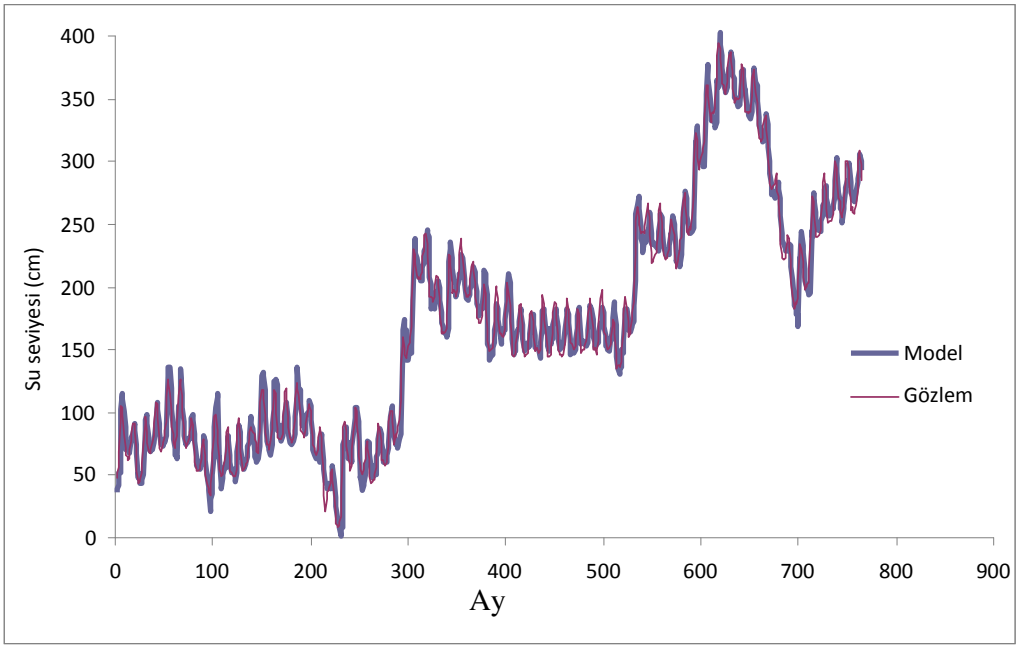
Tablo 5.13: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için belirlenen AR(2) model parametreleri

ϕ_1	0.08
ϕ_2	-0.40
σ_ε^2	0.964

Şekil 5.39'te (5.9) modeli ile hesaplanan su seviyeleri ile gözlenen su seviyeleri arasındaki saçılma diyagramı verilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen su seviyelerine ait zaman serileri ise Şekil 5.40'te gösterilmiştir.



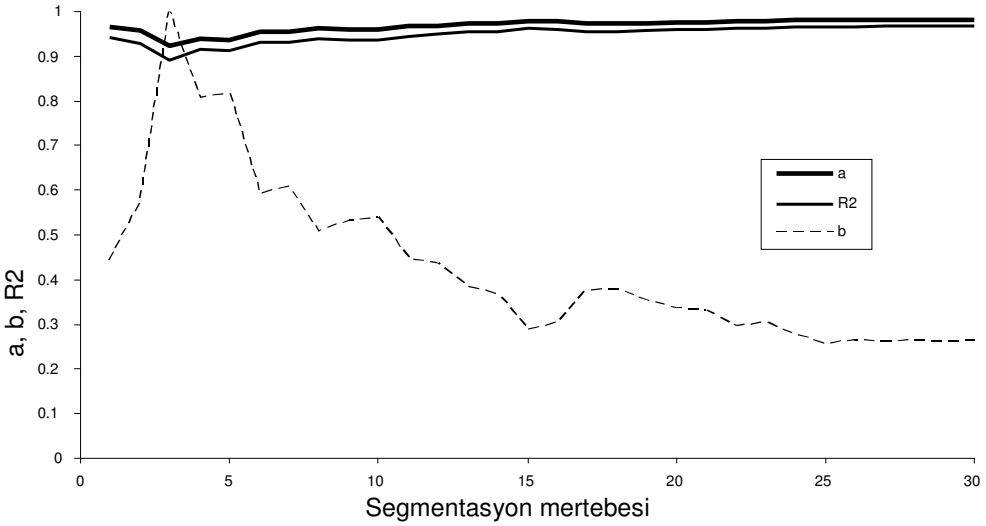
Şekil 5.39: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait saçılma diyagramı (yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için)



Şekil 5.40: Gözlenen ve model ile hesaplanan su seviyelerine ait zaman serileri (yirmi sekizinci mertebe segmentasyon için)

5.5 Segmentasyon Sonuçları

Bu çalışmada sadece 5.4.2'de verilen 4, 12 ve 28. mertebe segmentasyon yapılmamıştır. Bahsedildiği üzere, ilk 30 mertebe segmentasyon yapılmış, ancak işlemlerin ve sonuçların benzer olması nedeniyle sadece tekli eğilim ve çoklu eğilimden üç tanesinin sonuçları detaylı bir şeklide verilmiştir. Tüm mertebeler için en iyi uyan modelin AR(2) olduğu belirlenmiştir. Bu model kullanılarak gözlenmiş zaman serisi yeniden hesaplanmış, gözlenen su seviyeleri ile arasındaki benzerlik saçılma diyagramındaki doğrusal ilişkinin katsayıları ve determinasyon (belirlilik) katsayısı ile Tablo 5.14'deki gibi belirlenmiştir. Buna göre, arada her ne kadar küçük salınımlar gösterse de segmentasyonun mertebesi arttıkça "a" katsayısının 1'e doğru gittiği, "b" katsayısının sıfıra yaklaştığı ve R^2 'nin de % 100'e yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür. Tablo 5.14'de verilen sonuçlar görsellik açısından Şekil 5.41'de gösterilmiştir. Burada "b" katsayısı Tablo 5.14'teki en büyük değerine bölünerek moduler (1'den küçük ve boyutsuz) forma getirilmiştir.



Şekil 5.41: Benzerlik kriterlerinin segmentasyon mertebesi ile değişimi

Tablo 5.14: AR(2) modeli ile hesaplanan ve gözlenen su seviyeleri arasındaki benzerliğin segmentasyon mertebesi ile değişimi

Segmentasyon mertebesi	a	b	R^2
1	0.9667	4.8268	0.9423
2	0.9581	6.2342	0.9280
3	0.9242	10.851	0.8925
4	0.9386	8.7472	0.9148
5	0.9372	8.8616	0.9129
6	0.9552	6.4295	0.9307
7	0.9546	6.5922	0.9305
8	0.9627	5.5081	0.9387
9	0.9607	5.7646	0.9377
10	0.9601	5.8475	0.9360
11	0.9675	4.8556	0.9451
12	0.9683	4.741	0.9498
13	0.9725	4.161	0.9544
14	0.974	3.9795	0.9544
15	0.9799	3.1225	0.9619
16	0.9791	3.3054	0.9604
17	0.9729	4.0773	0.9562
18	0.9728	4.0934	0.9561
19	0.9745	3.8537	0.9578
20	0.9761	3.6409	0.9603
21	0.9766	3.5757	0.9609
22	0.9792	3.2065	0.964
23	0.9784	3.3123	0.9634
24	0.9806	3.0258	0.9656
25	0.9823	2.7922	0.9663
26	0.9818	2.8565	0.9666
27	0.9822	2.8276	0.9683
28	0.9819	2.8743	0.9691
29	0.9819	2.8543	0.9680
30	0.9819	2.8625	0.9682

5.6 Sentetik Seri

Dünya üzerinde su alanları ile ilgili yapılan mühendislik çalışmalarında gelecekte meydana gelmesi mümkün olan olumsuz durumları tespit edilir. Böylece tasarım ve uygulama safhalarında karşılaşılabilecek sorunlar en aza indirgenir.

Deniz, göl, akarsu gibi su alanları için ve su kaynakları yapılan çalışmalarda yapılan gözlem kayıtlarından yararlanılmaktadır. Bu kayıtlar bu çalışmada olduğu gibi göl seviyesi, dalga yüksekliği veya akarsu debisidir. Bu kayıtlar tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de güvenilir tahmin yapılmasını engelleyecek uzunlukta olduğundan mevcut kayıtların sentetik yollarla uzatılması yoluna gidilir.

Bu çalışmada eldeki aylık ortalama göl su seviyesine istatistik anlamda benzer sentetik veriler türetilmiştir. Bu amaçla daha önce belirlenen AR(2) modeli ilgili segmentasyon mertebesi için hesaplanan parametreler ile kullanılmıştır. Her segmentasyon mertebesi için 1000 yıllık sentetik aylık ortalama su seviyesi zaman serisi meydana getirilmiştir. Ek 1–2-3'te birinci, dördüncü ve yirmi sekizinci mertebe segmentasyona karşı gelen AR(2) modeli kullanılarak türetilen sentetik göl su seviyesi serileri verilmiştir. Buna göre, sentetik göl su seviyelerinin gözlenmiş göl su seviyesine benzer olduğu ve tekrar ettiği ancak maksimum ve minimum değerlerinin gözlenen değerlerden farklılık gösterdiği anlaşılmıştır.

Tablo 5.15'de gözlenen zaman serisi ile bu serinin 5.4'te açıklandığı gibi AR(2) modeli ile hesaplanmış şekli ve 5.6'da açıklandığı gibi türetilen 1000 yıllık sentetik seriler ile karşılaştırılması yapılmıştır. İstatistik anlamda yapılan bu karşılaştırmada model ile hesaplanan ve türetilen istatistiklerin gözlenen seridekilere benzer olduğu görülmüştür. Farklı segmentasyon mertebeleri için elde edilen sentetik seride maksimum ve minimum değerlerin farklılık gösterdiği, ancak bu farkın önemsenecek Düzeyde olmadığı anlaşılmıştır. Tablo 5.2'deki verilere göre 1000 yıllık sentetik seri ele alındığında gözlenmesi olası en büyük su seviyesi dördüncü mertebe segmentasyonda elde edilmiştir.

Tablo 5.15: İstatistik değerler

İstatistik	Gözlenen	Segmentasyon mertebesi							
		1		4		12		28	
		Kontrol	*Model*	*Kontrol*	*Model*	*Kontrol*	*Model*	*Kontrol*	*Model*
Ortalama cm	169.30	169.953	169.391	168.452	169.683	168.690	169.873	169.734	169.941
Standart sapma cm	92.360	92.336	92.038	93.300	92.177	92.182	92.100	92.038	92.166
Çarpıklık	0.4514	0.4455	0.4612	0.5041	0.4852	0.4479	0.4604	0.4385	0.4466
Değişim Katsayısı	0.5455	0.5433	0.5434	0.5539	0.5432	0.5465	0.5422	0.5423	0.5423
Maksimum su seviyesi (cm)	393.7	393.57	395.476	456.87	404.357	401.621	403.189	402.990	398.915
Minimum su seviyesi (cm)	8.65	8.7	20.789	1.760	20.857	-6.46	0.798	1.970	5.396
r_1	-	0.8490	0.9880	0.7854	0.9877	0.7192	0.9878	0.5868	0.9870

Gözlenmiş su seviyeleri ve farklı mertebelerdeki segmentasyonlar için türetilen sentetik seriler kullanılarak belli dönüş aralıklarında gözlenmesi olası maksimum ve minimum göl su seviyeleri sırasıyla Tablo 5.16' ve Tablo 5.17'da verilmiştir. Buna göre uzun vadeli planlamalarda dördüncü mertebe segmentasyon sonucunda türetilen sentetik seri sonuçlarının kullanılmasının uygun olacağı düşünülebilir. Çünkü dördüncü mertebe segmentasyon durumunda türetilen sentetik seride uzun dönemde gözlenmesi olası maksimum su seviyelerine dördüncü mertebe segmentasyonda rastlanmıştır.

Tablo 5..16: Gözlenen ve sentetik belli dönüş aralıklarındaki maksimum göl su seviyeleri (cm)

Dönüş Aralığı (Yıl)	***Olasılık***	***Gözlenen***	***Sentetik***											
			Segmentasyon mertebesi											
			1	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**15**	**19**	**22**	**25**	**28**	**30**
2	***0.50***	191.76	190.07	190.53	188.45	187.35	186.71	186.91	187.38	186.88	185.70	184.88	184.27	184.24
5	***0.20***	275.39	275.66	271.44	272.72	271.13	272.04	271.60	270.18	275.18	272.06	271.49	271.52	270.97
10	***0.10***	329.70	326.72	319.83	325.78	337.10	337.72	329.82	330.04	328.51	320.44	323.78	331.38	331.47
20	***0.05***	378.70	372.62	375.78	383.16	366.41	366.45	377.81	376.64	376.95	375.53	375.42	375.61	375.31
25	***0.04***	382.70	378.63	389.46	387.48	386.93	385.65	383.42	383.09	384.15	381.99	381.00	380.36	378.86
50	***0.02***	393.97	391.79	400.30	390.29	389.11	388.32	389.60	390.47	388.90	387.84	387.64	387.24	387.46
100	***0.01***	-	394.41	402.01	401.70	389.69	389.46	401.04	400.25	401.90	399.71	399.08	396.80	396.18
500	***0.001***	-	395.47	403.28	403.72	390.55	390.62	403.41	401.49	403.91	401.51	400.96	399.26	397.91
1000	***0.002***	-	395.92	404.51	405.01	390.73	391.80	404.50	403.47	404.43	402.34	401.50	399.28	398.82

Tablo 5..17: Gözlenen ve sentetik belli dönüş aralıklarındaki minimum göl su seviyeleri (cm)

Dönüş Aralığı (Yıl)	***Olasılık***	***Gözlenen***	***Sentetik***											
			Segmentasyon mertebesi											
			1	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**15**	**19**	**22**	**25**	**28**	**30**
2	***0.50***	191.76	146.76	148.76	147.33	149.34	149.19	150.28	148.47	148.46	149.30	149.93	150.08	150.42
5	***0.20***	275.39	53.22	53.41	55.16	55.63	55.58	57.77	55.15	59.30	58.12	58.70	59.94	60.14
2	***0.50***	146.48	48.69	49.69	50.75	51.61	49.64	50.97	49.04	50.21	49.87	51.99	48.43	49.32
5	***0.20***	53.83	41.25	45.37	43.89	44.05	39.80	45.99	38.04	38.35	32.74	34.26	36.37	30.04
10	***0.10***	48.01	33.51	42.10	28.16	27.46	27.86	39.13	25.53	37.78	30.75	29.91	27.52	27.61
20	***0.05***	33.94	24.51	24.93	19.03	23.20	19.35	25.13	-0.85	23.75	25.22	26.76	22.29	22.20
25	***0.04***	27.00	23.32	21.86	6.88	9.40	7.12	3.20	-3.61	4.52	4.70	6.41	6.49	6.48
50	***0.02***	8.65	20.94	20.69	5.27	8.06	4.99	1.45	-6.18	3.50	3.49	5.75	5.68	5.59
100	***0.01***	-	20.80	20.64	5.02	7.48	4.60	1.32	-6.31	3.03	3.39	5.73	5.43	5.04

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Van gölü bulunduğu coğrafya için son derece önemli bir su kaynağıdır. Bu nedenle geleceğe yönelik tüm çalışmalarda, gölün olası davranışının bilinmesi gereklidir. Özellikle kıyı alanı yapılanmasında, kıyı kenar çizgilerinin oluşturulmasında göl su seviye değişimleri büyük önem kazanmaktadır. Ancak mevcut imkanlar dahilinde göl hakkında veri yönünden yetersizlikler bulunmaktadır. Bu da inceleme ve projelendirme aşamasında sorun teşkil etmektedir. Göl seviyesinin kayıtlı gözlem uzunluğu 60 yıldan biraz fazladır.

Van gölü su seviyesi zaman zaman ani yükselmeler göstermiştir. Gölün su seviyesi kayıtlarından halen artan bir eğilime sahip olduğu anlaşılmıştır.

Bu eğilim tek parça halinde dikkate alındığındaki modelleme çalışmaları literatürde mevcuttur. Mevcut gözleme tek bir eğilim çizgisi uydurmak yerine birden fazla eğilim çizgisi uydurulması bu tezin konusunu oluşturmuştur. Yapılan çalışmada su seviyesinin eğilim bileşeni 1'den 30'a kadar arttırılmak suretiyle ayrılmıştır. Sonuçlar kısmında seçilen 4 farklı durum için değerler sunulmuştur. Eğilim sayısı artıkça model ile gözlem arasındaki korelasyon da artış gözlenmiştir.

Bu çalışmada Segmenter adlı yazılım kullanılarak Van gölü su seviyesi kayıtları 1'den 30'a kadar farklı sayıda segmentasyona tabi tutulmuştur. Her segmentasyon mertebesinde belirlenen eğilim bileşeni çıkarılmış, periyodik bileşen de Fourier serisi kullanılarak kaldırılmıştır. Ortaya çıkan stokastik bileşen için her segmentasyon mertebesinde uygun ikinci mertebe bir otoregresif model belirlenmiştir. Bu model kullanılarak önce 64 yıllık mevcut gözlem yeniden hesaplanmış, daha sonra aynı model ile 1000 yıllık sentetik seri türetilmiştir. Bu işlem, 1'den 30'a kadar olan tüm segmentasyon mertebeleri için tekrar edilmiştir.

Çalışma sonucunda Van gölü aylık ortalama su seviyesi gözlemlerinin stokastik modelleri oluşturulurken belli dönemlerde gözlenen sıçramalardan dolayı tek bir

eğilim çizgisinin uydurulmasının yeterli olamayacağı sıçramalar, dikkate alacak şekilde eğilim çizgisi sayısının belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Geleceğe yönelik çalışma konusu olarak sıçramaların fiziksel nedenlerinin ortaya konması, örneğin göl su seviyesindeki değişimin yağış, buharlaşma, sıcaklık gibi meteorolojik değişkenlerle ilişkisinin belirlenmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

Akar, T., 2000, Akarsu Askı Maddesi Debilerinin Zaman Serisiyle Modellenmesi ve Hazne Ölçüm Hacim Tahmini, *Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Aksoy, H., Unal, N.E., Gedikli, A. 2007, Letter to the editor, *Stochastic Environmental Research and Risk Ass., 21: 447-449.İstanbul*

Aksoy, H., Gedikli, A., Unal, N.E., 2008, Fast segmentation algorithms for long hydrometeorological time series, *Hydrological Processes (baskıda).İstanbul*

Aksoy, H., Ünal, N.E., Dahamsheh, A.M.S., İtibar, M.D. & Kaynar, L. 2005**,** National Report of Turkey, Prepared for meeting #3 of the project *Assessment of the climate change impact on the elements of hydrological cycle*, *25-29 September, 2005, Varna, Bulgaria.*

Aksoy, H., Ünal, N.E. & İtibar, M.D. 2004, Streamflow characteristics of European part of Turkey, *CD Proceedings of BALWOIS Conference on Water Observation and Information Systmes for Decision Support*, 25-29 May 2004, Ohrid, Macedonia.

Aksoy, H. & Ünal, N.E. 2004, Low flow characteristics of European part of Turkey, *Eos. Trans. AGU,* 85(17), Joint Assembly Suppl., Abstract H51B-01.

Akyüz,D.E., 2008, Van gölü su seviyesinin veri madenciliği metotları ile incelenmesi, *Van gölü hidrolojisi ve kirliliği konferansı, 21-22 Ağustos 2008, Van*

Alıcıoğlu, M.S., 1976. Haftalık Akışların Stokastik Yapısı ve İdeal Hazne Kapasitesi Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Su Dalı, İstanbul*

Avcı, İ., 1995, Van Gölü Seviye Yükselmesinin Hidrometeorolojik Yönden Değerlendirilmesi ve Bir Eylem Planı Önerisi, *Van Gölü Su Seviyesinin Yükselme Nedenleri, Etkileri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Matbaası, 61-75, Van*

Alexandersson, H. 1986 A homogeneity test applied to precipitation data, *Journal of Climatology*, **6**, 661-675.

Bayazıt, M., 1981, Hidrolojide İstatistik Yöntemler, *İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.*

Bayazıt, M., 1996, İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, *İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.*

Barka, A., 1996**,** Van Gölü ve Çevresinin Aktif Tektonik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Göl Taraçalarının Yaşlandırılması, *İTÜ Maden Fakültesi Genel Jeoloji Anabilim Dalı Ayazağa, İstanbul*

Batur, E., 1996, Van Gölü Su Bütçesi ve Havza İklimi, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Batur,E.,Kadıoğlu, M.,Özkaya, M., Şaban, M., Akın, İ., Kaya, Y., 2008, Van gölü su seviye modellenmesi ve ekstrem sevilerin tahmini, *Van gölü hidrolojisi ve kirliliği konferansı, 21-22 Ağustos 2008, Van*

Baytaş, K., 1995, Van Gölü Hidrolojisine Genel Bir Bakış ve Van Gölü Su Seviyeleri, *DSİ Genel Müd. Etüt- Plan Dairesi Başkanlığı Şube Müdürlüğü, Ankara*

Bıgazzı, G., Yeğingil, Z., Ercan, T., Oddone, M., Özdoğan, M., 1997, Doğu Anadolu'daki obsidiyen içiren volkaniklerin "Fizyon Track" yöntemi ile yaş tayini, *Türkiye Jeoloji Bülteni C.40 No.2 57-72.,Ankara*

Bozkurt, E., 2003, Köyceğiz Lagün Su Seviyesi Değişim Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Box,G.E.P. and Jenkıns,G.M., 1970, Time series analysis forecasting and control, *Holde- day series in time series analysis San Franscisco*

Cengiz, T.M., Kahya E., 2006, Türkiye Göl Su Seviyelerinin Eğilim ve Harmonik Analizi, *İTÜ Dergisi /d, Sayı:3, Kısım: 2, Cilt:5, 215-224,İstanbul*

Çelik M., 1999, Van Gölü su seviyesinin yükselme nedenleri, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniveristesi,. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*

Cluis, D. and Laberge, C. 2001, Climate change and trend detection in selected rivers within the Asia-Pacific region, *Water International,* 26(3), 411-424.

Cığızoğlu,H.K, 2003, İncopporation of ARMA models into flow forecasting by artificial neural networks,*Environmentrics 14: 417-427 İstanbul*

Deren, S., 1996, Van Gölü Seviye Yükselmesi ve Fiziksel Çevre Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Degens and F.Kurtman, 1978 The Geology of Lake Van, *M.T. A. Press, Ankara*

Deniz,O. ve Yıldız,M.Z., 2007, The ecological consequences of level changes in Van lake, *Water Resources Vol.34 No.6,pp.707-711, Van*

Elkatmış, M.N., 2008, Van ilinin meteorolojik faktörler açılından iklim özellikleri, *Van gölü hidrolojisi ve kirliliği konferansı, 21-22 Ağustos 2008, Van*

Erol, F, 1996, Van Gölü seviye değişimlerine matematik model yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniv. Fen Bilimleri Enst., Van*

Fortin, V., Perreault, L., Salas, J.D. 2004, Restropective analysis and forecasting of streamflows using a shifting level models, *Journal of Hydrology*, 296, 135-163.

Geçel, S., 1996, Van Gölü su seviyesindeki değişimlerin incelenmesi, *Bitirme Ödevi, İTU İnşaat Fak. İstanbul*

Gedikli, A., Aksoy, H., Unal, N.E., 2008, Segmentation algorithm for long time series analysis, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol:22No:3, 291-302,İstanbul*

Gençsoy, İ., 1997, Van Gölü'ndeki su seviyesi değişimlerinin hidrometeorolojik parametrelerle ilişkisi, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*

Gülay, S., 1996, Van Gölü Su Seviyesinin Yağışla Alakası, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Güner, Y., Şaroğlu, F., 1981, Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler; jeomorfoloji, teketonik, volkonizma ilişkileri**,** *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni C24 39-50, Ankara*

Gürer, İ., Yıldız, D., 1996, Van Gölündeki Ani Seviye Değişimlerini İnceleme Raporu, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.*

Hubert, P., 2000, The Segmentation Procedure as a Tool For Discrete Modeling of Hydrometeorological Regimes, *Stochastic Environmental Research and Risk Assesment, 14, 297-304.*

İtibar, M.D. 2005, Ege Bölgesi akarsularına ait yapısal karakteristiklerin olasılık yöntemler yardımı ile belirlenmesi**,** *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Kadıoğlu, M. 1995a, Van Gölü ve Yükselen Su seviyesi, *Türkiye Müh. Haberleri Dergisi, 379, 95–96, İstanbul.*

Kadıoğlu, M. 1995b,Van Gölü'ndeki Su Seviyesi Yükselmesinin Meteorolojik Faktörler ile Olan ilgisi, *Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20 – 22 Haziran 1995,Van.*

Kadıoğlu, M., Şen.Z., Batur, E., 1997, The greatesr sode-water in the world and how it is influeneced by climatic change, *Annales Geophysicae Vol.15 1489-1497.*

Kaynar, L. 2005, Doğu Karadeniz Bölgesi yıllık maksimum akımlarının istatistik metodlarla analizi, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul* .

Kepme, S.Khoo, F., Gürleyik, Y., 1978, Hydrology of Lake Van and its Drainage Area.*In the Geology of Lake Van MTA Pres, Sf.42, Ankara.*

Khavich, V.and Ben-zvi, A. 1995, Forest of daily water Levels for Lake Kinret, Isreal. *Bullettin of Hydrological Science, Vol 40, No 2, 133144.*

Kehagias, A. 2004, A hidden Markov model segmentation frocedure for hydrological and environmental time series, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 18, 117-130.

Kehagias, A., Nidelkou, E. & Petridis, V. 2006, A dynamic programming segmentation procedure for hydrological and environmental time series, *Stochastic EnvironmentalResearch and Risk Assessment*, 20, *77-94.*

Kılınçaslan, T., 1998, Van Gölü Su Düzeyinde Değişimler ve Yerleşme Dokusuna Etkileri, *İTÜ Araştırma Fonu Yayını, İstanbul.*

Mather, J.R., 1961, The Climatic Water Balance. *Publications in Climatology, 14(3) 251–264.*

Pettitt, A. N. 1979, A non-parametric approach to the change-point detection, *Applied Statistics*, 28, 126-135.

Salas, J.D., Delleur, J.V., Yevjevich, V., Lane, W.L., 1980, Applied ModelingOf Hidrologic Time Series, *Water Resources Publications, Littleton, Colorado.*

Scheffe, M. 1959, *The analysis of variance*, Wiley, New York pp477.

Sezen, G., 1996, Van Gölü Su Seviyesinin Yağışla Alakası, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Simspon,R. H., 1994, Geological evidence for fuild involment in the rupture proces of crustal earthquakes, Mechanical Invalment of Fluids in Faulting,U.S. Geological Survey,Open File Report,94-228,31-38

Stanley,A., Changnon, Jr., 1987, Climate Fluctuations and Record-high Levels of Lake Michigan, *American Meterological Society Vol.68, No.11, pp.1394-1402.*

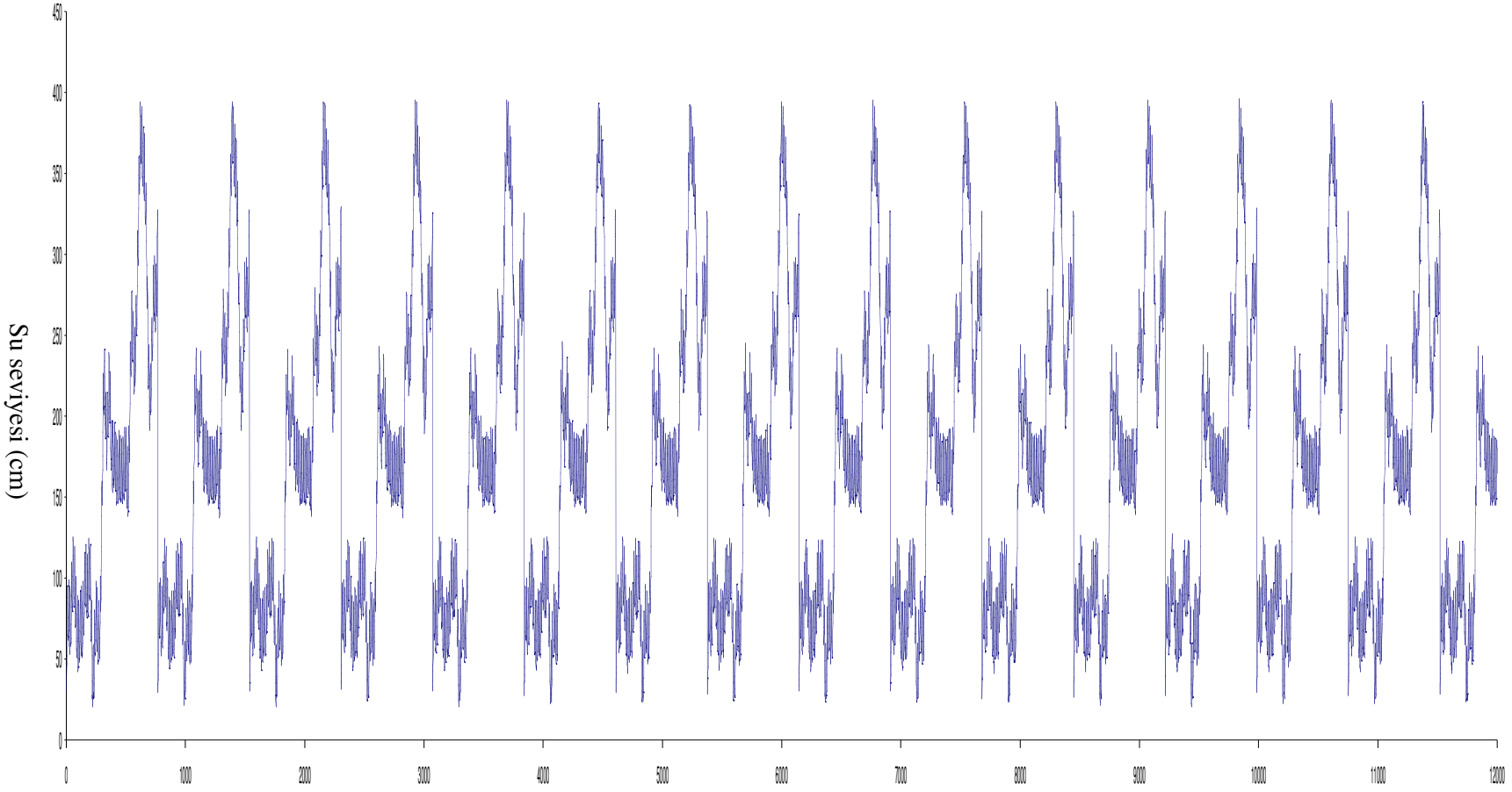
Şen, Z., Kadioğlu, M., Batur, E., 1999, Cluster regression model and level fluctuation features of Van lake, Turkey, *Annales Geophysicae Vol.17 273-279.*

Şen, Z., Kadioğlu, M., Batur, E., 2000, Stochastic Modeling of the Van Lake Monthly Level Fluctations in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology, 65, 99-110. İstanbul.*

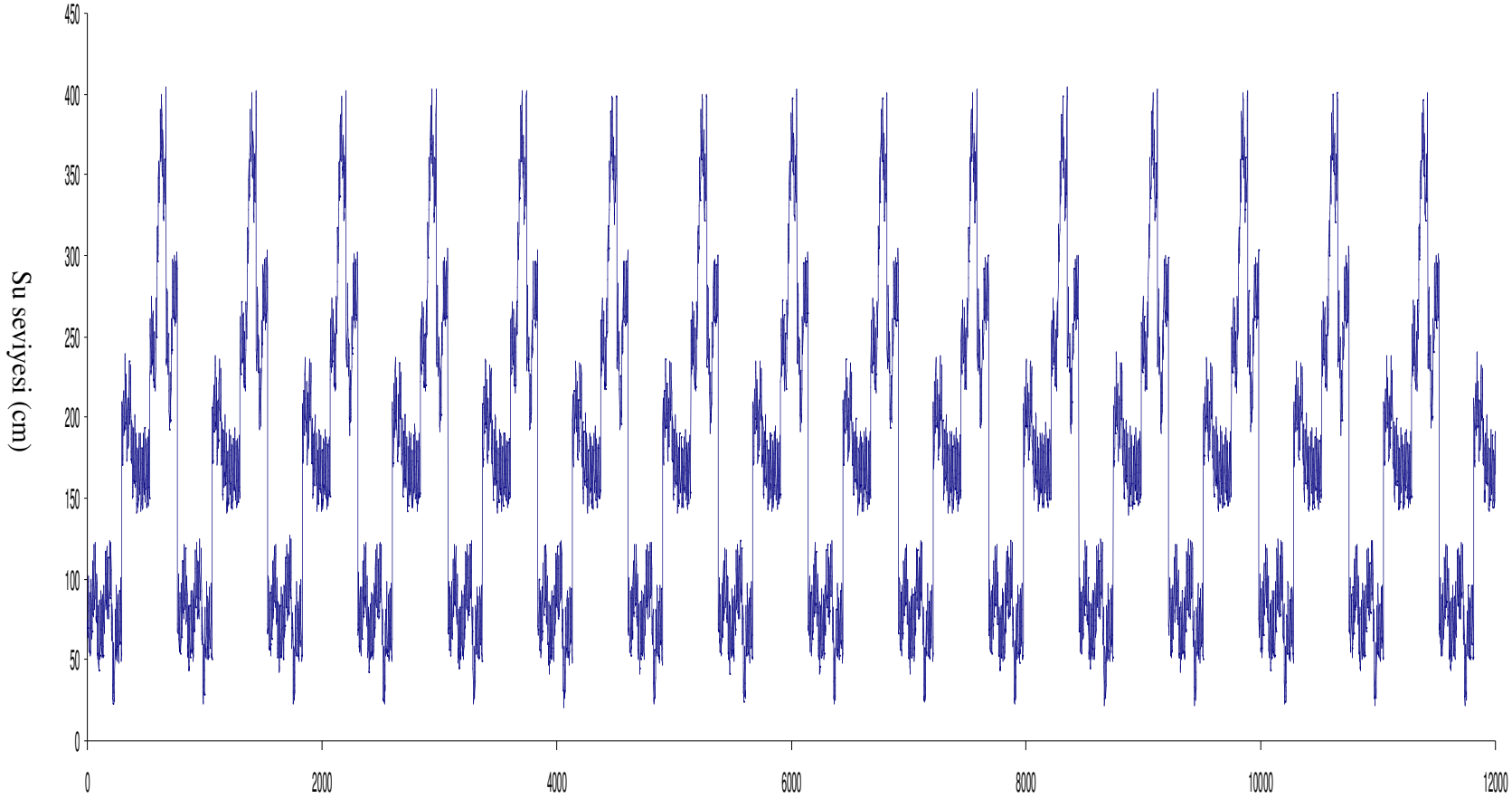
Şen, Z., 2002, İstatistik Veri İşleme Yöntemleri, *Su Vakfı Yayınları, İstanbul* **.**

Turunçoğlu.U.U., Dalfes N.H., 2008, Van Gölünün Üç Boyutlu Dolaşım Modeli, *Van gölü hidrolojisi ve kirliliği konferansı,21-22 Ağustos 2008, Van* .

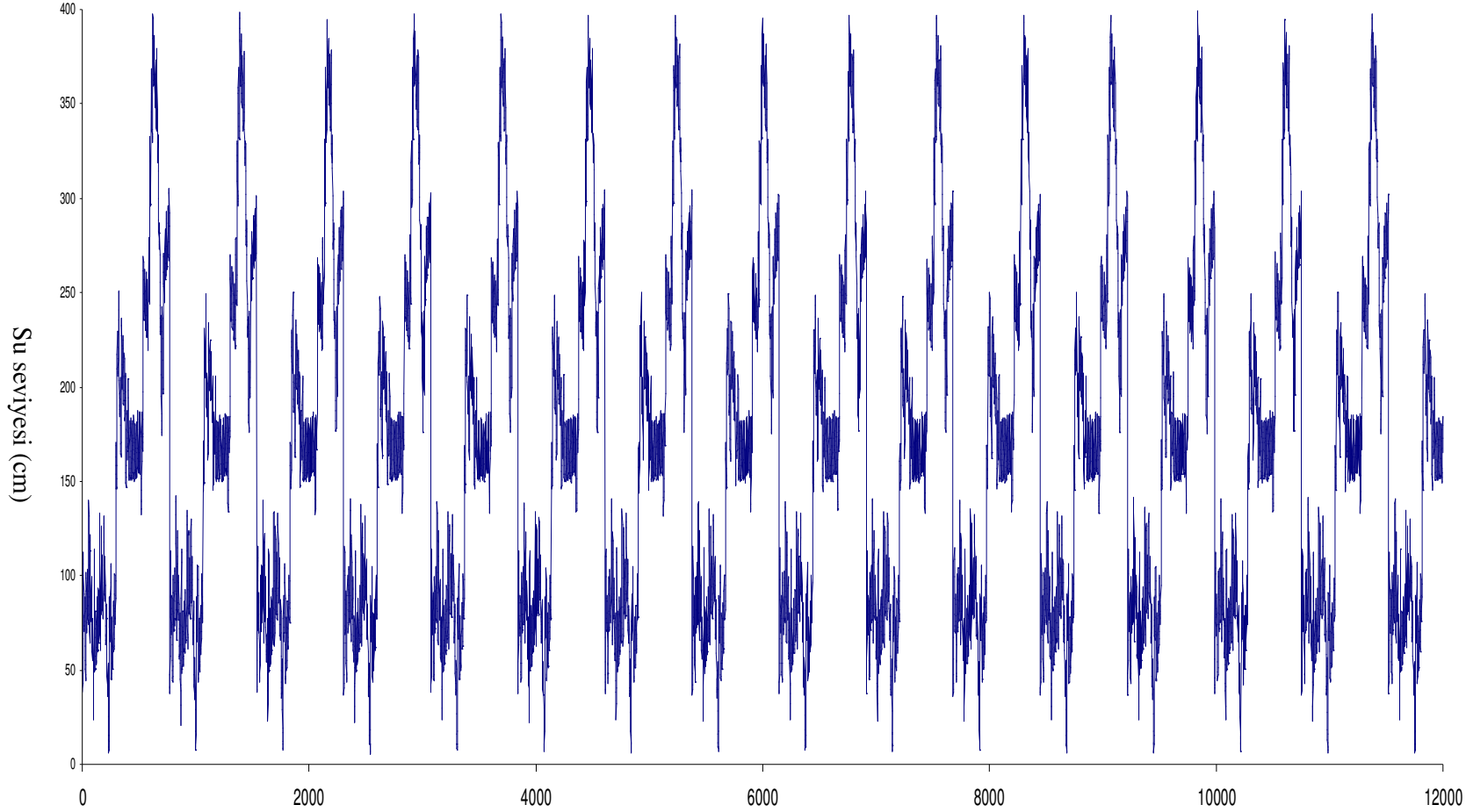
EKLER



Ek-1: Birinci mertebe segmentasyona ait model ile türetilen 1000 yıllık sentetik seri



Ek-2: Dördüncü mertebe segmentasyona ait model ile türetilen 1000 yıllık sentetik seri



Ek-3: Yirmi sekizinci mertebe segmentasyona ait model ile türetilen 1000 yıllık sentetik seri

ÖZGEÇMİŞ

1978 K.Maraş doğumludur. Sinop Anadolu Öğretmen Lisesi mezunudur. 2000 yılında Samsun 19 Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümünden mezun olmuştur. 2001 yılından bu yana özel sektörde Proje ve saha mühendisi olarak çalışmaktadır.